



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

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

Tema:

**“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO -
BARRIO EL BUEN PASTOR.”**

AUTOR: José Luis Rodríguez Sisalema

TUTOR: Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilánes

**Ambato – Ecuador
2019**

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes, en calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de investigación bajo el tema: **ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO - BARRIO EL BUEN PASTOR.**, realizado por el Sr. José Luis Rodríguez Sisalema Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, septiembre del 2019



Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Yo, José Luis Rodríguez Sisalema con C.I: 180429020-1, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental bajo el tema: **ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO - BARRIO EL BUEN PASTOR.**, es de mi completa autoría.

Ambato, Agosto del 2019



José Luis Rodríguez Sisalema

AUTOR

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, Agosto del 2019



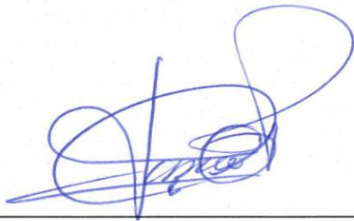
José Luis Rodríguez Sisalema

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO - BARRIO EL BUEN PASTOR.”**, del egresado José Luis Rodríguez Sisalema, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, octubre del 2019



Ing. Mg. Carlos Navarro



Ing. Mg. Galo Nuñez

DEDICATORIA

A DIOS, por darme la vida y unos padres tan pacientes, por estar siempre junto a mí, por no darme la sabiduría para poder lograr lo que me he propuesto.

A mis padre y madre ya que sin su apoyo moral y económico incondicional nunca hubiera alcanzado esta meta. Sus buenos consejos que día a día me hacían madurar y tomar buenas decisiones.

A mi hermanito Kevin por estar ahí cuando quiero conversar contigo.

A mi Papá Nico como lo llamo a mi abuelito por todo su apoyo, por siempre preguntarme como va en los estudios, por aconsejarme a no caer en malos vicios

A mi enamorada Priscila por ayudarme en todas las cosas que te he pedido, por tu paciencia, por insistirme que acabe mis estudios y sea un profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la paciencia, el valor, la sabiduría y la salud para poder llegar a cumplir esta meta tan importante en mi vida.

A mi padre Edgar y madre Norma ya que su esfuerzo y trabajo me enseñaron que para tener algo siempre hay que luchar por lo que se quiere, que si me caigo una vez me levante dos veces y ustedes están siempre ahí para ayudarme hacerlo.

A toda mi familia por apoyarme y no desmayar en todas las adversidades de la vida. Por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional.

A mi Papá Nico como lo llamo a mi abuelito por todo su apoyo, por siempre preguntarme como va en los estudios, por aconsejarme a no caer en malos vicios

A mi tutor Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes por su asesoría y tiempo en la realización de este trabajo. Dios le pague por su paciencia y dedicación.

A mi Tío William por ayudarme en los ensayos de este proyecto.

A todos los que dijeron que nunca lo iba a lograr, ya que eso me sirvió para superarme día a día y hoy haberlo conseguido.

INDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
INDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo General:.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos:.....	3
CAPÍTULO II.....	4
FUNDAMENTACIÓN	4
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1. Tectónica de placas	4
2.1.2 Tipos de Límite de Placas	6
2.1.3 Tipos de Fallas	9
2.1.4 Tipos de Sismos	11
2.1.4.1 Sismos naturales	12
2.1.4.2 Sismos artificiales	13
2.1.5 Ondas Sísmicas	13
2.1.6 Peligro Sísmico	16
2.1.7 Zonificación Sísmica en Ecuador	17
2.1.7.1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones	19

2.1.8 Ecuaciones de Predicción de Movimiento de suelo (GMPE'S).....	21
2.2. HIPÓTESIS.....	26
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	26
2.3.1 Variable Dependiente	26
2.3.2 Variable Independiente	26
CAPÍTULO III.....	27
METODOLOGÍA.....	27
3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	29
3.3.1 Variable Independiente	29
1.3.2 Variable Dependiente	29
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	30
3.4. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	31
CAPÍTULO IV	32
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	32
4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO	32
4.1.1 Régimen Tectónico	32
4.1.2 Selección de Fallas Geológicas	35
4.1.3 Características del Suelo	38
4.1.4 Velocidad media de la onda de cortante Vs30	46
4.1.4.1 Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30	50
4.1.5. ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA CORTICALES INTRAPLACA.	52
4.1.5.1. BOORE Y ATKINSON (2008)	52
4.1.5.2. MODELO AKKAR Y BOMMER (2010)	55
4.1.5.3. MODELO KANNO (2006)	56
4.1.6. ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA SUBDUCCIÓN	57
4.1.6.1. MODELO YOUNGS (1997)	58
4.1.6.2. MODELO ZHAO (2006)	59
4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	60
4.2.1. MAGNITUD DE LAS FALLAS	60
4.2.2 Cálculo de Espectros.....	60
4.2.2.1 Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson (2008)	61

4.2.2.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer 2010	62
4.2.2.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno 2006	63
4.2.2.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs 1997	63
4.2.2.5 Espectros calculados con el Modelo de Zhao 2006	64
4.2.3. ESPECTROS GENERADOS CON TRES MODELOS DE ANÁLISIS PARA UNA FALLA.....	65
4.2.4 Espectros con la NEC-15	69
4.2.5 Espectros de todos los modelos con la NEC-15	72
4.2.6. ESPECTRO ESPECÍFICO COMPARADO CON LA NEC-15	74
4.2.7. MODELADO DE LAS ESTRCUTURAS DEL SITIO.....	76
4.2.7.1 Características estructurales de las edificaciones en el sitio	76
4.2.7.2 Cálculo de los Períodos de Vibración	79
4.2.7.3 Verificación del comportamiento estructural	81
4.2.7.4 Modos de Vibración de la estructura	83
4.2.7.4.1 Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa en las direcciones principales	85
4.2.7.4.2 Derivas de Piso	85
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	91
CAPÍTULO V	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
5.1 CONCLUSIONES.....	91
5.2 RECOMENDACIONES	92
C. MATERIAL DE REFERENCIA.....	93
1. BIBLIOGRAFÍA.....	93
2. ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M)	22
Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente.....	29
Tabla 3 Operacionalización de la variable dependiente.....	30
Tabla 4 Plan de recolección de información	30
Tabla 5 Eventos más destructivos asociados al régimen de Subducción.....	33

Tabla 6 Eventos más destructivos asociados al régimen de Subducción.....	34
Tabla 7 Longitud y distancia de Fallas Geológicas en estudio	37
Tabla 8 Clasificación de los suelos con base en el SUCS.....	38
Tabla 9 Análisis granulométrico. (Pozo 1).....	39
Tabla 10 Análisis granulométrico. (Pozo 2).....	40
Tabla 11 Análisis granulométrico. (Pozo 3).....	41
Tabla 12 Análisis granulométrico. (Pozo 4).....	42
Tabla 13 Análisis granulométrico. (Pozo 5).....	43
Tabla 14 Clasificación de los Perfiles de Suelo	46
Tabla 15 . Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 1	48
Tabla 16 . Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 2	48
Tabla 17 Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 3.....	49
Tabla 18 Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 4.....	49
Tabla 19 Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 5.....	50
Tabla 20 Cálculo de velocidad de cada pozo	52
Tabla 21 Magnitud de momento calculado (Mw) de cada una de las Fallas Geológicas seleccionadas	60
Tabla 22 Valores de los períodos y aceleraciones para el espectro determinístico	74
Tabla 23 Secciones de elementos estructurales	77
Tabla 24 Valores de Ct y α utilizados para el cálculo del período fundamental de vibración	80
Tabla 25 Valores de To, Tc, T1 calculados. Además, se presenta los valores de T2 obtenidos en Etabs 2016 con los espectros ingresados.....	82
Tabla 26 Participación Modal de la Masa - Estructura de 1 piso	83
Tabla 27 Participación Modal de la Masa - Estructura de 2 pisos.....	84
Tabla 28 Participación Modal de la Masa - Estructura de 3 pisos.....	84
Tabla 29 Modos de Vibración para cada una de las estructuras.....	84
Tabla 30 Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa para cada una de las estructuras.....	85
Tabla 31 Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas	90
Tabla 32 Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas para cada una de las estructuras. 90	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de distribución actual de placas tectónicas	5
Figura 2 Diagrama de un límite de placas destructivo o convergente	7
Figura 3. Diagrama de un límite de placas Divergente o constructivo	8
Figura 4. Diagrama de un límite de colisión	8
Figura 5. Diagrama de un límite de placas transformante.....	9
Figura 6. Esquema de una Falla Normal.	10

Figura 7. Esquema de una Falla Inversa.	10
Figura 8, Esquema de una Falla de desgarre.	11
Figura 9. Posición del Foco o Hipocentro y su proyección sobre el terreno conocida como Epicentro	12
Figura 10. Ondas de cuerpo primarias que se propagan por el interior de la tierra	14
Figura 11. Ondas de cuerpo secundarias que se propagan por el interior de la tierra	14
Figura 12. Ondas superficiales de Rayleigh generadas por movimientos sísmicos	15
Figura 13. Ondas superficiales de Love generadas por movimientos sísmicos	16
Figura 14. Zonas sísmicas en el Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.....	19
Figura 15. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño ..	20
Figura 16. Superficie de estudio	28
Figura 17. Fallas Geológicas del Ecuador.....	35
Figura 18. Fallas Geológicas de Tungurahua	36
Figura 19. Fallas Geológicas de Ambato	36
Figura 20. Distancia perpendicular más cercana a la Falla.	37
Figura 21. Ubicación de las perforaciones realizadas en el Sector “Huachi Loreto”	45
Figura 22. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas	61
Figura 23. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Akkar y Bommer 2010, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas	62
Figura 24. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Kannon, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas	63
Figura 25. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs 1997, utilizando la falla de subducción	64
Figura 26. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Zhao 2006, utilizando la falla de subducción	65
Figura 27. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Huachi.....	66
Figura 28. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Ambato.....	66
Figura 29. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Totoras.	67
Figura 30. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Samanga.	68
Figura 31. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs y Zhao, para la falla de Subducción.....	68
Figura 32. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Huachi.....	69
Figura 33. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Ambato.	70
Figura 34. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Totoras.	70

Figura 35. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Samanga.	71
Figura 36. Espectro de aceleración modelo Youngs, Kanno, NEC-15.....	72
Figura 37. Todos los espectros comparados con la NEC15.	73
Figura 38. Espectro específico comparado con el espectro de la NEC 15.....	76
Figura 39. Vista en planta la estructura de 3 pisos	77
Figura 40. Vista en planta la estructura de 2 pisos	78
Figura 41. Vista en planta la estructura de 1 piso.....	79
Figura 42. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 1 piso.....	86
Figura 43. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 2 pisos	88
Figura 44. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 3 pisos.	89

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO – SECTOR HUACHI LORETO - BARRIO EL BUEN PASTOR.”

Autora: José Luis Rodríguez Sisalema
Tutor: Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilánes

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo investigación parte del reconocimiento tectónico capaz de producir un movimiento del terreno afectando al área de estudio, para lo cual se empleó información de estudios realizados por el NeoTec.

Se llevó a cabo el análisis del suelo mediante el ensayo SPT el cual fue aplicado en 5 puntos, 4 perimetrales y 1 central, gracias a esto se pudo determinar el tipo de suelo existente con lo cual se procedió a calcular la velocidad de onda V_{s30} . Con esta información se analizaron las características de cada falla, entre ellas el tipo de falla, su actividad sísmica y además se calculó la distancia más cercana a la proyección en la superficie de falla, todos estos parámetros en conjunto con otros criterios fueron esenciales para seleccionar las fallas potenciales más peligrosas. Posteriormente todas estas particularidades fueron empleadas en las Ecuaciones de Atenuación, elegidas de acuerdo al régimen tectónico del Ecuador. Por último, se llegó a obtener un espectro específico de máximas aceleraciones para el sector de estudio, con lo cual se procedió a comparar al Espectro específico con el Espectro NEC que presenta la normativa ecuatoriana de la construcción. El resultado de esta comparación presentó un intervalo crítico en el cual el Espectro Específico superaba los valores de aceleración al Espectro NEC. Finalmente, la comparación también se presenta con los resultados de un análisis lineal estático y dinámico en el comportamiento estructural de tres edificaciones representativas del sector, cada una con diferentes características geométricas.

ABSTRACT

The present research work starts from the tectonic recognition capable of producing a movement of the terrain affecting the study area, for which information from studies carried out by the NeoTec was used.

The soil analysis was carried out by means of the SPT test which was applied in 5 points, 4 perimetral and 1 central, thanks to this it was possible to determine the type of existing soil with which the V_{s30} wave velocity was calculated. With this information, the characteristics of each fault were analyzed, including the type of fault, its seismic activity and the distance closest to the projection on the fault surface was calculated, all these parameters together with other criteria were essential to select the most dangerous potential failures. Subsequently, all these particularities were used in the Attenuation Equations, chosen according to the tectonic regime of Ecuador. Finally, it was possible to obtain a specific spectrum of maximum accelerations for the study sector, which proceeded to compare the specific Spectrum with the NEC Spectrum presented by the Ecuadorian construction regulations. The result of this comparison presented a critical interval in which the Specific Spectrum exceeded the acceleration values of the NEC Spectrum. Finally, the comparison is also presented with the results of a static and dynamic linear analysis in the structural behavior of three representative buildings of the sector, each with different geometric characteristics.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del Cantón Ambato – sector Huachi Loreto - Barrio el Buen pastor.

1.2. ANTECEDENTES

La Norma Ecuatoriana de la Construcción se considera que: “Ecuador tiene 6 zonas sísmicas, donde su amenaza sísmica va desde intermedia hasta muy alta, el litoral ecuatoriano presenta una amenaza sísmica muy alta, la ciudad de Ambato se encuentra en la quinta zona con un valor de Z de 0.40, el mismo que se refleja en un mapa de zonificación sísmica para diseño que proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años”. [1]

Según la tesis de ingeniería del Ing. Fabricio Cobos Torres considera ““El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi” se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculado mediante las ecuaciones de atenuación en un intervalo de período de vibración de 0.25 a 0.45 genera aceleraciones mayores y supera al espectro de la norma”. “La falla geológica cortical de mayor magnitud de momento calculada es la de Ambato y Totoras Mw: 6.5, por su longitud, siendo la mayor respuesta la falla de Ambato por tener menor distancia a su epicentro, y la placa de nazca tiene una Mw: 8.9 por

su mayor longitud”. “En el intervalo calculado las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato deberán ser calculados con una aceleración mayor a la de la NEC-15”. [2]

En la tesis del Ing. Diego Quizanga de magister considera: “En el norte de Quito el espectro crítico está asociado al segmento de falla Ilumbisila Bota, se obtiene aceleraciones con valores altos en la ordenada, de igual manera las aceleraciones encontradas en el sur son valores altos si se los compara con el espectro de la normativa”. “Los espectros críticos obtenidos tienen una forma similar al espectro normativo, excepto el espectro para perfil tipo E que tiene un Vs30 a 200 m/s, la normativa indica que para el perfil tipo E el Vs30 son menores a 180 m/s y para estos valores las ecuaciones de atenuación no son aplicables”. [3]

1.3. JUSTIFICACIÓN

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

Ecuador es un país sísmicamente activo que a través de la historia ha sido afectado por numerosos terremotos, se puede mencionar el terremoto de Esmeraldas de 1906 con una magnitud de 8.8 (considerado uno de los más grandes registrados en el mundo), otro terremoto a citar es el de Ambato de 1949 el cual tuvo una magnitud de 6.8 y dejó alrededor de 5050 fallecidos. [4]

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

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

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

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General:

Efectuar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la ciudad de Ambato – Sector Huachi Loreto – Barrio El Buen Pastor, ubicado entre las calles Av. Bolivariana, Galo Vela Álvarez, Av. El Cóndor.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Seleccionar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Determinar el espectro sísmico propio de sitio en base a una ecuación de atenuación.
- Verificar el comportamiento estructural con tres estructuras tipo del sitio de análisis.
- Comparar el espectro obtenido con el espectro general dado por la NEC.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

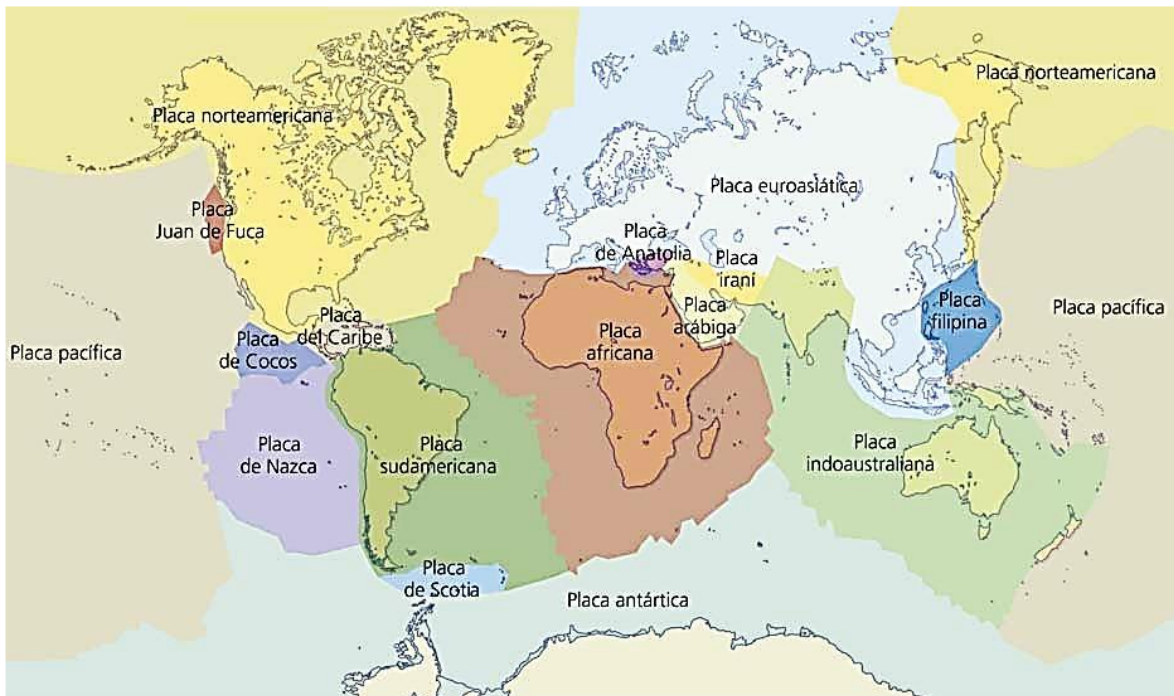
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Tectónica de placas

Según [8] La tectónica de placas o teoría de tectónica global merece un trabajo aparte; sin embargo, aquí es necesario establecer el concepto de "placa". Esta teoría se ha convertido en la llave maestra de la geología moderna para la comprensión de la estructura, historia y dinámica de la corteza terrestre. De acuerdo con esta teoría, la litosfera consiste en placas rígidas que se mueven en respuesta al flujo de material de la astenosfera debajo de ella. Por millones de años, los movimientos de placas han creado las cuencas oceánicas, continentes y montañas terrestres. [8]

Con Base en la Teoría de Wegener y varias contribuciones geológicas y geofísicas, se desarrolló la teoría de tectónica de placas, la cual considera que la litosfera está dividida en varios sectores rígidos, conocidos como placas, las mismas que se mueven entre sí con desplazamientos promedio de 2 a 12 centímetros al año. El mecanismo de impulso de las placas se produce debido al arrastre de los fragmentos de litosfera provocado por las corrientes de convección las cuales transportan el material caliente hacia zonas poco profundas mientras que el material con menor temperatura es llevado a mayores profundidades. [9]

Figura 1 Mapa de distribución actual de placas tectónicas



Fuente: Blink Learning

La teoría de tectónica de placas comprende cuatro conceptos básicos:

- 1) La porción externa de la Tierra (litosfera: la corteza y la parte superior del manto), compuesta de unidades rígidas llamadas placas;
- 2) Las placas se mueven;
- 3) Gran parte de la actividad geológica a escala mundial, tal como sismos y erupciones volcánicas, ocurren en o cerca de los límites de placas; y finalmente,
- 4) Los interiores de las placas son relativamente estables geológicamente, con mucha menor actividad sísmica y volcánica que en sus límites. [8]

De acuerdo con [9] : El concepto global que reúne la deriva continental, expansión de fondos oceánicos, actividad sísmica, estructura de la corteza y actividad volcánica (y VULCANISMO) en un modelo coherente de cómo evoluciona la parte más externa de la Tierra. La teoría propone un modelo para los niveles más altos de la Tierra, en los que las capas rocosas enfriadas y rígidas de la corteza terrestre (litosfera) se encuentran

recubriendo a otra mucho menos rígido o astenosfera. la parte superior está constituida por diferentes unidades rígidas (placas tectónicas), cada una de las cuales tiene un movimiento separado y relativo respecto a otras placas. Los límites de placas están con facilidad definidos en nuestros días mediante sísmica. El modelo de tectónica de placas es una combinación de la deriva continental y lo expansión del fondo oceánico. [9]

Explica también sobre las placas litosféricas nuevas que se están formando y separando constantemente y por tanto, están siendo expandidas en las márgenes constructivas (dorsales), mientras que la esfera terrestre mantiene sus dimensiones debido o la subducción y reciclado de material que penetra en el manto en las márgenes destructivas (fosas). Este reciclado deriva en un volcanismo andesítico y creación de corteza continental, que tiene una densidad inferior que la corteza oceánica y, por tanto, es más difícil de subducir. [9]

Según [10] su teoría es que la superficie total de la Tierra está formada por una serie de placas rígidas, relativamente delgadas (100-150 km). Aunque el tamaño de las placas es variable, la mayor parte de la superficie actual de la Tierra está casi totalmente ocupada por media docena de grandes placas. Estas placas están continuamente en movimiento unas con respecto a otras, y con respecto al eje de rotación de la Tierra. Virtualmente, toda la actividad sísmica, volcánica y tectónica está localizada cerca de los bordes de las placas y está asociada a movimientos diferenciales entre placas adyacentes. [10]

2.1.2 Tipos de Límite de Placas

Los Límites de placas se definen como zonas en las que varias placas entran en contacto. [12]

Son de 3 tipos fundamentales:

- Límite convergente o destructivo

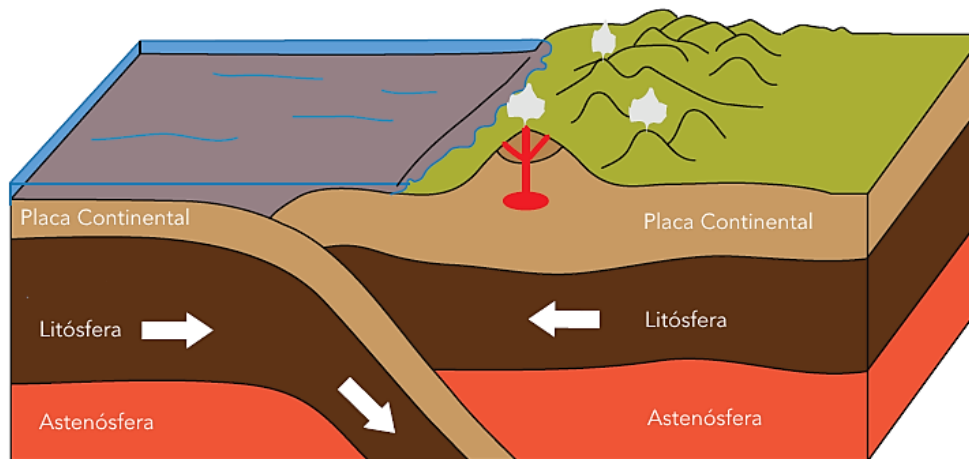
Este tipo de límite de placas se da cuando la corteza oceánica y la continental se desplazan la una hacia la otra, es decir la placa oceánica, al ser más densa, es empujada bajo la placa continental formando de este modo una zona de subducción. [12]

La fricción causada por el rozamiento entre las dos placas provoca la fusión de la placa oceánica ocasionando terremotos. [12]

Cuando la lava o magma que se encuentra en el manto de la Tierra se eleva hacia la superficie a través de las grietas, se produce una erupción en la superficie dando como resultado la formación de un volcán. En algunos casos la lava no llega hasta la superficie y ésta se solidifica formando rocas ígneas. [12]

Un ejemplo de un límite de placa convergente se encuentra entre la placa de Nazca y la de Sudamérica. La placa de Nazca se ve obligada a permanecer por debajo de la placa Sudamericana. [12]

Figura 2 Diagrama de un límite de placas destructivo o convergente

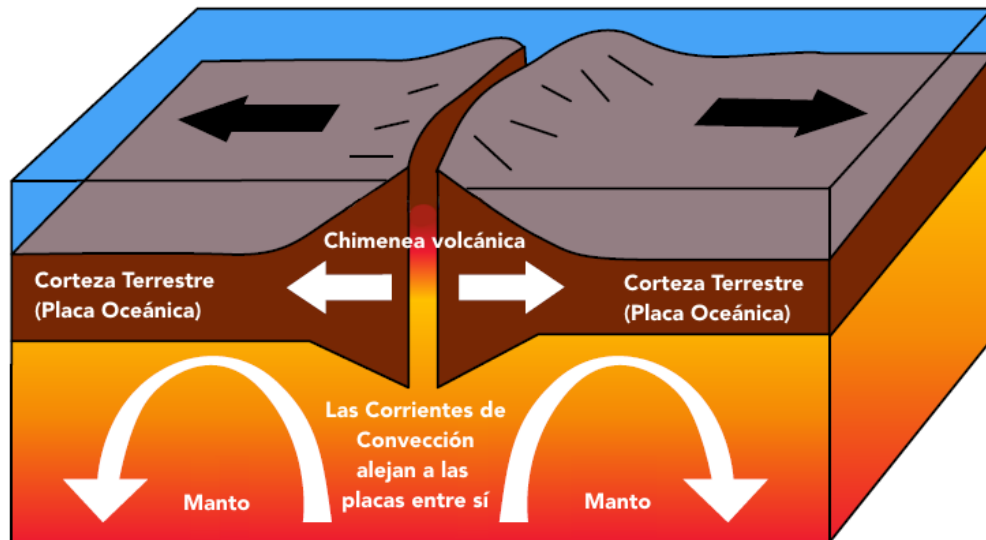


Fuente: Galápagos Conservation Trust

- Límite divergente o constructivo

Un límite de placas divergente se genera cuando las placas se alejan entre sí provocando que el magma se eleve y llene la apertura creada. El magma alcanza la superficie y forma una nueva corteza que a menudo da lugar a la formación de volcanes. [12]

Figura 3. Diagrama de un límite de placas Divergente o constructivo



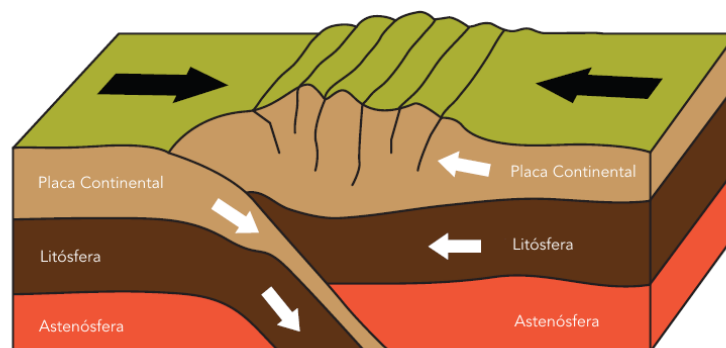
Fuente: Galápagos Conservation Trust 7

- Límite de placas de colisión

Este tipo de límite se produce por el choque de dos placas continentales, ambas de baja densidad, las cuales son forzadas a salir hacia la superficie dando origen a las montañas plegadas. [12]

Un claro ejemplo es el Himalaya, el cual se formó por el límite de placas de colisión. [12]

Figura 4. Diagrama de un límite de colisión



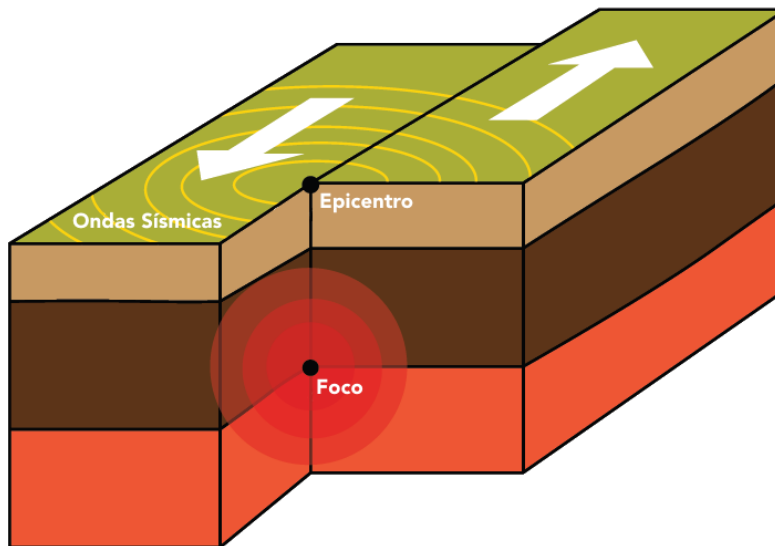
Fuente: Galápagos Conservation Trust

- Límite transformante

El límite de placas transformante se produce cuando las placas se desplazan entre sí en la misma dirección o en dirección opuesta, pero a velocidades diferentes, provocando un movimiento sísmico repentino. [12]

La falla de San Andrés en California, Estados Unidos, es un ejemplo de límite de placa transformante. [12]

Figura 5. Diagrama de un límite de placas transformante



Fuente: Galápagos Conservation Trust

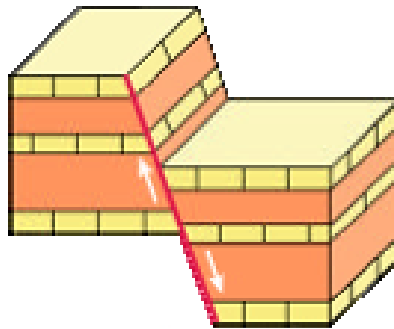
2.1.3 Tipos de Fallas

Las fallas son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento. Las fallas se clasifican en tres tipos según sea la dirección del desplazamiento de las rocas que cortan:

- Falla normal

Este tipo de fallas se producen por tensión. El movimiento es vertical respecto al plano de falla. El bloque que se desliza hacia abajo se lo conoce como bloque de techo, mientras que el que se eleva se llama bloque de muro. Si se considera fijo al bloque de muro da la impresión de que el bloque de techo cae con respecto a este lo que refleja un alargamiento de la corteza. [13]

Figura 6. Esquema de una Falla Normal.

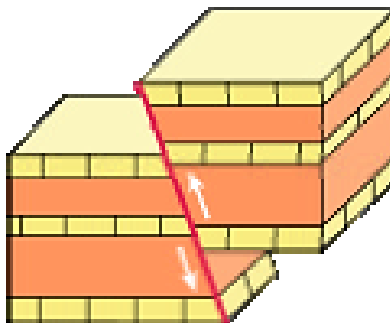


Fuente: González, M. Terremotos y Riesgo Sísmico 9

- Falla inversa

Este tipo de fallas se producen por compresión. Son fallas con desplazamiento vertical en las cuales el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro por lo que reflejan un acortamiento de la corteza. [13]

Figura 7. Esquema de una Falla Inversa.

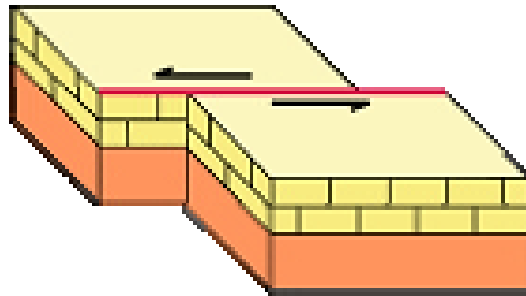


Fuente: González, M. Terremotos y Riesgo Sísmico

- Falla de desgarre

Estas fallas son verticales y el movimiento de los bloques es de manera horizontal. Son típicas de límites de placas tectónicas transformantes. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: sinistral y dextral. Falla dextral son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, mientras que en las sinistral es el opuesto. [13]

Figura 8, Esquema de una Falla de desgarre.

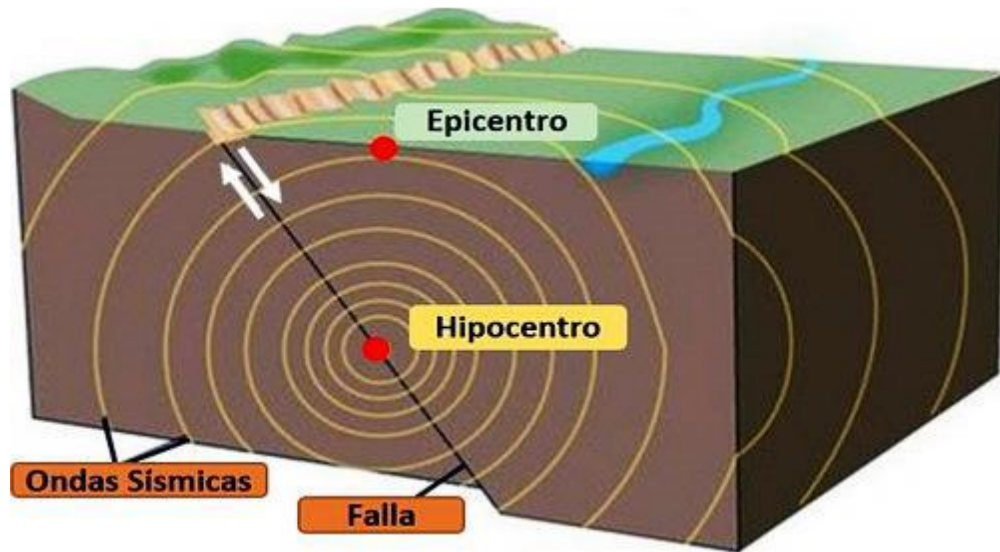


Fuente: González, M. Terremotos y Riesgo Sísmico 10

2.1.4 Tipos de Sismos

Los terremotos constituyen una liberación de energía producida en el interior de la tierra debido a las ondas elásticas que se propagan desde el foco hasta cualquier parte de la superficie. [13]

Figura 9. Posición del Foco o Hipocentro y su proyección sobre el terreno conocida como Epicentro



Fuente: Astronomía. Movimientos Sísmicos

Debido a su origen los sismos se clasifican como naturales y artificiales, siendo los de origen natural los que liberan la mayor cantidad de energía provocando mayores efectos en la superficie. [14]

2.1.4.1 Sismos naturales

- Sismos tectónicos

Estos sismos son generados por la interacción de las placas tectónicas y pueden ser interplaca es decir que son producidos por fricción en las zonas de contacto entre las placas y los intraplaca que son aquellos generados en la parte interna de las placas. Los sismos intraplaca se producen por deformaciones continentales y pueden tener profundidades similares o mayores a los sismos interplaca, por ejemplo de 60 ó 70 km. Un tipo particular de sismos intraplaca son los llamados locales, que son producto de deformaciones del material terrestre, debido a concentración de fuerzas en una región limitada. [14]

- Sismos volcánicos

Estos sismos son generados tras una erupción volcánica. Principalmente los ocasiona la fragmentación de rocas debido al movimiento del magma. Aunque pueden generarse decenas de ellos en un día, no llegan a ser tan grandes como los anteriores. [14]

- Sismos de colapso

Se producen debido al derrumbamiento del techo de cavernas y minas. Generalmente ocurren cerca de la superficie y se sienten en un área reducida. [14]

2.1.4.2 Sismos artificiales

Son ocasionados por el hombre debido a explosiones comunes y nucleares, con fines de exploración, investigación, y extracción de minerales. La ocurrencia de sismos de gran magnitud y la actividad volcánica no están ligadas con las explosiones nucleares. [14]

2.1.5 Ondas Sísmicas

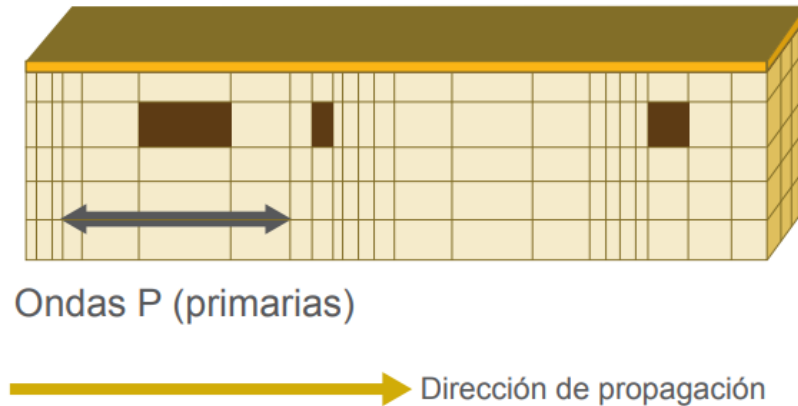
Son la propagación de las vibraciones temporales producidas por movimientos en un medio. Estas ondas se originan en el interior de la corteza terrestre por los repentinos desplazamientos producidos en fallas de la tierra y se propagan hacia la superficie terrestre generando movimientos sísmicos de baja intensidad. La energía generada por dichas perturbaciones es difundida hacia el exterior en forma de ondas sísmicas. La velocidad de las ondas depende fundamentalmente de la elasticidad y densidad de los materiales por los cuales se propagan. [15]

En el interior de la corteza terrestre se producen dos tipos de ondas sísmicas conocidas como ondas de cuerpo o internas, las cuales pueden ser de compresión (ondas P) o de corte (ondas S). [15]

- Ondas de cuerpo

Las ondas P, o primarias, se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, generando compresiones y dilataciones en el medio. [15]

Figura 10. Ondas de cuerpo primarias que se propagan por el interior de la tierra

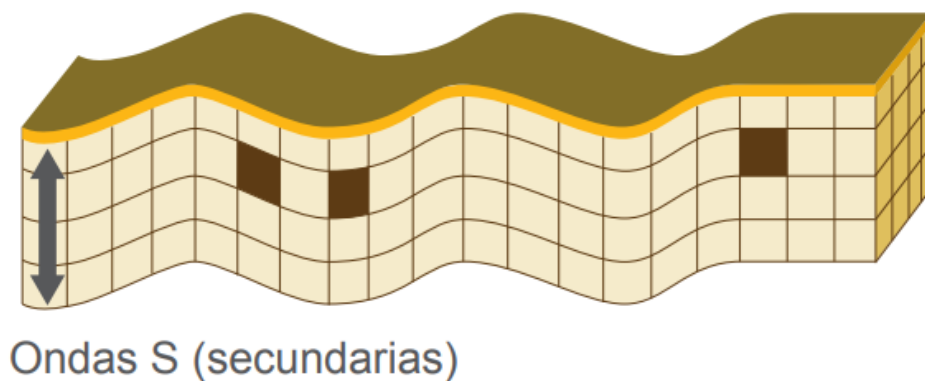


Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas

Este tipo de ondas pueden alcanzar más de 11 km/s en el interior de la Tierra siendo la primera en llegar a cualquier punto en el medio que se propaga. [15]

Las ondas S, o secundarias, son ondas en las cuales las partículas del medio se desplazan de forma perpendicular a la dirección de propagación y están asociadas con deformaciones del terreno. [15]

Figura 11. Ondas de cuerpo secundarias que se propagan por el interior de la tierra



Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas 13

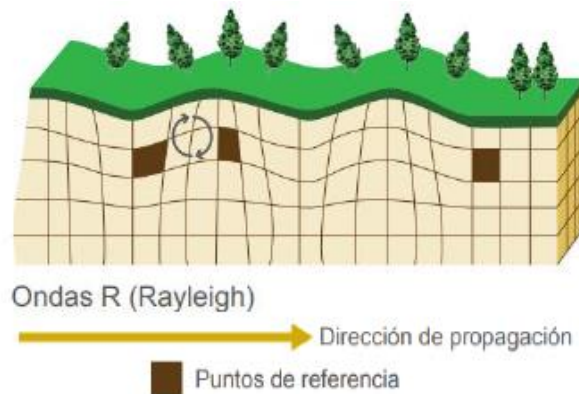
- Ondas superficiales

Existen ondas que viajan por la superficie terrestre. Estas ondas se dividen en dos categorías: ondas de Rayleigh y ondas de Love. [15]

- Ondas de Rayleigh

Son generadas por la interacción entre las ondas P y la componente vertical de las ondas S. Su velocidad va de 1 a 4 km/s. Estas ondas provocan el apareamiento de algunas zonas de la superficie terrestre y el hundimiento de otras. [15]

Figura 12. Ondas superficiales de Rayleigh generadas por movimientos sísmicos



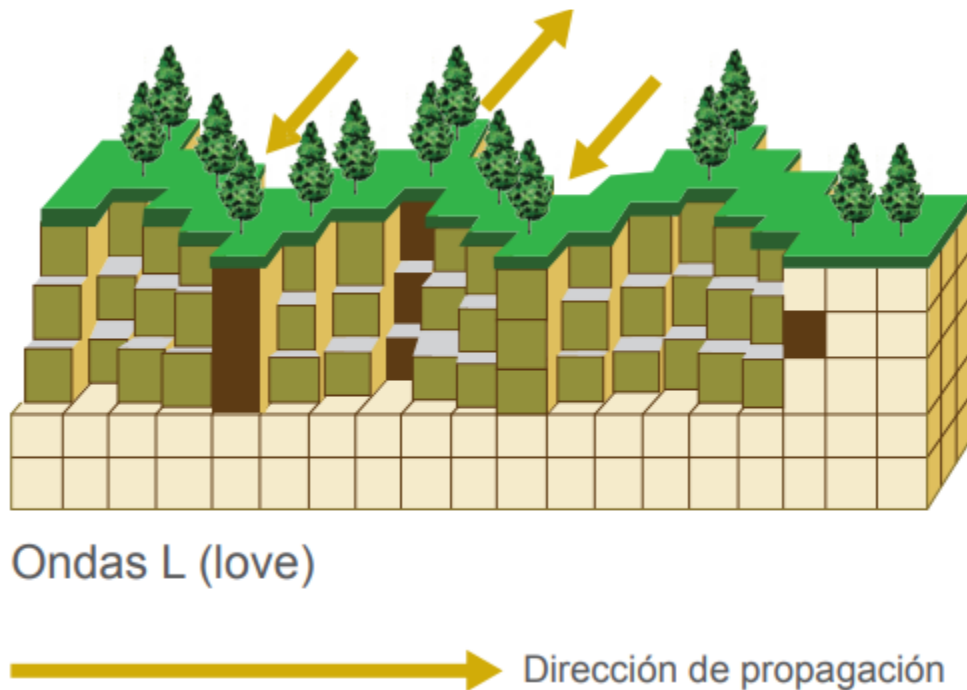
Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas

- Ondas de Love

Su comportamiento es similar a la de las ondas de Rayleigh, pero éstas son generadas por la interacción de la componente horizontal de las ondas S. Las ondas de Love son más veloces que las de Rayleigh ya que tienen velocidades de 1 a 4,5 km/s. Estas ondas provocan cortes en la superficie terrestre. [15]

La energía asociada a las ondas sísmicas se encuentra en función de la amplitud de las ondas. El momento que las ondas avanzan, se amortiguan y su amplitud disminuye. De esta manera el movimiento sísmico es menor cuando el hipocentro se encuentra a mayor profundidad. El aparato empleado para la detección de ondas sísmicas se llama sismógrafo. [15]

Figura 13. Ondas superficiales de Love generadas por movimientos sísmicos



Fuente: Grases, J. La amenaza sísmica. Estrategias preventivas

2.1.6 Peligro Sísmico

Se define como la probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [16]

Los Métodos de cálculo de la peligrosidad sísmica se clasifican en dos grandes grupos:

- **Métodos Probabilistas**

Los métodos probabilistas consideran las leyes de recurrencia y los efectos de todos los sismos que afectan a un lugar de emplazamiento específico, dando como resultado estimaciones de la probabilidad de excedencia para cada valor de la intensidad del movimiento esperado en el emplazamiento, durante un periodo de tiempo dado. [17]

- **Métodos Deterministas**

Los métodos deterministas tienen por objetivo obtener la acción sísmica en el emplazamiento, sin proporcionar información sobre su periodo de retorno, es decir, no analizan incertidumbres introducidas en el proceso de cálculo, ni contienen criterios claros que permitan asegurar que el sismo obtenido sea el máximo esperable, lo que lleva con frecuencia a introducir conservadurismos excesivos. [17]

El proceso de cálculo con estos métodos se realiza en los siguientes pasos:

- a) Identificación y caracterización de todas las fuentes sísmicas las cuales pueden producir movimientos sísmicos significativos en el área de estudio.
- b) Selección del parámetro para la estimación de la distancia de cada fuente al sitio de emplazamiento seleccionando la menor distancia entre ambos lugares. La distancia estimada puede ser epicentral o hipocentral y ésta dependerá de cada ley de atenuación a emplear.
- c) Seleccionar el sismo que produzca mayor movimiento expresado en magnitud.
- d) Determinación del peligro, el movimiento sísmico en el área de estudio por la fuente sísmica predominante producirá un sismo de magnitud alta, para lo cual se utilizará las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE's) validadas por el Global Earthquake Model (GEM). [18]

2.1.7 Zonificación Sísmica en Ecuador

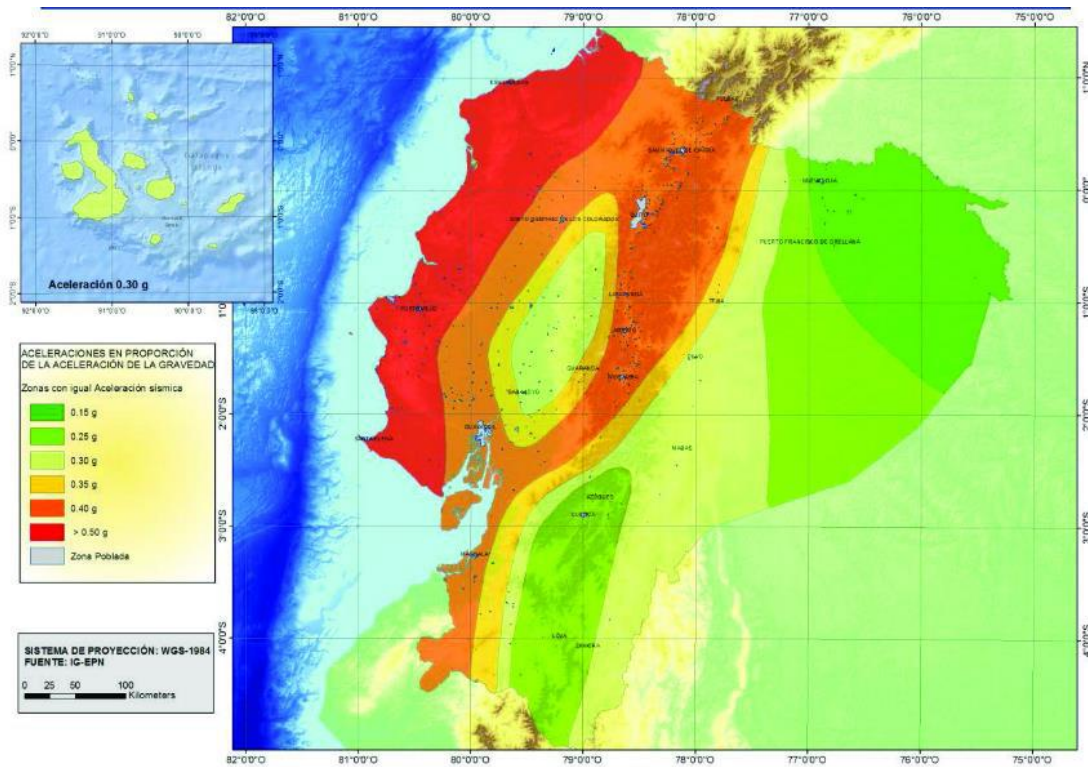
El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [16]

El mapa reconoce el hecho de que la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador. A este hecho se añade un complejo sistema de fallas local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano. [16]

El estudio de peligro sísmico fue realizado de manera integral para todo el territorio nacional, de acuerdo con las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local, incluyendo: [16]

- La evaluación de los principales eventos históricos acompañada de un estudio moderno de reevaluación de la magnitud y localización de dichos eventos utilizando el método de Bakun & Wentworth (Beauval et. al, 2010). [16]
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénéticas y sus parámetros sismológicos (rumbo, buzamiento, magnitud mínima de homogeneidad, tasa media de actividad sísmica, magnitud máxima probable y tasas de recurrencia). [16]
- La utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes intraplaca (entre ellas las de Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Boomer, 2010; w . 88 Kanno et. al., 2006; Bindi et. al., 2009) y para las fuentes de subducción (Youngs et. el., 1997; Atkinson y Boore, 2003; Kanno et. al., 2006; McVerry et. al., 2006; Lin y Lee, 2008; Zhao et. al., 2006). [16]

Figura 14. Zonas sísmicas en el Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z



Fuente: Peligro Sísmico NEC 2015

2.1.7.1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. [16]

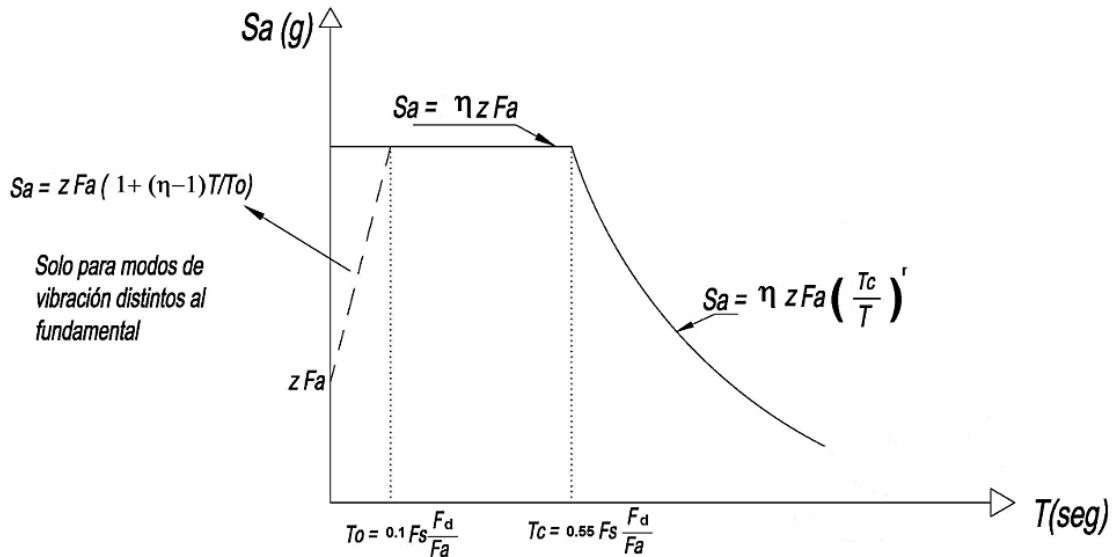
Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. [16]

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, consistente con: [16]

- El factor de zona sísmica Z,

- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s .

Figura 15. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño



Fuente: Peligro Sísmico NEC 2015

- **Período de vibración**

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación. [16]

- **Período de vibración fundamental**

Es el mayor período de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés. [16]

- **PGA (Peak Ground Acceleration)**

Aceleración sísmica máxima en el terreno. [16]

2.1.8 Ecuaciones de Predicción de Movimiento de suelo (GMPE'S)

- Atenuación sísmica

Se define como la disminución de la amplitud de las ondas sísmicas debido a su transmisión a través del interior y por la superficie de la Tierra. Las leyes o curvas de atenuación describen la variación de la intensidad del movimiento del terreno y se encuentran en función de la magnitud y de la distancia epicentral o de la distancia a la fuente sísmica. [19]

- Magnitud de un sismo

La magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000 es decir aproximadamente 32 veces la energía liberada. [20]

- Magnitud de momento, M_w

Esta magnitud se determina a partir del momento sísmico, es decir que es una cantidad proporcional al tamaño de la ruptura de la falla geológica y su deslizamiento. Su estimación es compleja y puede llevarse a cabo empleando diversos métodos y tipos de datos. Esta magnitud es la más confiable y la más usada por las agencias dedicadas a la detección de sismos. También es la magnitud más usada por científicos para comparar los tamaños entre sismos. [20]

Para el presente estudio, la magnitud de momento se obtendrá por medio de expresiones establecidas por Wells, D. y Coppersmith, K. los cuales nos dicen: Los análisis probabilísticos como deterministas, necesitan de una evaluación del futuro potencial del terremoto en una región. Se debe estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían ser generados por una falla particular o una fuente de terremoto. El futuro potencial de terremoto por lo general se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, ya que están relacionados con la magnitud del terremoto. [21]

Los Autores Wells y Coppersmith nos proporcionan la siguiente tabla para el cálculo de la Magnitud de Momento: [21]

Tabla 1 Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M)

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

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

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

- Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE'S)

Una relación de atenuación es una expresión matemática que relaciona un parámetro específico del movimiento del suelo con otros parámetros sismológicos que caracterizan cuantitativamente la fuente sísmica, la trayectoria de propagación de las ondas y el efecto

local de suelo. Éstas Expresiones matemáticas son mejor definidas como “Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo” (GMPEs). [19]

El proyecto GMPE establece una selección entre una serie de ecuaciones predeterminadas para diferentes regiones tectónicas del planeta. [22]

Los modelos propuestos se los obtiene a partir de las aceleraciones y/o velocidades espectrales, se formulan en función de la magnitud y distancia, para el rango de frecuencias de interés. Generalmente en los modelos interviene también el tipo de suelo en el emplazamiento, que se incluye a través de un factor S que lo identifica, según la clasificación adoptada. Una diferencia esencial entre los distintos modelos es la zona fuente de los datos, que condiciona su aplicación a zonas de características afines. Además, hay variaciones en las escalas de magnitud y distancia introducidas, así como en los rangos de validez del modelo atendiendo a estos parámetros. Por todo ello, para realizar una correcta aplicación, es importante examinar previamente las características principales de cada modelo y extraer la información necesaria para el posterior cálculo de espectros. [22]

Dónde se escogerá las siguientes:

Sismos Intraplaca (Fallamiento Cortical)

- **Boore y Atkinson (2008)**

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

Donde:

F_{M,D,S}: Coeficientes

M: Magnitud de momento

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

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

- **Akkar y Bommer (2010)**

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & b_1 + b_2 M + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) \log \sqrt{R^2 j b + b^2 6} + b_7 S_S + b_8 S_A \\ & + b_9 F_N + b_{10} F_R + \varepsilon_\sigma \end{aligned}$$

(2)

Dónde:

b: Coeficientes

F_N: Falla normal

F_R: Falla inversa

M: Magnitud de momento

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

S_A: Suelo rígido

S_s: Suelo suave

- **Kanno et al. (2006)**

Si $D \leq 30$ Km:

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

(3)

Si $D > 30$ Km:

$$\text{Log } pre = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2$$

(4)

Dónde:

D: Profundidad Focal

a, b, c, d: Coeficientes

M_w: Magnitud de momento

X: Distancia de la fuente

Sismos Subducción

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

$$\begin{aligned} Lny = & -0.6687 + 1.438M + C1 + C2(10 - M)^3 + C3 \\ & * Ln(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \end{aligned} \quad (5)$$

Dónde:

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficientes

R: Distancia fuente a sitio

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

Zt: Tipo de falla

- **Zhao (2006)**

$$\begin{aligned} logy = & aMw + bw - log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSLlog(x) \\ & + CK \end{aligned} \quad (6)$$

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b, e, Ck: Coeficientes

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal

hc: Constante

Ck: Clase de sitio

2.2. HIPÓTESIS

El estudio de peligro sísmico determinista, influye en el nivel de amenaza de las estructuras del Sector Huachi Loreto Barrio El Buen Pastor.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del sector Huachi Loreto Barrio El Buen Pastor ubicado entre las calles Av. Bolivariana, Galo Vela Álvarez, Av. El Cóndor.

2.3.2 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

En este proyecto los tipos de investigación a ser utilizados serán: exploratorio, de campo y de laboratorio.

- Exploratorio debido a que el peligro sísmico para las estructuras del sector Huachi Loreto del Cantón Ambato no se ha realizado ni se encuentra registro de estudios similares previos dentro del sector. La metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionados con el espectro propuesto por la NEC-15. [16]
- De campo porque se extrae información de la realidad mediante la recolección de datos y muestras del lugar, los datos y muestras obtenidos ayudarán al desarrollo de la investigación ya que los mismos son tomados de forma directa del lugar en estudio.
- De laboratorio porque se realizará ensayos para determinar el tipo de perfil de suelo por medio del ensayo de penetración estándar SPT. Se usará el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

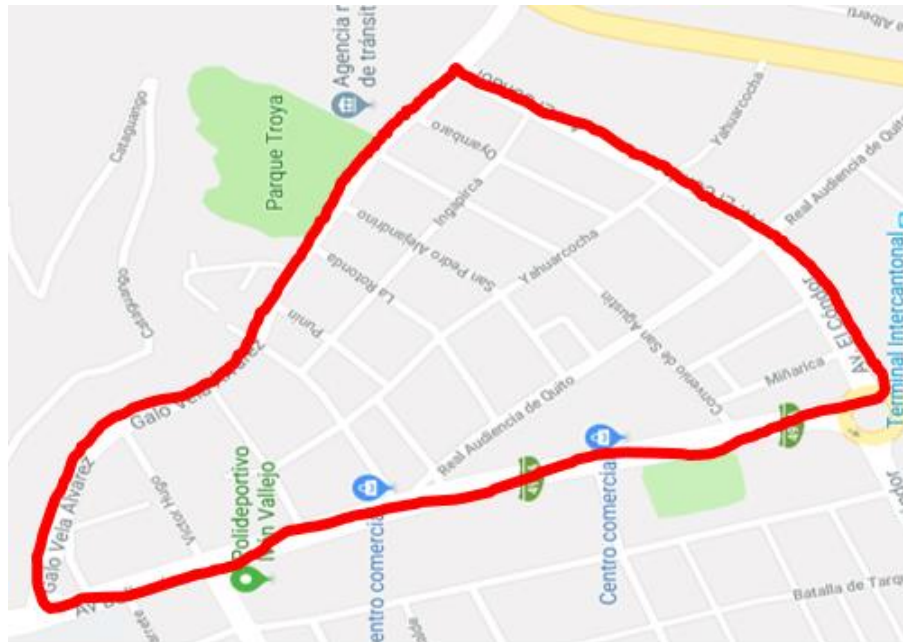
La población es el sector Huachi Loreto ubicado entre las calles Av. Bolivariana, Galo Vela Álvarez, Av. El Cóndor. Para ello es necesario conocer las características geotécnicas del suelo y las Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo (GMPE's) que se va a utilizar. [19]

Muestra:

Se realizará un mínimo de 5 ensayos de perforación SPT distribuidos de manera geométrica para el estudio de suelos en el sector Huachi Loreto ubicado entre las calles Av. Bolivariana, Galo Vela Álvarez, Av. El Cóndor como recomienda la NEC-15, en el literal 10.6.2.

El sector en estudio tiene una superficie tentativa de 394,491.14 m²

Figura 16. Superficie de estudio



Fuente: Google maps

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista.

Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente

CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICA-INSTRUMENTO
Es el escenario sísmico sobre el cual se basa la evaluación del peligro del movimiento sísmico en el lugar de estudio	Movimiento sísmico	Sismo	¿Cuál fue la magnitud del sismo?	- Experimental - Bibliografía
		PGA (Peak Ground Accelerations)	¿Cuál es el PGA obtenido?	- Experimental - Bibliografía

Fuente: José Luis Rodríguez

1.3.2 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector Huachi Loreto Barrio El Buen Pastor ubicado entre las calles Av. Bolivariana, Galo Vela Álvarez, Av. El Cóndor.

Tabla 3 Operacionalización de la variable dependiente

CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICA-INSTRUMENTO
Es la posibilidad de ocurrencia de un sismo en un determinado lugar, durante un espacio de tiempo	Amenaza sísmica	Magnitud Distancia desde el punto sísmico hasta el punto de estudio	¿La magnitud es de amenaza representativa? ¿La distancia que hay, tiene importancia en la amenaza producida?	- Experimental - Bibliografía - Experimental - Bibliografía

Fuente: José Luis Rodríguez

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 4 Plan de recolección de información

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	- Para evaluar el peligro sísmico en Ambato en el sector Huachi Loreto ubicado entre las calles Av. Bolivariana, Galo Vela Álvarez, Av. El Cóndor, mediante la determinación de espectros de respuesta asociados a las fallas seleccionadas

¿De qué personas u objetos?	- Fallas seleccionadas, Régimen tectónico y tipo de suelo en el lugar de estudio
¿Dónde se realiza los ensayos?	- En el sector de Huachi Loreto ubicado entre las calles Av. Bolivariana, Galo Vela Álvarez, Av. El Cóndor
¿Sobre qué aspectos?	- Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras
¿Quién evalúa?	José Luis Rodríguez Sisalema
¿Dónde se evalúa?	- Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
¿Con que técnica o instrumento?	- Ensayos de laboratorio - Norma NEC-15 - Investigación Bibliográfica

Fuente: José Luis Rodríguez

3.4. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El procedimiento por seguir será de la siguiente manera:

1. Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio.
2. Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador.
3. Evaluación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells – Coppersmith. [21]
4. Reconocimiento del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, apoyado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
5. Valorar la aceleración máxima de suelo de acuerdo con el régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs).
6. Comparación del espectro de respuesta analizada con los de la NEC-15.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1.1 Régimen Tectónico

El sector de Huachi Loreto se encuentra ubicado en la ciudad de Ambato aproximadamente en 2580 msnm en la región interandina del Ecuador. Ambato posee una superficie de 1200

km² aproximadamente. La ciudad está ubicada en la provincia de Tungurahua siendo esta una región sísmica y volcánica. [23]

Caracterización de la sismicidad en el Ecuador

El origen de estos eventos sísmicos tiene dos fuentes principales: debidos al fallamiento cortical que afecta al Bloque Norandino y a la Placa Sudamericana y al proceso de subducción de la Placa Oceánica Nazca bajo el Bloque Norandino y la Placa Sudamericana. [24]

El Ecuador tiene tres tipos de regímenes tectónicos que son: Cortical, subducción interplaca y subducción intraplaca. [25]

Los sismos de Origen tectónico pueden alcanzar magnitudes de hasta 9,5 Mw. Los de origen volcánico tienen magnitudes generalmente bajas que se encuentran entre 1 y 4,5 grados con profundidades superficiales que van de 1 a 10 km. [25]

La principal acumulación de energía para la generación de sismos es la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Un ejemplo de esto es el sismo del 31 de enero de 30 1906 ocurrido frente a las costas de Esmeraldas con una magnitud de 8,8 siendo este considerado un evento alto en la escala Mundial. [25]

A continuación, se muestran los eventos más destructivos asociados al régimen de subducción: [25]

Tabla 5 Eventos más destructivos asociados al régimen de Subducción

Lugar	Magnitud Mw	Año	Epicentro
Esmeraldas	8,8	1906	Costas afuera de Mompiche
Manabí	7,8	1942	Pedernales
Manabí	7,8	1958	Pedernales
Esmeraldas	8,1	1979	Costas afuera de San Lorenzo
Manabí	7,8	2016	Pedernales

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Uno de los sismos históricos registrados en nuestro territorio es el de febrero de 1797 que tuvo lugar en la ciudad de Riobamba, el mismo que registro una intensidad máxima de XI (Escala MKS). Por sus efectos causados, este ha sido el evento sísmico que más daño ha causado en nuestro país hasta la actualidad. Dicho evento ocasionó cambios en la topografía de la ciudad por lo que posteriormente fue reubicada en el lugar que ocupa actualmente. Como resultado de esto se produjeron daños en provincias aledañas como Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar y Pichincha. [25]

El sismo del 5 de agosto de 1949, conocido como Terremoto de Ambato o Pelileo, tuvo un alto potencial destructivo debido a la generación de grandes deslizamientos por efectos de sitio en la localidad de Pelileo. Su epicentro se ubica en una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 km nororiente de Pelileo. La magnitud 31 calculada en función de las intensidades generadas es de 6.8 con una profundidad menor a 15 km.[26]

El sismo registrado el 16 de abril del 2016 en la Provincia de Manabí tuvo una magnitud de 7.8 Mw (magnitud momento), cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales a 20 km de profundidad. Este evento sísmico fue resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca y la Sudamericana. El mismo fenómeno de subducción originó los sismos del 31 enero 1906 (Mw 8.8), que es el más grande registrado en Ecuador y el sexto más grande a escala mundial; el del 14 mayo 1942 (Mw 7.8); 19 enero de 1958 (Mw 7.8) y del 12 diciembre de 1979 (Mw 8.1). [27]

La Tabla 5 muestra los eventos sísmicos que se han sentido con mayor intensidad en la ciudad de Ambato. Se encuentran ordenados cronológicamente con sus respectivas intensidades.

Tabla 6 Eventos más destructivos asociados al régimen de Subducción

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

4.1.2 Selección de Fallas Geológicas

El criterio para la selección de fallas se lo realizó en base a su longitud y su distancia de la fuente al sitio de estudio. Como dato adicional se puede mencionar que las fallas inversas generan sismos de gran magnitud.

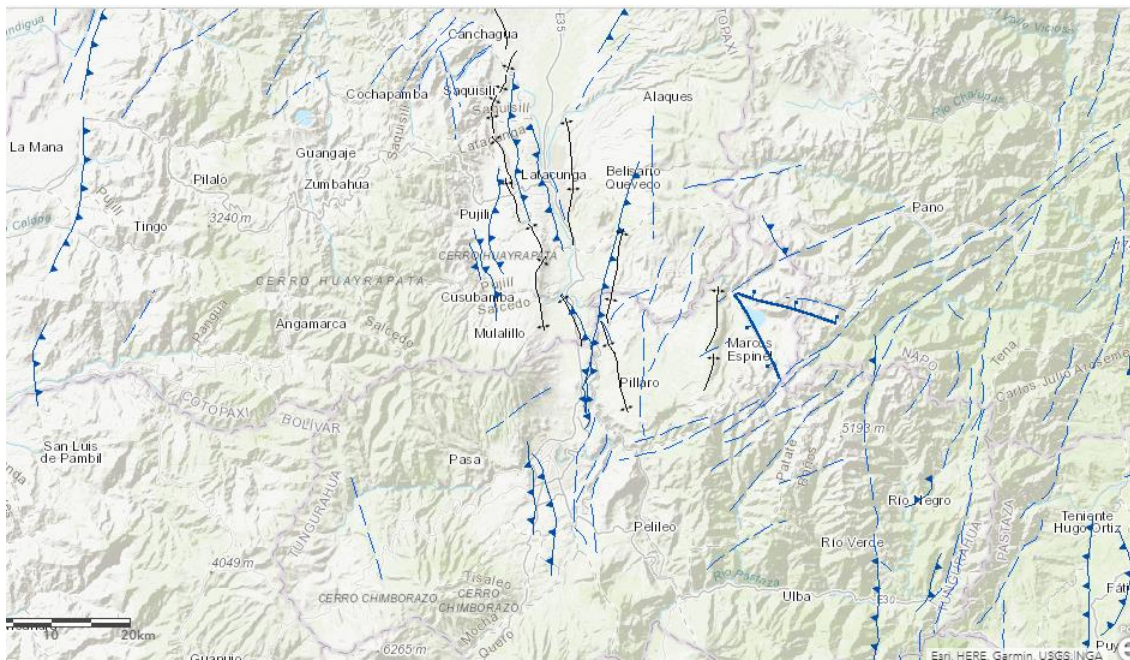
La Longitud de cada falla se la tomó en base a la medición en la plataforma virtual de la Neo-Tec en Ecuador, en la cual se puede obtener la información de las fallas activas en el país.

Figura 17. Fallas Geológicas del Ecuador



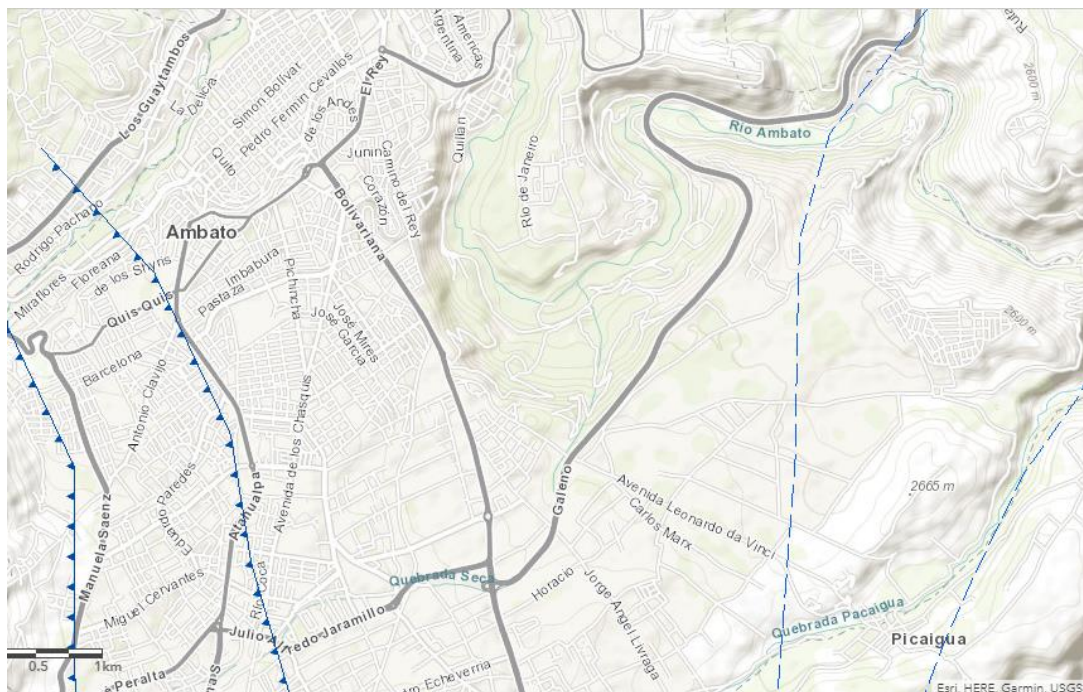
Fuente: Neo Tec – Ecuador

Figura 18. Fallas Geológicas de Tungurahua



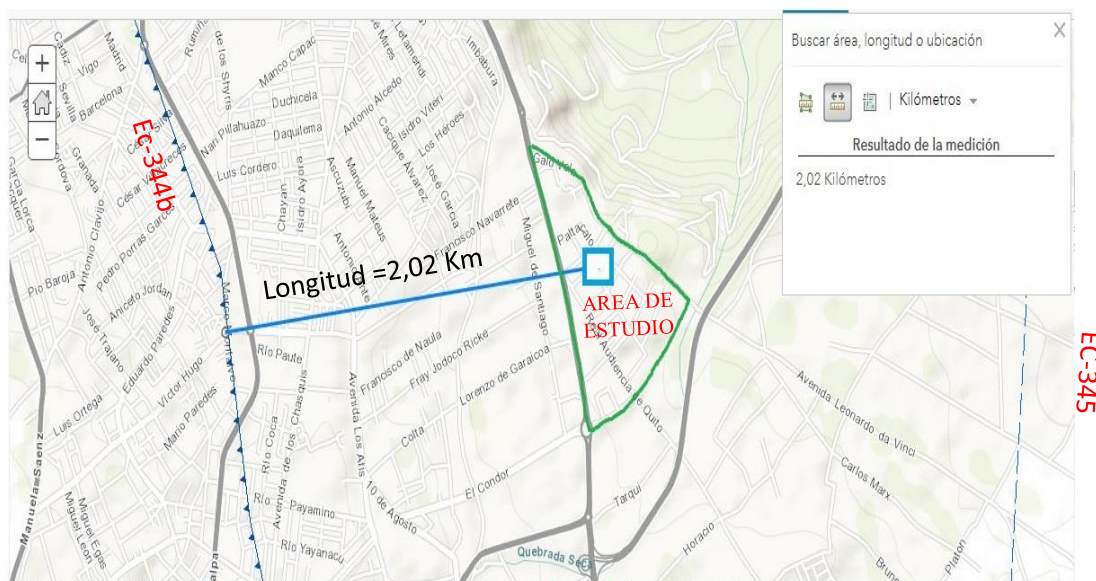
Fuente: Neo Tec – Ecuador

Figura 19. Fallas Geológicas de Ambato



Fuente: Neo Tec – Ecuador

Figura 20. Distancia perpendicular más cercana a la Falla.



Fuente: Neo Tec – Ecuador

Se estableció una sección pequeña en el centro del área de estudio tomando una distancia aproximada mínima horizontal a la proyección de la superficie del plano de ruptura establecida por Joyner-Boore (Rjb). De esta manera se procedió a medir una distancia perpendicular a dicho punto. [28]

Tabla 7 Longitud y distancia de Fallas Geológicas en estudio

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA AL SÍTIO (Km)
EC-344b	AMBATO	Inversa Ciega	16.30	2.02
EC-344a	HUACHI	Inversa Ciega	12.04	3.22
EC-54	SAMANGA	Inversa Ciega	32.95	8.43
EC-344a	TOTORAS	Transcurrente Inversa Ciega	17.65	2.17
EC-223	SUBDUCCION	Inversa Subducción	1536.49	298.1

Elaborado. José Luis Rodríguez

4.1.3 Características del Suelo

Los suelos se definen como materiales que poseen partículas de tamaño menor a 3" y se los puede clasificar en base a su composición granulométrica y sus características de plasticidad, indicados en la Tabla 7 establecida por el sistema SUCS. [29]

Los suelos se clasifican como gruesos cuando más del 50 % de sus partículas son de tamaño mayor que 0,075 mm (tamiz N°200) y como finos cuando el 50% de sus partículas o más, son de menor tamaño. [29]

Tabla 8 Clasificación de los suelos con base en el SUCS

Tipo	Sub-Tipos	Identificación			Símbolo de Grupo	
Suelos (partículas menores de 7,5 cm)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0,075 mm)	GRAVA Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ⁰¹	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM
				Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC
		ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ⁰¹	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
				Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	SM
				Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC
	SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite líquido Mayor de 50%	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML	
				Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL	
				Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL	
				Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH	
				Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH	
				Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH	
			Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P _t		
ALTAMENTE ORGÁNICOS						

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

En las siguientes tablas se presentan los resultados del análisis granulométrico de cada muestra de suelo, donde se clasifica el tipo de suelo en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). [29]

Tabla 9 Análisis granulométrico. (Pozo 1)

PRIMER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	0	0.00%	100.00%
RETENIDO HASTA #200	295.9	70.15%	29.85%
FUENTE	125.9	29.85%	
TOTAL	421.8	100.00%	
SEGUNDO METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	79.5	10.35%	89.65%
RETENIDO HASTA #200	381.2	49.62%	50.38%
FUENTE	307.5	40.03%	
TOTAL	768.2	100.00%	
TERCER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	43.7	16.08%	83.92%
RETENIDO HASTA #200	221.6	81.56%	18.44%
FUENTE	6.4	2.36%	
TOTAL	271.7	100.00%	

Elaboración: José Luis Rodríguez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM).

Tabla 10 Análisis granulométrico. (Pozo 2)

PRIMER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	1.2	0.32%	99.68%
RETENIDO HASTA #200	367.4	99.14%	0.86%
FUENTE	3.2	0.86%	
TOTAL	370.6	100.00%	
SEGUNDO METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	1.1	0.67%	99.33%
RETENIDO HASTA #200	126.9	77.47%	22.53%
FUENTE	35.8	21.86%	
TOTAL	163.8	100.00%	
TERCER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	10.8	2.65%	97.35%
RETENIDO HASTA #200	295.7	72.62%	27.38%
FUENTE	100.7	24.73%	
TOTAL	407.2	100.00%	

Elaboración: José Luis Rodríguez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM).

Tabla 11 Análisis granulométrico. (Pozo 3)

PRIMER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	0	0.00%	100.00%
RETENIDO HASTA #200	159.4	85.33%	14.67%
FUENTE	27.4	14.67%	
TOTAL	186.8	100.00%	
SEGUNDO METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	0	0.00%	100.00%
RETENIDO HASTA #200	217.9	74.75%	25.25%
FUENTE	73.6	25.25%	
TOTAL	291.5	100.00%	
TERCER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	1.2	0.27%	99.73%
RETENIDO HASTA #200	314.3	70.00%	30.00%
FUENTE	133.5	29.73%	
TOTAL	449	100.00%	
CUARTO METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	10.7	5.09%	94.91%
RETENIDO HASTA #200	139.2	66.19%	33.81%
FUENTE	60.4	28.72%	
TOTAL	210.3	100.00%	

Elaboración: José Luis Rodríguez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un

suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM).

Tabla 12 Análisis granulométrico. (Pozo 4)

PRIMER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	0	0.00%	100.00%
RETENIDO HASTA #200	245.5	67.17%	32.83%
FUENTE	120	32.83%	
TOTAL	365.5	100.00%	
SEGUNDO METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	0	0.00%	100.00%
RETENIDO HASTA #200	265.6	82.36%	17.64%
FUENTE	56.9	17.64%	
TOTAL	322.5	100.00%	
TERCER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	2.5	0.59%	99.41%
RETENIDO HASTA #200	298.5	70.30%	29.70%
FUENTE	123.6	29.11%	
TOTAL	424.6	100.00%	

Elaboración: José Luis Rodríguez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un

suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM).

Tabla 13 Análisis granulométrico. (Pozo 5)

PRIMER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	1.7	0.66%	99.34%
RETENIDO HASTA #200	145.6	56.57%	43.43%
FUENTE	111.8	43.43%	
TOTAL	257.4	100.00%	
SEGUNDO METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	6.7	2.79%	97.21%
RETENIDO HASTA #200	199.8	83.11%	16.89%
FUENTE	33.9	14.10%	
TOTAL	240.4	100.00%	
TERCER METRO			
TAMIZ #	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO	% PASA
#4	0	0.00%	100.00%
RETENIDO HASTA #200	315.7	72.03%	27.97%
FUENTE	122.6	27.97%	
TOTAL	438.3	100.00%	

Elaboración: José Luis Rodríguez

De la tabla de granulometría anterior se determinó que en cada metro calculado más del 50% del total de la muestra es retenido en el tamiz N°200 por lo que se determina que es un

suelo grueso. Dado que más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz N°4 y más del 12% en masa pasa el tamiz N°200, el tipo de suelo será arena limosa. (SM).

4.1.3.1 Ensayo de Penetración Estándar

Para llevar a cabo el Ensayo de Penetración Estándar se realizará en base a los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 689. [30]

Preparación previa al ensayo

- a) Efectuada la perforación y alcanzada la profundidad a la que se va a realizar el ensayo, se limpia el pozo, cuidando que el material a muestrear no resulte alterado por dicha operación.
- b) Cuando se detecten suelos sin cohesión, poco cohesivos o muy blandos, debe asegurarse la estabilidad de las paredes de la perforación entibando la misma.
- c) En el caso de arenas o limos saturados, las herramientas de perforación deben retirarse lentamente, para impedir el derrumbamiento de las paredes del pozo.
- d) No se debe entibar una perforación más abajo del nivel en que se va a tomar la muestra. [30]

Procedimiento de ensayo

- a) Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de 75 ± 5 cm sobre la cabeza de golpe.
- b) Para el izaje del martinete debe usarse cabo de manila o similar y, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo no debe enrollarse más de dos vueltas en el malacate.
- c) Debe cuidarse de que la barra rígida de acero que sirve de guía en la caída del martinete esté completamente vertical, con lo cual se asegura que la energía de los golpes no resulte disminuida por efecto de la fricción del martinete sobre dicha barra.
- d) El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm, lo cual se considera como un proceso necesario de preparación y ajuste para el ensayo.

e) Se inicia entonces el ensayo contando el número de golpes (N) necesarios para hacer penetrar el muestreador 30 cm, lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. Si al hincar este tramo se sobrepasan los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medida indicada, se debe anotar el número de golpes efectuados y la fracción o longitud de penetración del muestreador.

f) Luego del hincado y antes de extraer el muestreador a la superficie debe girarse por lo menos dos revoluciones, luego de lo cual, se extrae el muestreador a la superficie, se lo abre y se determina la longitud de la muestra recuperada.

g) La muestra se la debe acondicionar y cerrar herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio. Para la identificación de las muestras, los recipientes que las contengan deben etiquetarse adecuadamente. [30]

En la siguiente figura se muestra la ubicación de cada uno de los puntos en los que se realizó el ensayo SPT.

Figura 21. Ubicación de las perforaciones realizadas en el Sector “Huachi Loreto”



Fuente: GoogleMaps

4.1.4 Velocidad media de la onda de cortante Vs30

Las velocidades Vs30 se pueden evaluar en el sitio por medio de estimaciones semiempíricas que correlacionan las velocidades de las ondas cortantes con parámetros geotécnicos, para suelos de características similares. [1]

Los parámetros que se utilizan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los 30 m superiores del mismo son: [1]

- La velocidad media de la onda de cortante, Vs30 (m/s),
- El número medio de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT en inglés para “Standard Penetration Test”) [1]

Tabla 14 Clasificación de los Perfiles de Suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s
Tipo de perfil	Descripción	Definición
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50$ kPa

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

Fuente: NEC 2015 - Peligro Sísmico

En las siguientes tablas se muestran los valores NSPT obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en los cuales se procedió a sumar los dos últimos valores parciales para obtener el valor de NSPT total de cada metro perforado.

Tabla 15 . Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 1

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (PARCIAL)	NSPT (TOTAL)	NSPT (MEDIO)	TIPO DE PERFIL
55	LIMPIEZA	11	57	D
70	7			
85	3			
100	8			
155	LIMPIEZA	69		
170	29			
185	32			
200	37			
255	LIMPIEZA	91		
270	39			
285	40			
300	51			

Elaboración: José Luis Rodríguez

Tabla 16 . Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 2

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (PARCIAL)	NSPT (TOTAL)	NSPT (MEDIO)	TIPO DE PERFIL
55	LIMPIEZA	32	58	D
70	16			
85	17			
100	15			
155	CIMENTACION	50		
170	16			
185	21			
200	29			
255	CIMENTACION	91		
270	40			
285	43			
300	48			

Elaboración: José Luis Rodríguez

Tabla 17 Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 3

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (PARCIAL)	NSPT (TOTAL)	NSPT (MEDIO)	TIPO DE PERFIL
55	LIMPIEZA	4	49	D
70	3			
85	3			
100	1			
155	CIMENTACION	48		
170	17			
185	18			
200	30			
255	CIMENTACION	71		
270	35			
285	30			
300	41			
355	CIMENTACION	73		
370	25			
385	31			
400	42			

Elaboración: José Luis Rodríguez

Tabla 18 Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 4

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (PARCIAL)	NSPT (TOTAL)	NSPT (MEDIO)	TIPO DE PERFIL
55	LIMPIEZA	4	50	D
70	3			
85	3			
100	1			
155	CIMENTACION	62		
170	17			
185	24			
200	38			
255	CIMENTACION	84		
270	34			
285	39			
300	45			

Elaboración: José Luis Rodríguez

Tabla 19 Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 5

PROFUNDIDAD (cm)	NSPT (PARCIAL)	NSPT (TOTAL)	NSPT (MEDIO)	TIPO DE PERFIL
55	LIMPIEZA	16	50	D
70	3			
85	5			
100	11			
155	CIMENTACION	40		
170	21			
185	21			
200	19			
255	CIMENTACION	94		
270	16			
285	41			
300	53			

Elaboración: José Luis Rodríguez

4.1.4.1 Determinación de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30

Uno de los parámetros geofísicos ampliamente empleados para estimar la respuesta sísmica en un sitio determinado, lo constituye el promedio de las velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m de espesor (Vs30), el cual fue utilizado como uno de los índices del estudio paramétrico de respuestas 1D de sitios, junto con el espesor de sedimentos. [31]

Para determinar la velocidad media de la onda de cortante en suelos lo ideal es recurrir a pruebas geofísicas de campo para encontrar directamente los valores mediante alguno de los métodos de geofísica sísmica. Con frecuencia, a falta de estas pruebas geofísicas se recurre a ecuaciones empíricas para estimar VS partiendo las resistencias a la penetración estándar (N). Sin embargo, es conocida la susceptibilidad de los resultados de la prueba de penetración estándar dependiendo de los equipos y metodologías con la que se realizó, por lo que los valores de VS calculados a partir de dicha prueba deben verse con mucha cautela. [32]

Para la presente investigación se procedió a utilizar las correlaciones empíricas establecidas por Sykora & Stokoe (1983) la cual muestra un nivel satisfactorio en el cálculo de la velocidad de onda de cortante: [32]

$$V_s = 100,5NSPT^{0,29} \quad (7)$$

Dónde:

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

Vs: Velocidad media de la onda de cortante.

POZO 1 (H=3,00m)

$$V_s = 100,5(57)^{0,29}$$

$$V_s = 324,61 \text{ m/s}$$

POZO 2 (H=3,00m)

$$V_s = 100,5(58)^{0,29}$$

$$V_s = 326,25 \text{ m/s}$$

POZO 3 (H=4,00m)

$$V_s = 100,5(49)^{0,29}$$

$$V_s = 310,68 \text{ m/s}$$

POZO 4 (H=3,00m)

$$V_s = 100,5(50)^{0,29}$$

$$V_s = 312,51 \text{ m/s}$$

POZO 5 (H=3,00m)

$$V_s = 100,5(50)^{0,29}$$

$$V_s = 312,51 \text{ m/s}$$

Al emplear esta ecuación para el número de golpes promedio de cada perforación a una altura de 4,00 m, el valor calculado se encuentra dentro del rango establecido por la NEC 2015 para un tipo de perfil de suelo D, es decir está entre $380 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$, por lo tanto, dicha ecuación satisface las necesidades de la presente investigación.

Las siguientes tablas se muestra los valores obtenidos de Vs30 para cada uno pozos establecidos:

Tabla 20 Cálculo de velocidad de cada pozo

SITIO	NSPT (MEDIO)	TIPO DE PERFIL	Vs30 (m/s)	PROMEDIO Vs30 (m/s)
POZO 1	57	D	324.61	317.31
POZO 2	58	D	326.25	
POZO 3	49	D	310.68	
POZO 4	50	D	312.51	
POZO 5	50	D	312.51	

Elaboración: José Luis Rodríguez

4.1.5. ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA CORTICALES INTRAPLACA.

Sismos corticales superficiales con una profundidad $\leq 30\text{Km}$

4.1.5.1. BOORE Y ATKINSON (2008)

El proyecto de atenuación de PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) es de donde se derivaron las ecuaciones, este utilizó una extensa base de datos de registros compilados de terremotos en sitios tectónicos que se encuentran activos en todo el mundo, las ecuaciones son una actualización de las GMPE publicadas en 1997 las cuales se basaron en un grupo limitado de datos a comparación con las utilizadas en 2008 por Boore y Atkinson. Los datos que fueron utilizados se basan en la magnitud y los rangos de distancia para el análisis de peligro sísmico. [33]

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

La función de la distancia está dada por:

$$FD(RJB,M) = [c1 + c2(M - Mref)] \ln(R/Rref) + c3(R - Rref)$$

Donde:

$$R = \sqrt{R^2JB + h^2} \quad (8)$$

c1, c2, c3 y h son los coeficientes a determinar el análisis

$$Mref = 4.5$$

$$Rref = 1\text{km}$$

El escalamiento de magnitud viene dado por:

$$a) M \leq Mh$$

$$FM(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e5(m - Mh) + e6(m - Mh)^2 \quad (9)$$

$$b) M > Mh$$

$$c) FM(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e7(m - Mh) \quad (10)$$

Donde U, SS, NS y RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, normal, inversa, Mh esta magnitud es para la forma de la escala de magnitud, en un coeficiente que se debe establecer durante el análisis.

La ecuación de amplificación del sitio está dada por:

$$Fs = FLIN + FNL \quad (11)$$

Donde:

FLIN y *FNL* son los términos lineales y no lineales respectivamente.

$$FLIN = b \ln \ln (Vs30/Vref) \quad (12)$$

Donde:

b lin = coeficiente dependiente del período (Descritos por Choi y Stewart en 2005)

Vref = velocidad de referencia especificada (760m/s) (Descrito por Choi y Stewart en 2005)

El termino no lineal este dado por:

a) $pga_{4nl} \leq a1$

$$FLIN = b_{nl} \ln (pga_{low}/0.1) \quad (13)$$

b) $a1 < pga_{4nl} \leq a2$

$$FLN = b_{nl} \ln ((pga_{low})/0.1) + [\ln (pga_{4nl}/a1)]^2 + d[\ln (pga_{4nl}/a1)]^3 \quad (14)$$

c) $a2 < pga_{4nl}$

d) $FNL = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1) \quad (15)$

Donde $a1 (=0.03g)$ y $a2 (=0.09g)$ se les asignan niveles para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente, $pga_{low} (=0.06)$ es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales, pga_{4nl} es la predicción de PGA en g para $V_{ref}=760$ m/s, dada por la ecuación principal con $F_s=0$ y $\varepsilon=0$. Las tres ecuaciones para no lineal del suelo responden (Ec. 13-15). [33]

Los coeficientes c y d en la ecuación 4.7 vienen dados por:

$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x) / \Delta x^2 \quad (16)$$

$$d = (2\Delta y - b_{nl}\Delta x) / \Delta x^2 \quad (17)$$

$$\Delta x = \ln (a2/a1) \quad (18)$$

$$\Delta y = b_{nl} \ln (a2/pga_{low}) \quad (19)$$

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

a) $V_{s30} \leq V1$

$$b_{nl} = b1 \quad (20)$$

b) $V1 < V_{s30} \leq V2$

$$b_{nl} = (b1 - b2) \ln (V_{s30}/V2) / \ln (V1/V2) + b2 \quad (21)$$

c) $V2 < V_{s30} < V_{ref}$

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{s30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref}) \quad (22)$$

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

$$b_{nl} = 0.0$$

$V_1 = 180 \text{ m/s}$, $V_2 = 300 \text{ m/s}$

Categorías:

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

Estas ecuaciones son aplicables para valores $180 \leq V_{s30} \leq 1300 \text{ m/s}$, no deben ser aplicados para sitios de roca muy dura.

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

- $M = 5-8$
- $RBJ < 200 \text{ km}$
- $V_{s30} = 180 - 1300 \text{ m/s}$

4.1.5.2. MODELO AKKAR Y BOMMER (2010)

Este se basa en el documento de Akkar y Bommer en el cual se trazan curvas de atenuación para valores medianos de PGA y ordenadas espectrales medianas para un número de escenarios de magnitud-distancia y luego compararon los valores obtenidos con otras ecuaciones de la Nueva generación de atenuación. [34]

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & b_1 + b_2 M + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) \log \sqrt{R^2 j b + b^2 6} + b_7 S_S + b_8 S_A + b_9 F_N \\ & + b_{10} F_R + \epsilon_\sigma \end{aligned}$$

Para esta ecuación y se encuentra en cm/s^2

Categorías:

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

Suelo rígido: SS= 1; SA= 1

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

Categorías mecanismo de falla:

Falla normal: FN= 1; FR= 1

Falla inversa: FN= 1; FR= 1

Falla transcurrente: FN= 0; FR= 0

La variabilidad se descompone en un inter-evento σ_2 y un componente intra-evento σ_1 , la desviación estándar total σ esta dada por la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (23)$$

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

- Se recomiendan hasta un período de 3 segundos.
- El rango de aplicabilidad es para distancias de hasta 100 km y para terremotos de magnitudes entre 5.0 y 7.6

4.1.5.3. MODELO KANNO (2006)

Tras el terremoto de Kobe de 1995, el gobierno japonés por prevenir futuros desastres, instaló estaciones de observación de movimiento fuerte, incluyendo K-NET (Kinoshita 1998). En 2005 la sede de Earthquake Research Promotion publicó mapas nacionales de peligros sísmicos en un sitio web. Estos mapas indican solo la intensidad sísmica para Japón. Relaciones empíricas de atenuación para los espectros de respuesta como Kobayashi y Midorikawa 1982, Annaka 1997, existen para Japón. En este estudio registra movimientos de tierras fuertes japoneses entre 1963 y 2003. [35]

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Logpre} = a1Mw + b1X - \log(X + d1 * 10^{e1Mw}) + c1 + \epsilon1$$

Si $D > 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a2Mw + b2X - \log(X) + c2 + \epsilon2$$

Para este estudio se toma como una falla cortical y se utilizara la primera ecuación, por no tener una profundidad focal menor a 30 km.

Donde:

pre = PGA previsto en (cm/ seg²)

D = profundidad focal (km)

a1, b1, C1, d1, a2, b2 y C2 = coeficientes de regresión.

X= Distancia de la fuente hasta el sitio de estudio.

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

Limitaciones del modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

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

4.1.6. ECUACIONES DE ATENUACIÓN PARA SUBDUCCIÓN

Para los modelos de subducción la profundidad será de 125 km ya que en los registros de algunos eventos las profundidades han sido mayores a los 100 km y en este tipo de modelos utilizan profundidades focales igual a 125 km.

4.1.6.1. MODELO YOUNGS (1997)

En este se presenta relaciones de atenuación para terremotos de zonas de subducción. En estas zonas se consideran dos tipos de terremotos, los de intraplaca e interplaca. Los terremotos de interplaca en esta zona son eventos de empuje de ángulo superficial que se producen en la interfaz entre las placas de subducción y de superposición mientras que los terremotos de intraplaca de esta zona ocurren dentro de la placa oceánica. [36]

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

Categorías:

- Suelo profundo $Z_{ds}= 1$; $Z_r= 0$; $Z_{ss}= 0$; profundidad hasta lecho recoso es mayor de 20m.
- Suelo poco profundo $Z_{ss}= 1$; $Z_{ds}= 0$; $Z_r= 0$; profundidad hasta la roca madre es menor de 20m.
- Interplaca $Z_t=0$; Intraplaca $Z_t= 1$ • Magnitudes desde $M_w= 5$

Donde:

Y=Aceleración espectral en g

M=Magnitud de momento.

R=Distancia más cercana a la falla (Km)

H=Profundidad Focal (Km)

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

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

Profundidades focales entre 10 y 229 km

4.1.6.2. MODELO ZHAO (2006)

Japón se encuentra en una zona sísmica activa, debido a que las ondas sísmicas, esperan que los movimientos de tierra generados por terremotos sean diferentes, incluso si los eventos tienen idéntica magnitud y distancias de fuente. El ingeniero utiliza modelos de atenuación para estimar las fuerzas y desplazamientos inducidos en las estructuras de ingeniería. [37]

$$\log y = aMw + bw - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL\log(x) + CK$$

Donde y está en (cm/s²)

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

- $\delta h = 1$ cuando $h \geq hc$ y 0 en caso contrario
- $SR = 0.251$; $SI = 0.0$; $Ss = 2.607$; $SSL = -0.528$ [20]

Usar $hc = 15$ km

- Profundidades focales [20]
- Evento Cortical: $h = 0 - 25$ km
- Eventos interplaca: $h = 10 - 50$ km
- Eventos intraplaca: $h = 15 - 162$ km

Si $h > 125$ km usar: $h = 125$ km

El parámetro inverso FR se aplica a falla inversa, y 0 para los demás eventos.

El parámetro tectónico SI se aplica a los eventos de interplaca y es 0 para los demás eventos.

SS se aplica solo a los eventos de subducción y es 0 para los demás eventos.

SSL es un término de modificación de trayectoria independiente de magnitud para los eventos de intraplaca.

4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1. MAGNITUD DE LAS FALLAS

Por medio de la ecuación de Wells y Coppersmith se obtiene la siguiente magnitud momento Mw: [38]

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

Dónde:

a, b: Coeficientes Tabla 1

SRL: Longitud de rotura superficial (km)

Se tomará las longitudes de la Tabla para esta ecuación

Tabla 21 Magnitud de momento calculado (Mw) de cada una de las Fallas Geológicas seleccionadas

CODIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA (Km)	MAGNITUD DE MOMENTO(M)
EC-344b	AMBATO	Inversa Ciega	16.30	2.02	6.48
EC-344a	HUACHI	Inversa Ciega	12.04	3.22	6.32
EC-345	TOTORAS	Transcurrente Inversa Ciega	17.65	2.17	6.56
EC-54	SAMANGA	Inversa Ciega	32.95	8.43	6.85
EC-223	SUBDUCCION	Inversa/Subduccion	1536.49	298.10	8.89

Elaboración: José Luis Rodríguez

4.2.2 Cálculo de Espectros

El espectro de respuesta es una importante herramienta de la dinámica estructural y de gran utilidad en el área del diseño sismorresistente, fue propuesta por Biot en 1932 y desarrollados por Housner, Newmark y otros investigadores. El espectro muestra la respuesta máxima expresada en términos de desplazamiento, velocidad y aceleración que produce una acción dinámica determinada en una estructura.

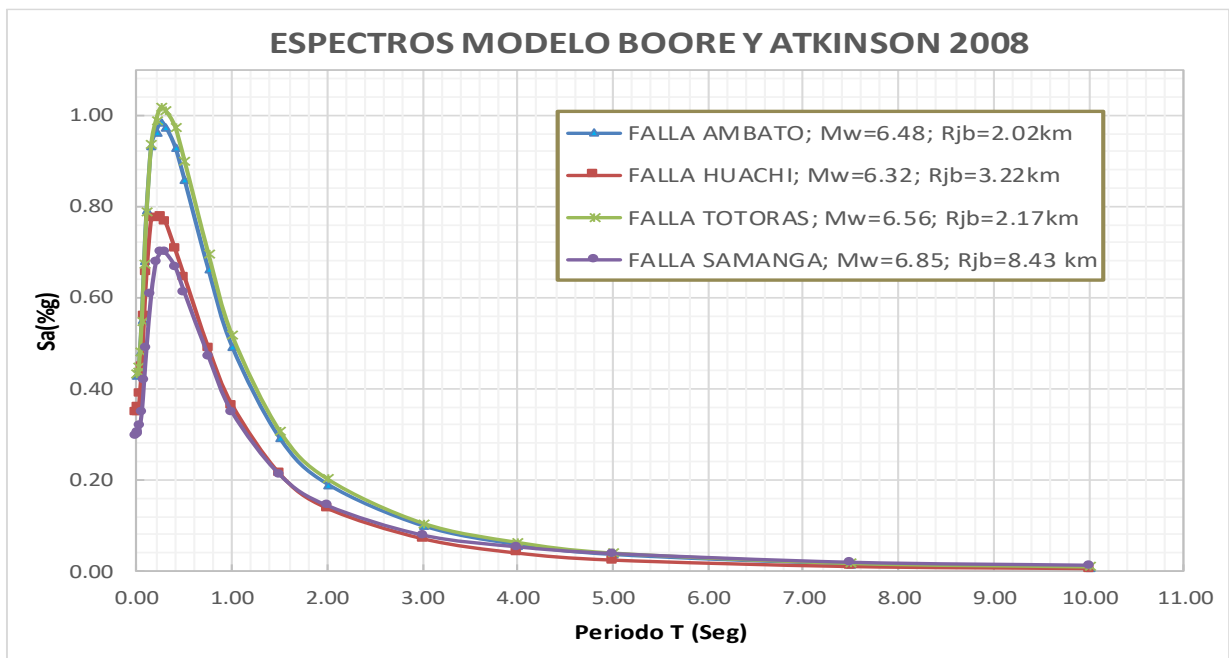
La gráfica del espectro presenta en el eje de las abscisas el periodo propio de la estructura y en el eje de las ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento. [39]

Una vez seleccionadas las fallas, identificado el sitio de estudio, calculada la Magnitud de momento, la velocidad media de la onda de cortante y analizado las ecuaciones de atenuación se continúan con las gráficas de los espectros de respuesta. Se procederá a comparar los espectros de aceleración obtenidos con cada una de los modelos de ecuaciones de atenuación con el espectro calculado según la NEC-15.

4.2.2.1 Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson (2008)

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido mediante el modelo de Boore y Atkinson (2008) para las fallas cortical-intraplaca seleccionadas. Se realizó la obtención de un espectro por cada falla cortical seleccionada y se tomó un valor de $V_{s30} = 317.31$ m/s

Figura 22. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Boore y Atkinson 2008, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



Elaboración: José Luis Rodríguez

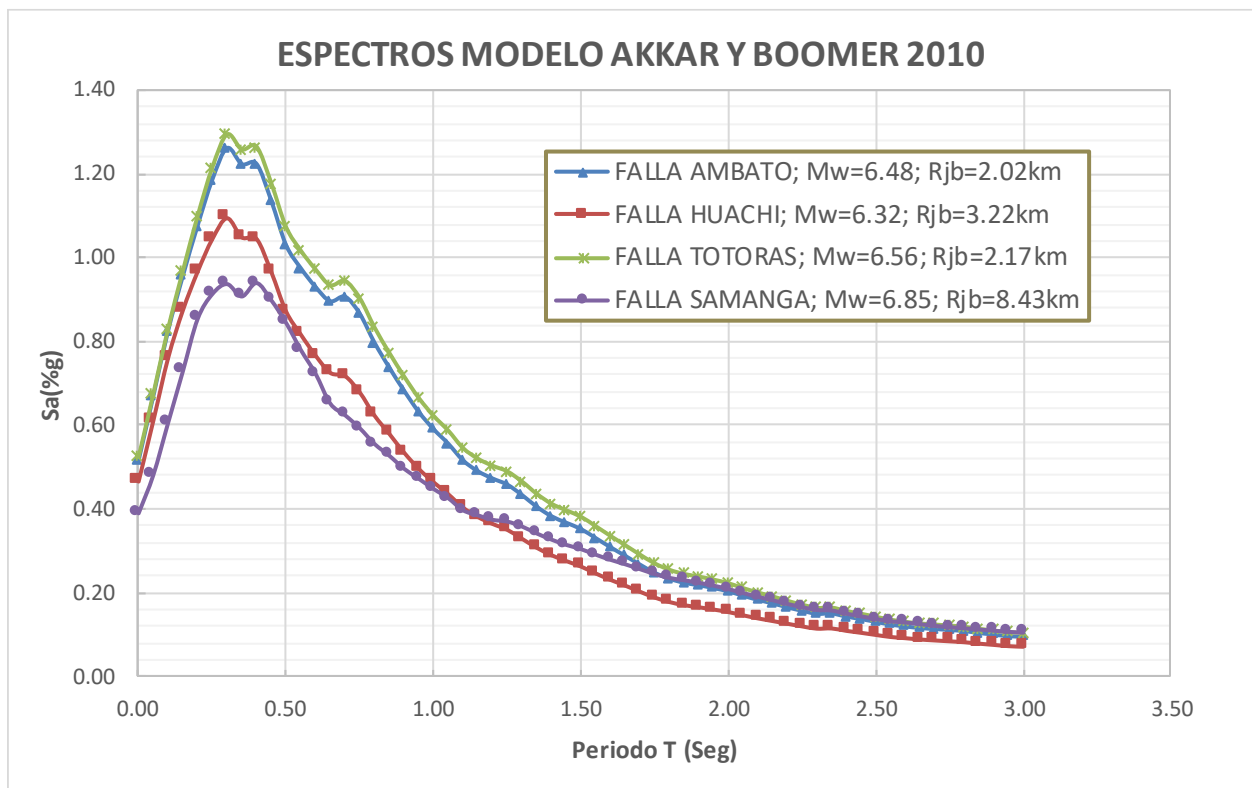
De la figura 22 muestra la superioridad en aceleración del espectro producido por la falla de Totoras para periodos entre 0 y 4 segundos, pero podemos notar que conforme el periodo

aumenta, la atenuación de aceleración para todas las fallas se asemeja, es decir para períodos superiores a 4 segundos en este modelo, las aceleraciones son similares para todas las fallas.

4.2.2.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer 2010

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido mediante el modelo de Akkar y Bommer 2010 para las fallas cortical-intraplaca con un valor de $V_{s30} = 317.31$ m/s

Figura 23. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Akkar y Boomer 2010, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas



Elaboración: José Luis Rodríguez

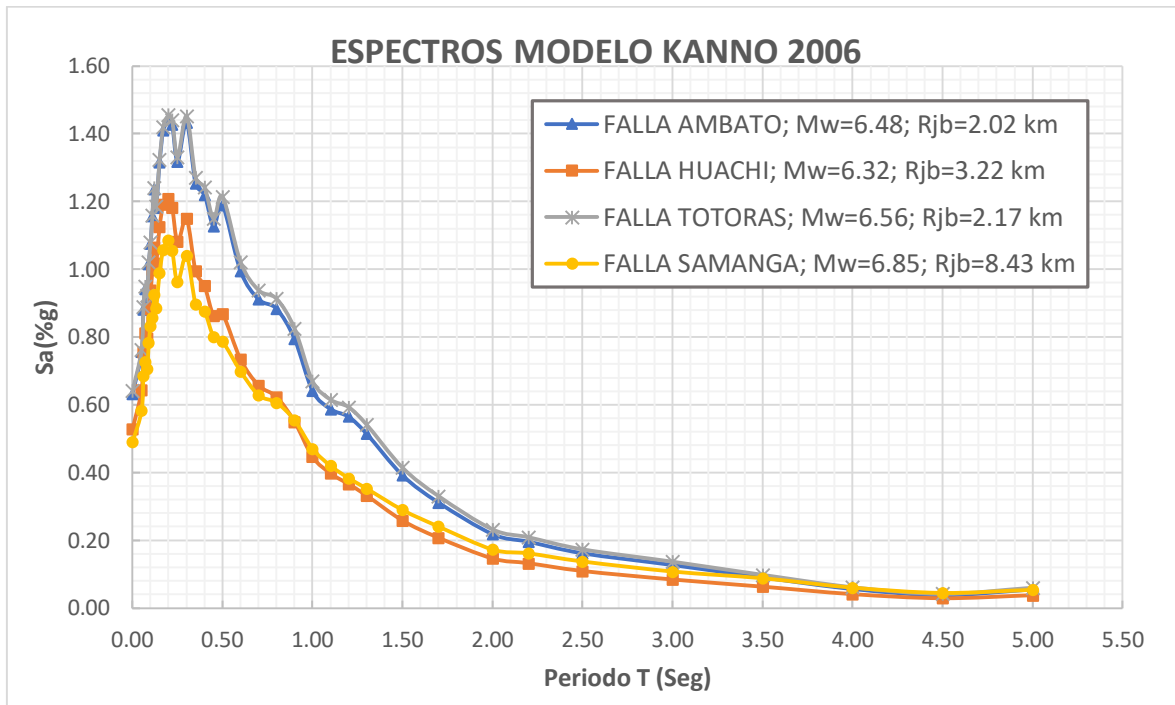
Al igual que en el modelo de Boore y Atkinson las mayores aceleraciones son producto de la falla de Totoras, además podemos notar que la atenuación en aceleración se vuelve similar para todas las fallas conforme el período aumenta.

4.2.2.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno 2006.

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido mediante el modelo de Kanno 2006.

para las fallas cortical-intraplaca con un valor de $V_{s30} = 317.31$ m/s

Figura 24. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Kannon, utilizando cada una de las fallas corticales seleccionadas

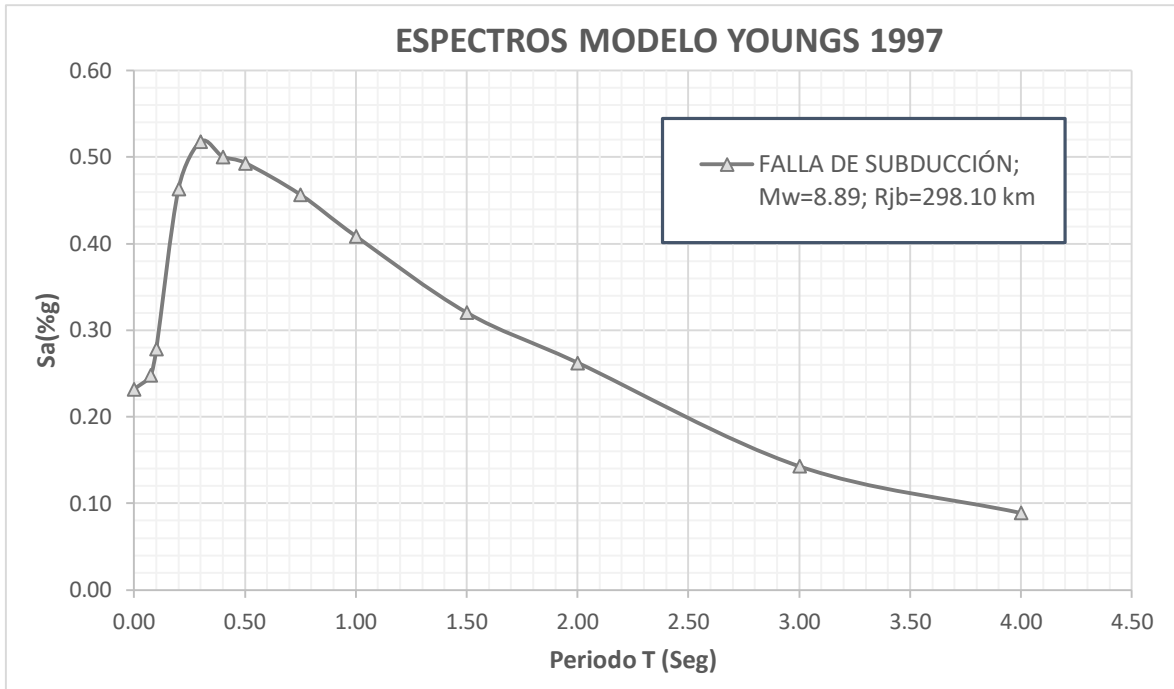


Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura anterior con el modelo de KANNO 2006 las mayores aceleraciones son producto de la falla de Totoras, además podemos notar que la atenuación en aceleración se vuelve similar para todas las fallas conforme el período aumenta.

4.2.2.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs 1997.

Figura 25. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs 1997, utilizando la falla de subducción

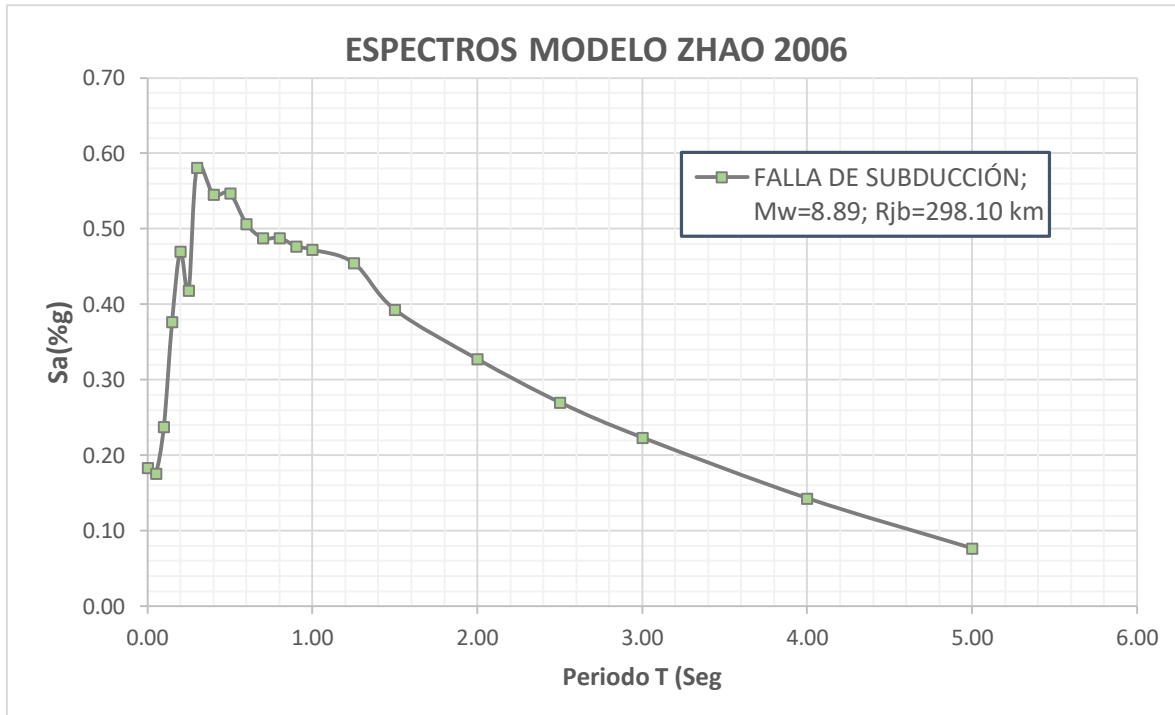


Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura anterior se observa un espectro de la falla de subducción, en donde se puede observar que los valores de aceleración van creciendo mientras el periodo aumenta hasta llegar a un valor máximo de aceleración de 0.52g en un periodo de 0.3seg y después la aceleración va decreciendo hasta llegar a un periodo límite de 4seg.

4.2.2.5 Espectros calculados con el Modelo de Zhao 2006.

Figura 26. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Zhao 2006, utilizando la falla de subducción

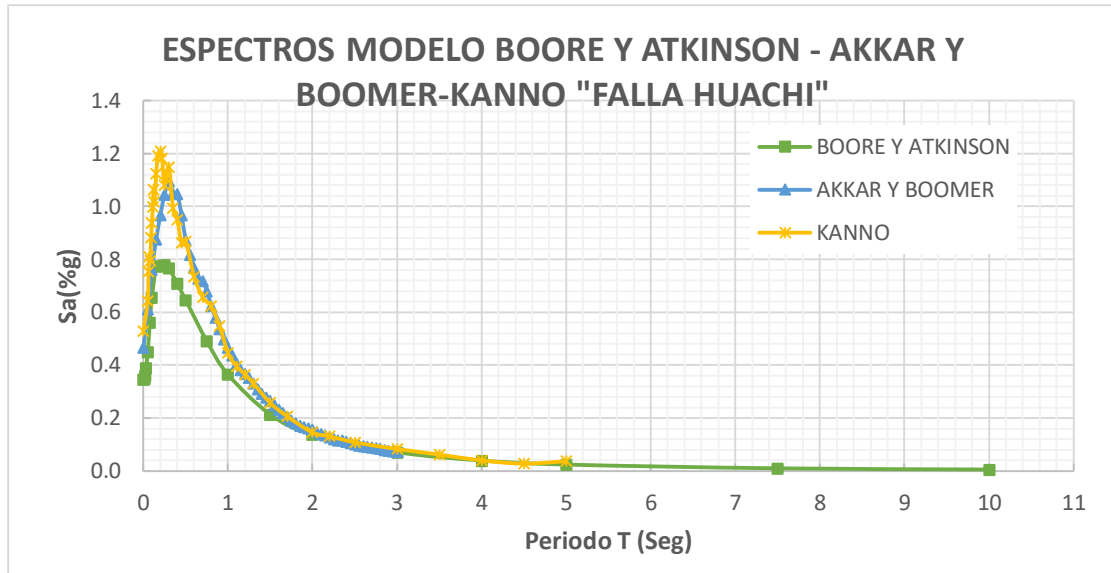


Elaboración: José Luis Rodríguez

En la presente figura se muestra el espectro de la falla de subducción, en donde se puede observar que los valores de aceleración van creciendo hasta llegar a un primer valor pico de aceleración de 0.47g en un período de 0.2seg, luego la aceleración decrece momentáneamente y vuelve a aumentar a un valor máximo de aceleración de 0.58g en un periodo de 0.3seg, posterior a este pico los valores van disminuyendo hasta llegar a un periodo límite de 5seg.

4.2.3. ESPECTROS GENERADOS CON TRES MODELOS DE ANÁLISIS PARA UNA FALLA.

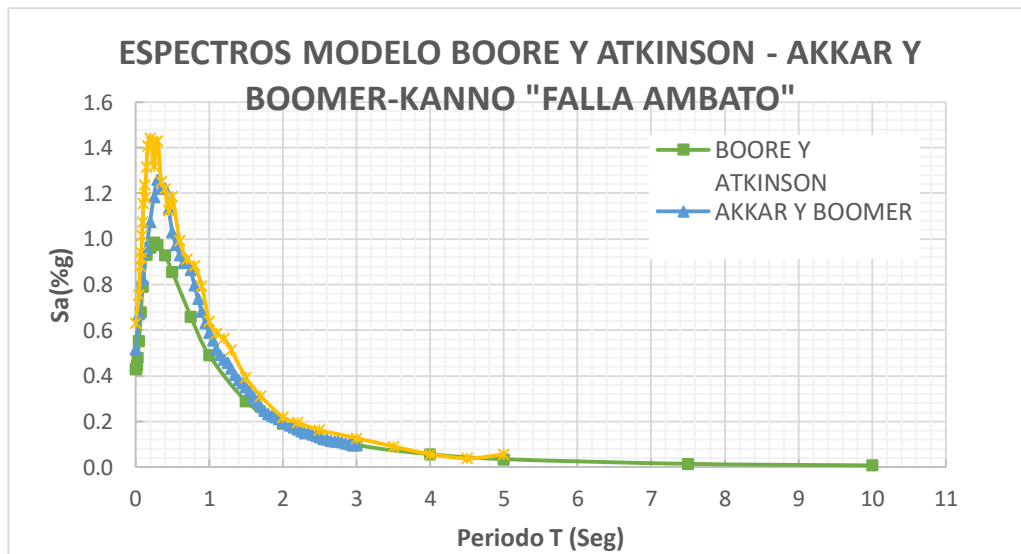
Figura 27. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Huachi.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la presente figura el modelo de análisis de KANNO presenta una mayor aceleración en la falla Huachi.

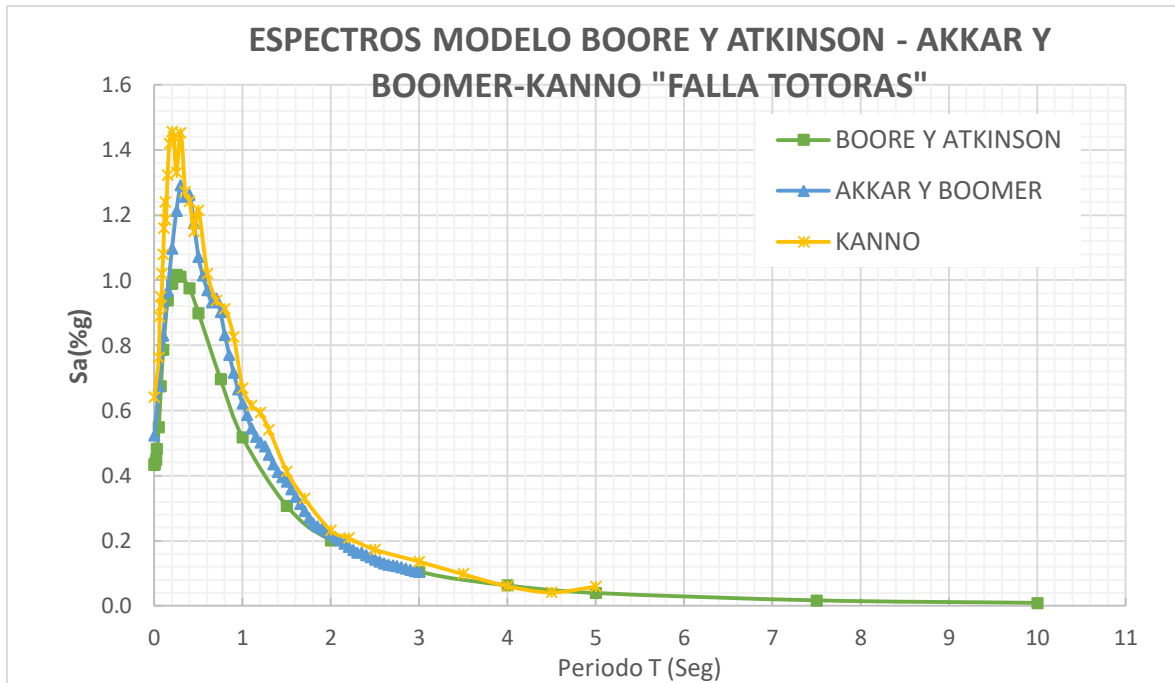
Figura 28. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Ambato.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura el modelo de análisis de KANNO presenta una mayor aceleración en la falla Ambato.

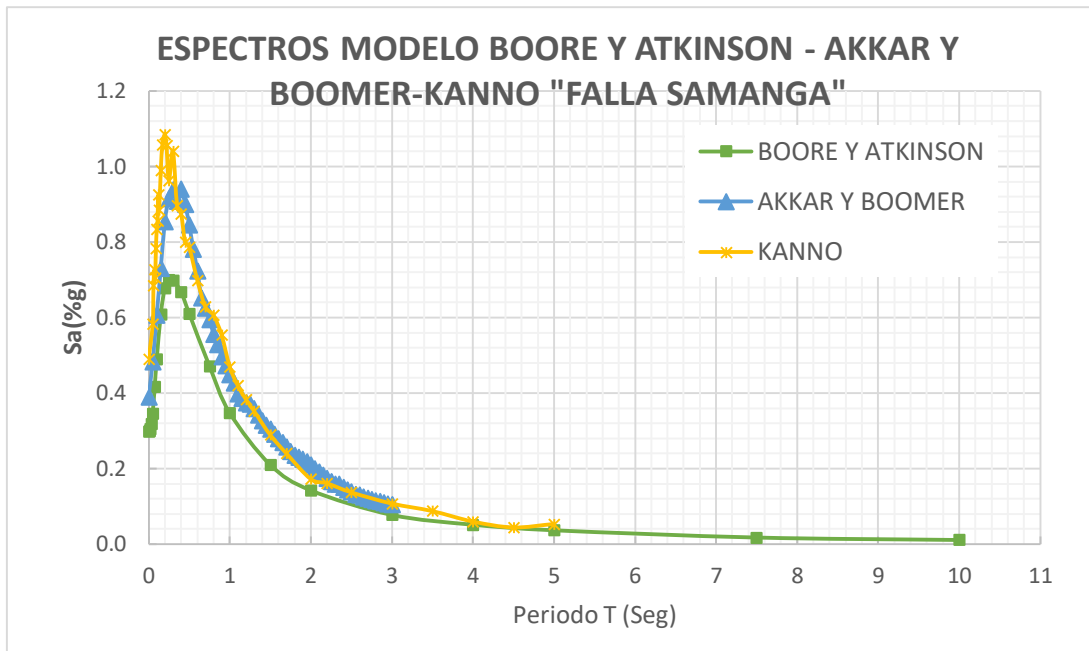
Figura 29. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Totoras.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura el modelo de análisis de KANNO presenta una mayor aceleración en la falla Totoras.

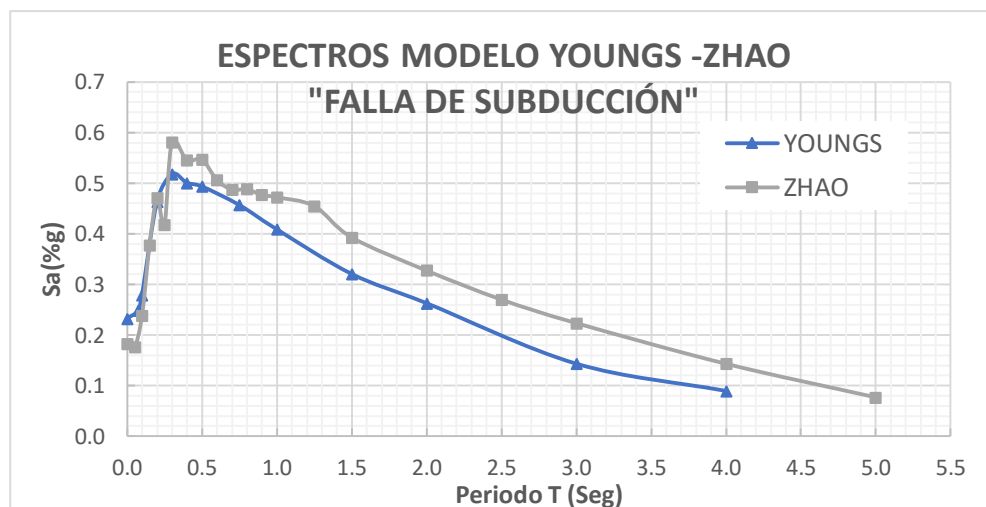
Figura 30. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Samanga.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura el modelo de análisis de KANNO presenta una mayor aceleración en la falla Samanga.

Figura 31. Espectros de aceleración obtenidas con el modelo Youngs y Zhao, para la falla de Subducción.



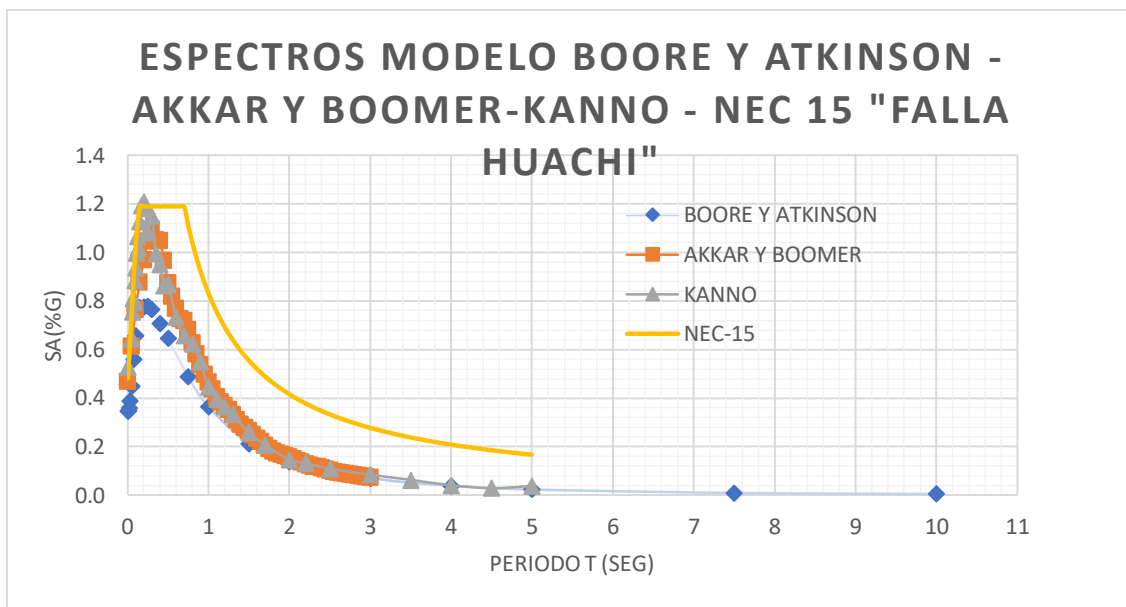
Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura el modelo de análisis de ZHAO aplicada para fallas de subducción presenta una mayor aceleración en la falla de Subducción.

4.2.4 Espectros con la NEC-15

A continuación, se realiza la comparación de los espectros con los modelos establecidos para cada una de las fallas seleccionadas y el espectro de la NEC-15.

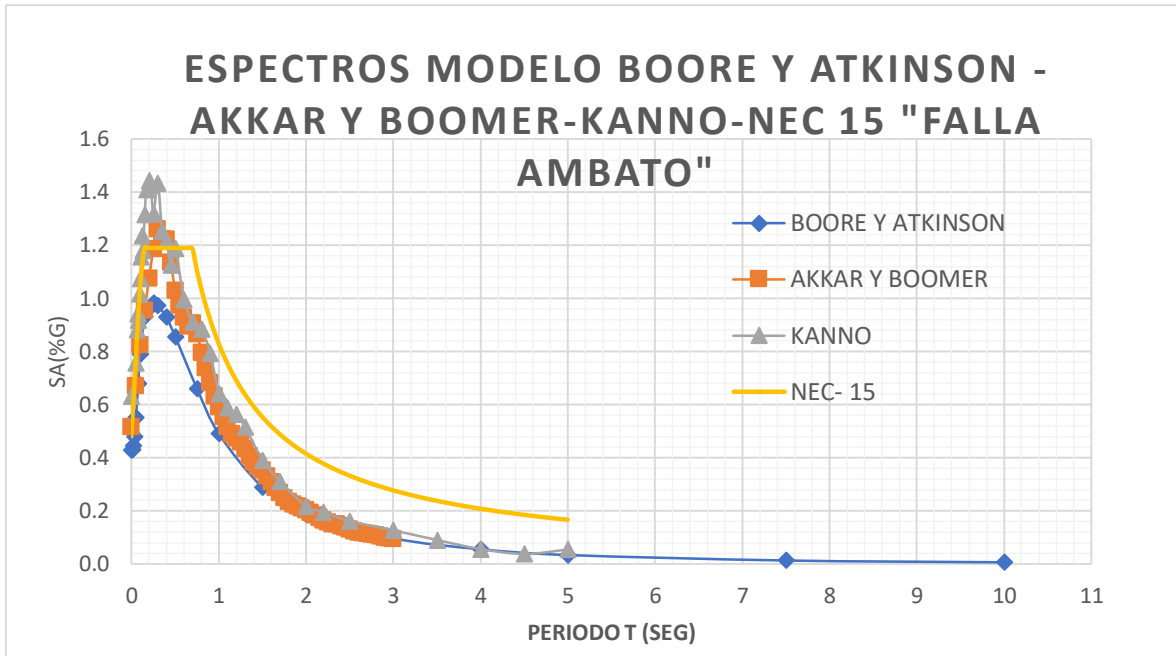
Figura 32. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Huachi.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura 29 se observa que los espectros de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC15.

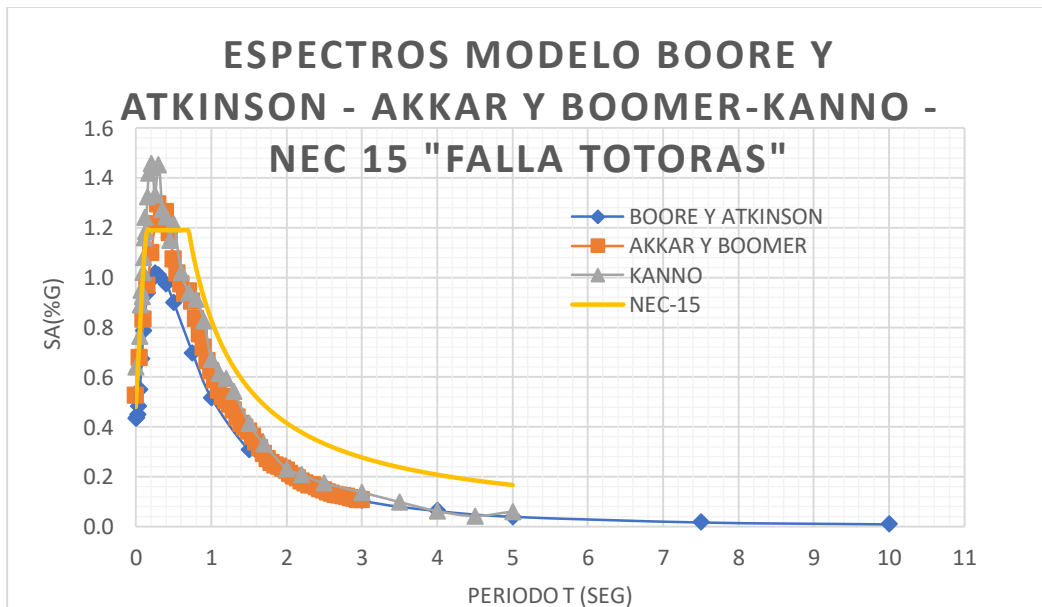
Figura 33. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Ambato.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la presente figura de los diferentes modelos de análisis Kanno y Akkar y Bommer logra superar en el eje de las ordenadas al espectro generado por la NEC-15 en la falla Ambato.

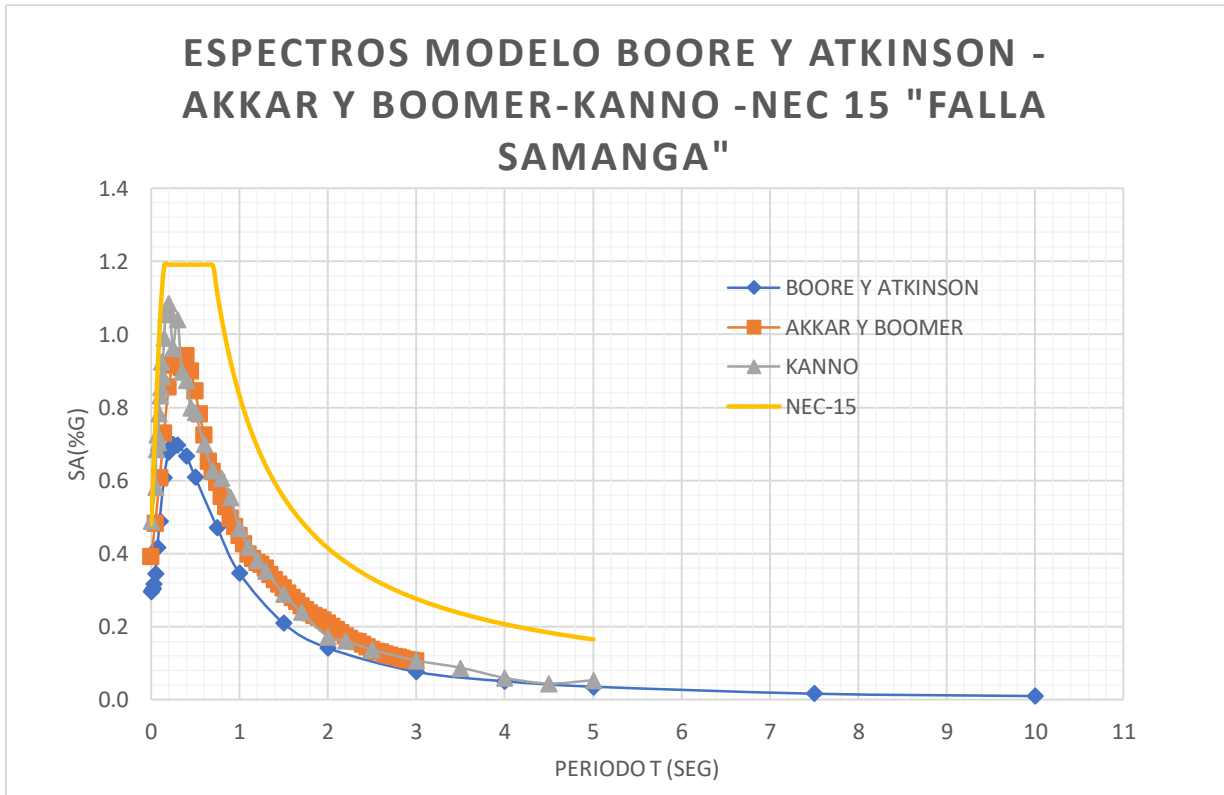
Figura 34. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Totoras.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la presente figura de los diferentes modelos de análisis Kanno y Akkar y Bommer logra superar en el eje de las ordenadas al espectro generado por la NEC-15 en la falla Ambato.

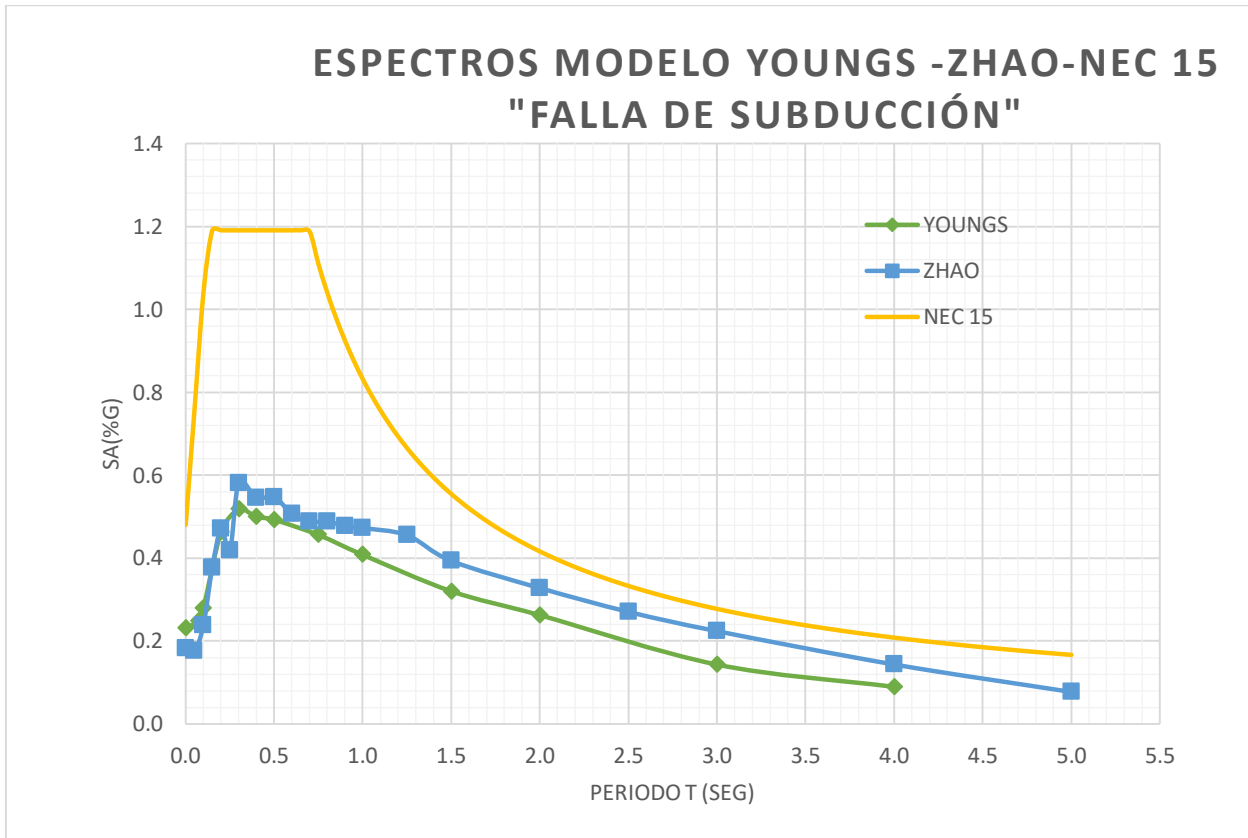
Figura 35. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno y NEC-15 para la falla de Samanga.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la figura 32 se observa que los espectros de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC15.

Figura 36. Espectro de aceleración modelo Youngs, Kanno, NEC-15.

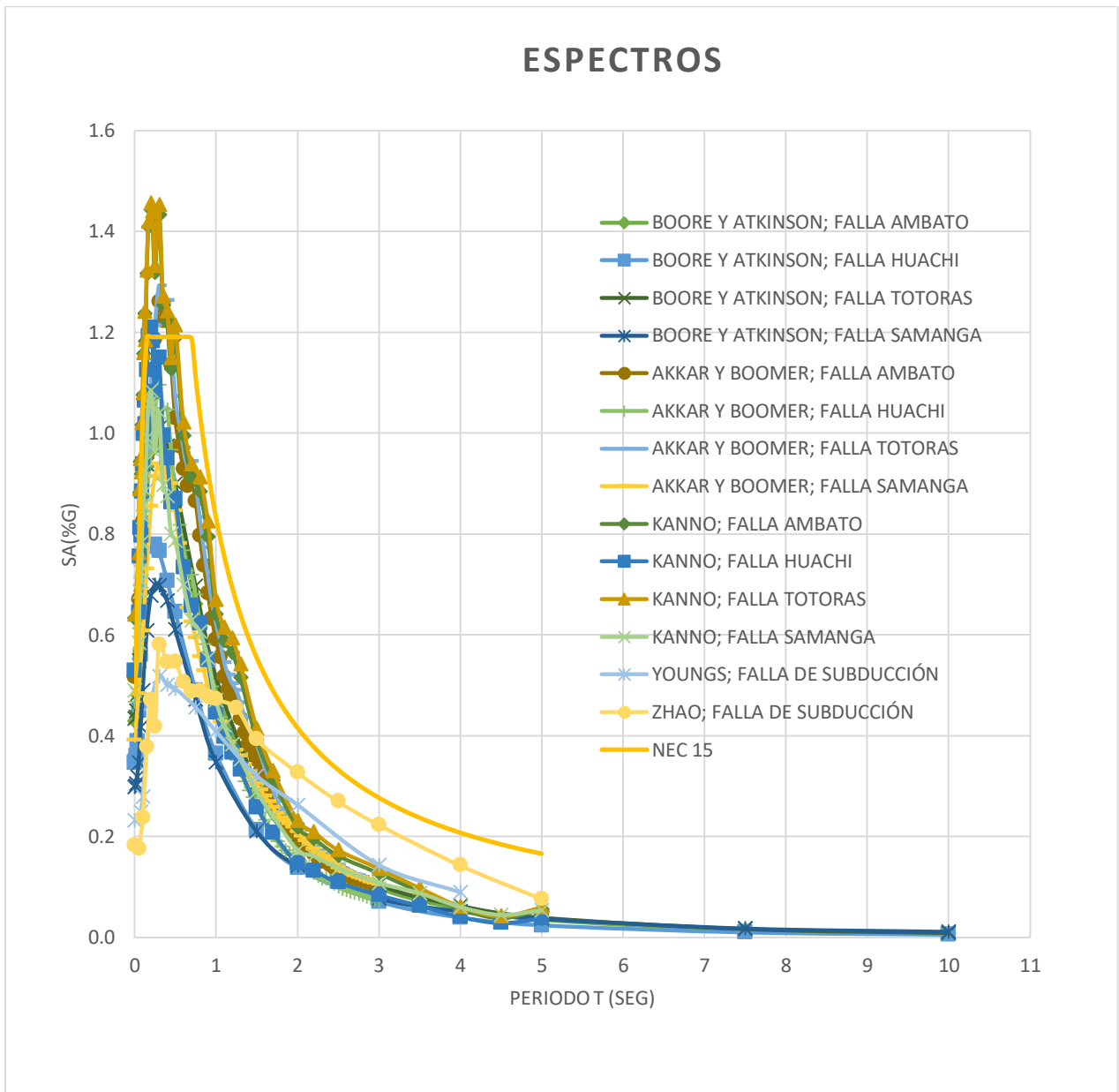


Elaboración: José Luis Rodríguez

En la presente figura los diferentes modelos de análisis no logran superar al espectro generado por la NEC-15 en la falla de Subducción.

4.2.5 Espectros de todos los modelos con la NEC-15

Figura 37. Todos los espectros comparados con la NEC15.



Elaboración: José Luis Rodríguez

En la presente figura es importante mencionar que para cada una de las fallas corticales empleadas el modelo de Kanno es el que más sobresale, ya que con este modelo se obtuvo la máxima aceleración para cada una de las fallas, además supera al espectro de la NEC-15 para las fallas Ambato y Totoras.

4.2.6. ESPECTRO ESPECÍFICO COMPARADO CON LA NEC-15

En la tabla se muestran los valores obtenidos para generar el espectro específico el cual fue determinado en base a los valores máximos obtenidos de cada modelo de análisis aplicado a las diferentes fallas seleccionadas.

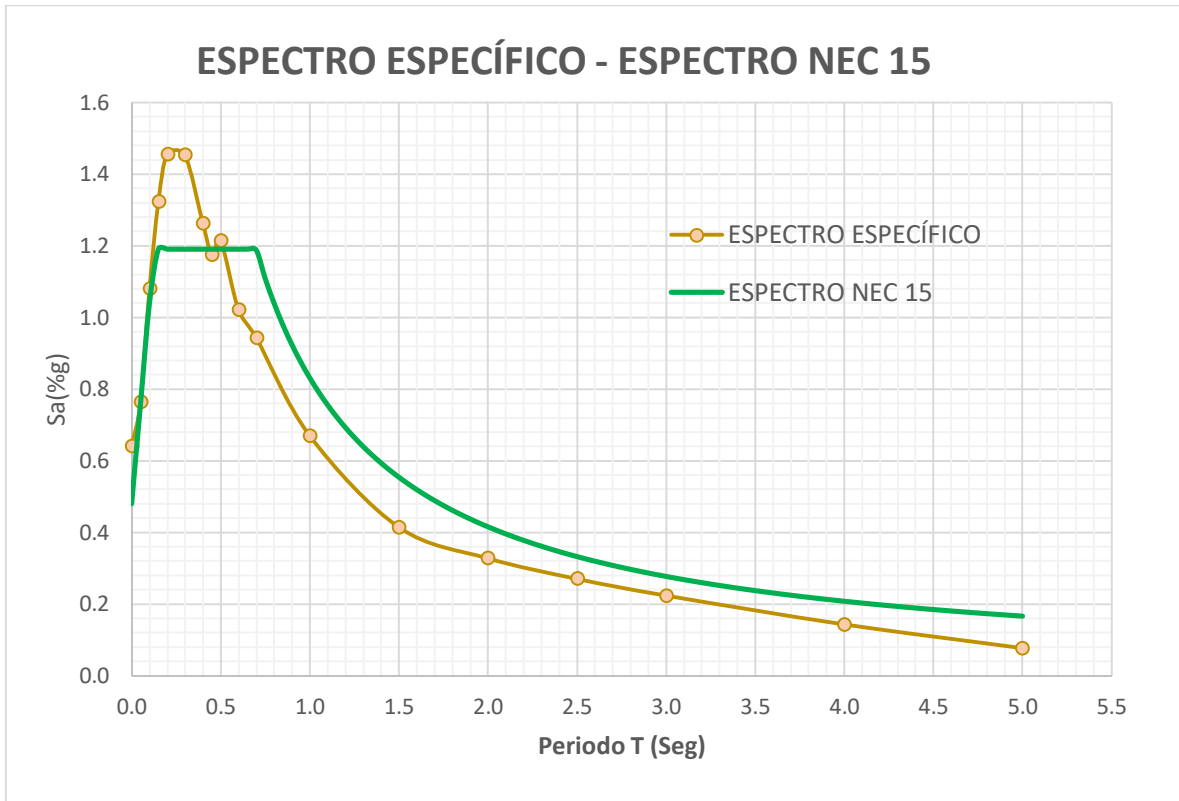
Tabla 22 Valores de los períodos y aceleraciones para el espectro determinístico

ESPECÍFICO	
T(seg)	Sa(g)
0	0.64
0.01	0.44
0.02	0.45
0.03	0.48
0.05	0.76
0.06	0.89
0.07	0.95
0.075	0.68
0.08	0.92
0.09	1.02
0.1	1.08
0.11	1.16
0.12	1.24
0.13	1.19
0.15	1.32
0.17	1.42
0.2	1.46
0.22	1.44
0.25	1.33
0.3	1.45
0.35	1.27
0.4	1.26
0.45	1.18
0.5	1.21
0.55	1.02
0.6	1.02
0.65	0.93
0.7	0.94
0.75	0.90
0.8	0.91
0.85	0.77

0.9	0.83
0.95	0.66
1	0.67
1.05	0.59
1.1	0.62
1.15	0.52
1.2	0.59
1.25	0.49
1.3	0.54
1.35	0.44
1.4	0.41
1.45	0.40
1.5	0.41
1.55	0.36
1.6	0.34
1.65	0.31
1.7	0.33
1.75	0.27
1.8	0.25
1.85	0.24
1.9	0.24
1.95	0.23
2	0.33
2.05	0.21
2.1	0.20
2.15	0.19
2.2	0.21
2.25	0.17
2.3	0.16
2.35	0.16
2.4	0.16
2.45	0.15
2.5	0.27
2.55	0.14
2.6	0.13
2.65	0.13
2.7	0.12
2.75	0.12
2.8	0.12
2.85	0.11
2.9	0.11
3	0.22
3.5	0.10
4	0.14
4.5	0.04
5	0.08

Elaboración: José Luis Rodríguez

Figura 38. Espectro específico comparado con el espectro de la NEC 15



Elaboración: José Luis Rodríguez

4.2.7. MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS DEL SITIO

Se procede a modelar tres estructuras tipo ubicadas en el sitio de estudio, para lo cual se utilizó el programa ETABS, con la finalidad de analizar su comportamiento estructural y verificar si los resultados adquiridos cumplen con lo establecido en la Norma Ecuatoriano de Construcción NEC 2015.

4.2.7.1 Características estructurales de las edificaciones en el sitio.

A continuación, se indica las secciones de los elementos estructurales empleadas en las tres estructuras tipo:

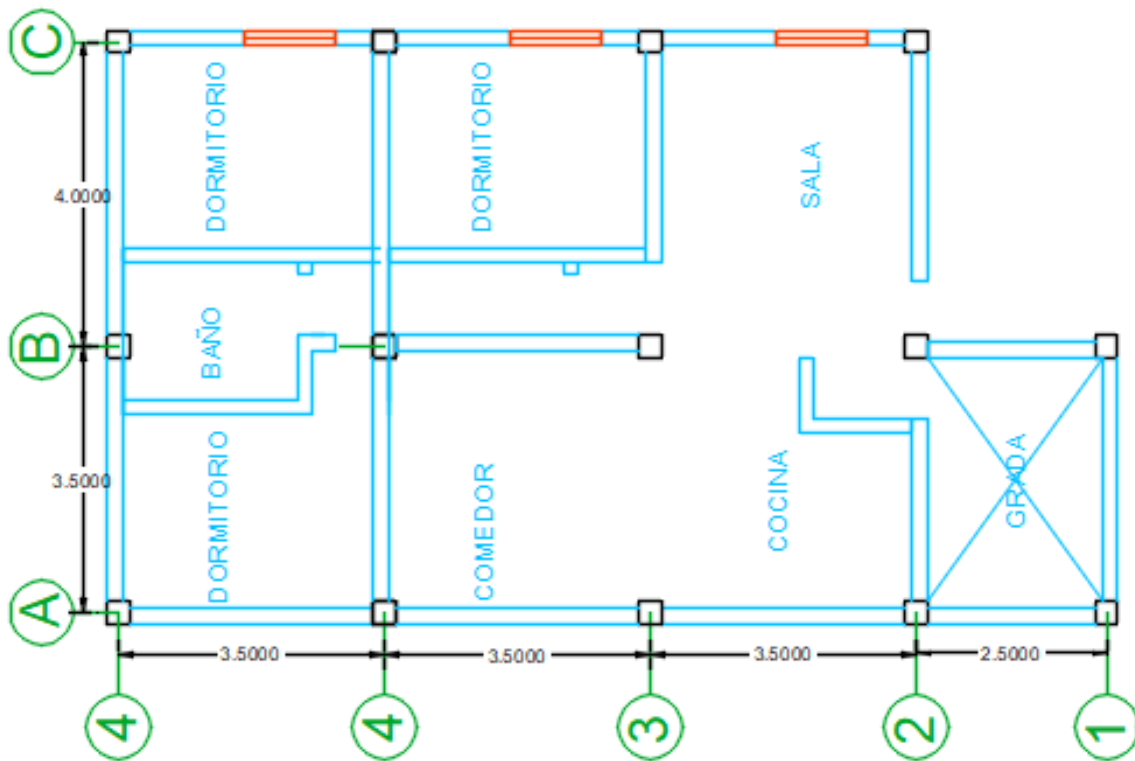
Tabla 23 Secciones de elementos estructurales

ESTRUCTURAS TIPO	COLUMNAS	VIGAS	LOSA	ALTURA
ESTRUCTURA 1 PISO	(30X30)cm	Perdidas	20 cm	2,70 m
ESTRUCTURA 2 PISOS	(30X25)cm	(30x20)cm	20 cm	5,40 m
ESTRUCTURA 3 PISOS	(30X30)cm	(30x20)cm	20 cm	8,30 m

Elaboración: José Luis Rodríguez

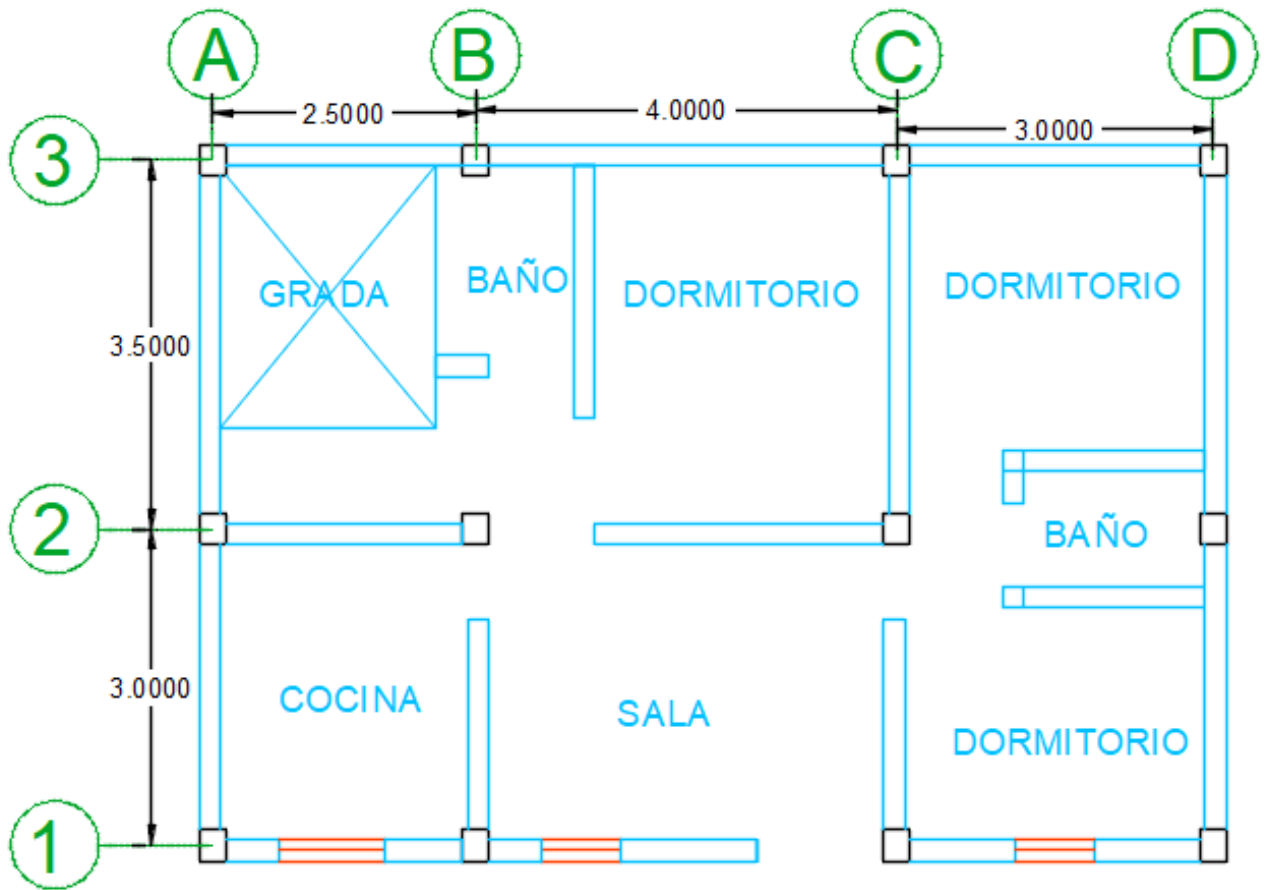
Vista en planta de las tres estructuras en el sitio de análisis.

Figura 39. Vista en planta la estructura de 3 pisos



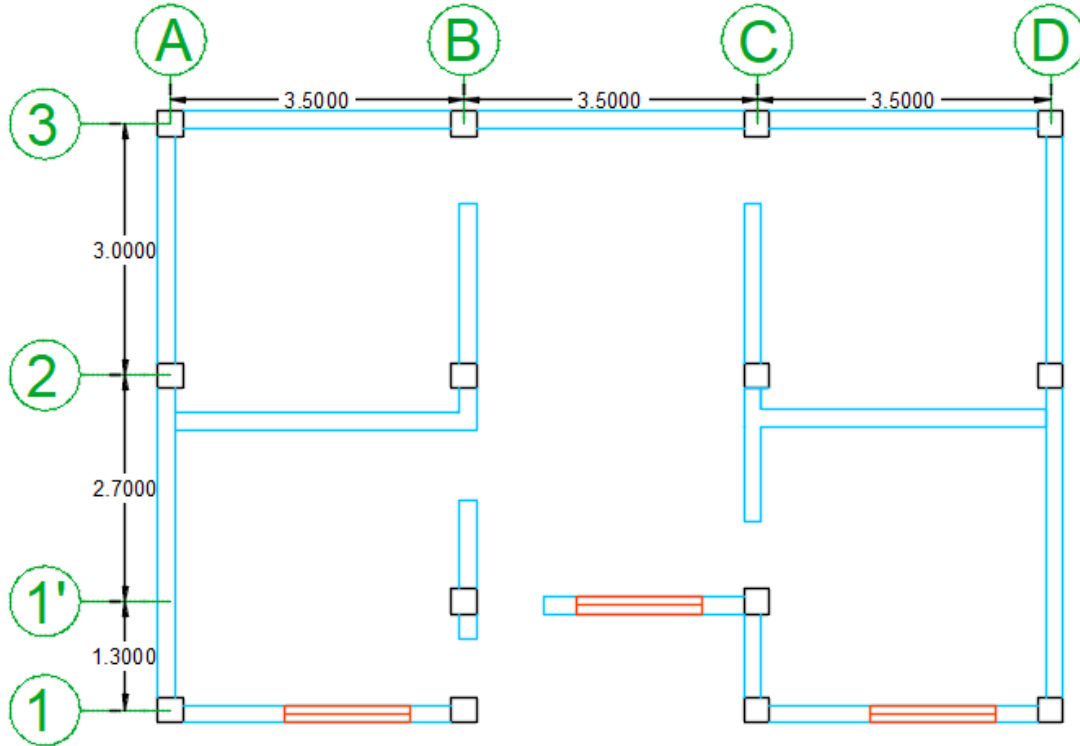
Elaboración: José Luis Rodríguez

Figura 40. Vista en planta la estructura de 2 pisos



Elaboración: José Luis Rodríguez

Figura 41. Vista en planta la estructura de 1 piso



Elaboración: José Luis Rodríguez

4.2.7.2 Cálculo de los Períodos de Vibración

Período Fundamental de Vibración

La NEC 2015 establece la siguiente expresión (Método 1) para determinar el valor del período fundamental T:

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

Donde:

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio.

hn: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T: Período de vibración.

Los valores de C_t y α se obtienen de la siguiente tabla que proporciona la NEC 15 para pórticos especiales de hormigón armado.

Tabla 24 Valores de C_t y α utilizados para el cálculo del período fundamental de vibración

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

Fuente: Peligro Sísmico. NEC 2015.

Cálculo de T para estructura de 1 piso.

$$T = 0.055 * 2.50^{0.9}$$

$$T = 0.104 \text{seg}$$

Cálculo de T para estructura de 2 pisos.

$$T = 0.055 * 5.00^{0.9}$$

$$T = 0.234 \text{seg}$$

Cálculo de T para estructura de 3 pisos.

$$T = 0.055 * 7.50^{0.9}$$

$$T = 0.337 \text{seg}$$

Períodos límites de Vibración.

La NEC 2015 establece las siguientes expresiones para el cálculo de los períodos límites de vibración:

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a} \qquad T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Donde:

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

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

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

Donde los valores para; Z(g)=0.4, Fa=1.2, Fd=1.19, Fs=1.28

Cálculo de To

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

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

Cálculo de Tc

$$T_c = 0.55 * 1.28 \frac{1.19}{1.2}$$

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

4.2.7.3 Verificación del comportamiento estructural

Una vez modelada las estructuras e introducido el espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico se realiza una comparación de los resultados obtenidos con ambos espectros, con el objetivo de conocer el comportamiento del espectro determinístico con respecto al de la NEC 15.

Períodos de Vibración

El período fundamental T2 puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, por medio de un análisis modal.

Tabla 25 Valores de T_o , T_c , T_1 calculados. Además, se presenta los valores de T_2 obtenidos en Etabs 2016 con los espectros ingresados.

				Espectros: NEC 15 y Determinístico
ESTRUCTURAS TIPO	T_o	T_c	T_1 (calculado)	T_2 (ETABS)
ESTRUCTURA 1 PISO	0.13	0.7	0.104	0.148
ESTRUCTURA 2 PISOS	0.13	0.7	0.234	0.273
ESTRUCTURA 3 PISOS	0.13	0.7	0.337	0.423

Elaboración: José Luis Rodríguez

El valor T_2 calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T_1 calculado con el Método 1. [1]

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

ESTRUCTURA 1 PISOS

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

$$0.104 > 0.148 \leq 0.1352$$

El valor T_2 no se encuentra dentro del rango establecido se puede considerar que es una estructura algo rígida.

ESTRUCTURA 2 PISOS

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

$$0.234 \leq 0.273 \leq 0.304$$

El valor T_2 si se encuentra dentro del rango establecido

ESTRUCTURA 3 PISOS

$$T1 \leq T2 \leq 1.3 T1$$

$$0.337 \leq 0.423 \leq 0.549$$

El valor T2 si se encuentra dentro del rango establecido

Donde:

T1= Periodo fundamental de vibración calculado con el método 1.

T2= Periodo fundamental de vibración calculado con el método 2 (Etabs 2016)

Los valores obtenidos del periodo fundamental de ETABS son los mismos para el espectro de la NEC y el determinístico, debido a que el periodo no va a ser afectado ya que éste depende de la rigidez y de la masa de la estructura.

4.2.7.4 Modos de Vibración de la estructura

Se debe verificar que los dos primeros modos de vibración sean traslacionales, es decir menor que el 30% y el tercer modo sea rotacional, mayor al 30%.

A continuación, se muestran las tablas con los resultados obtenidas en Etabs 2016 de las tres estructuras modeladas.

Tabla 26 Participación Modal de la Masa - Estructura de 1 piso

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.148	0.993	0.0001	0.0073
Modal	2	0.147	0.0001	0.9999	0
Modal	3	0.12	0.0069	0	0.9927

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 27 Participación Modal de la Masa - Estructura de 2 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.273	0.8958	3.522E-05	0.001
Modal	2	0.254	0.0001	0.8763	0.0045
Modal	3	0.217	0.001	0.0044	0.8784

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 28 Participación Modal de la Masa - Estructura de 3 pisos

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.423	0.8127	0.0062	0.0194
Modal	2	0.398	0.0097	0.8167	0.0178
Modal	3	0.33	0.0147	0.0227	0.8087

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 29 Modos de Vibración para cada una de las estructuras

ESPECTROS		ESTRUCTURA 1 PISO				
NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO	
	1	0.993	0.073	7.351	Traslacional	
	2	0.9999	0	0.000	Traslacional	
	3	0.0069	0.9927	14386.957	Rotacional	
ESPECTROS		ESTRUCTURA 2 PISOS				
NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO	
	1	0.8958	0.001	0.112	Traslacional	
	2	0.8763	0.0045	0.514	Traslacional	
	3	0.0044	0.8784	19963.636	Rotacional	
ESPECTROS		ESTRUCTURA 3 PISOS				
NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODOS	Ux, Uy	Rz	%	TIPO	
	1	0.8127	0.0194	2.387	Traslacional	
	2	0.8167	0.0178	2.180	Traslacional	
	3	0.0227	0.8087	3562.555	Rotacional	

Elaborado: José Luis Rodríguez

4.2.7.4.1 Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa en las direcciones principales

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 se deben considerar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [16]

Tabla 30 Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa para cada una de las estructuras.

ESTRUCTURA 1 PISO			
ESPECTROS NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Uy	Sum Ux
	2	0.99931	1
ESTRUCTURA 2 PISOS			
ESPECTROS NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Uy	Sum Ux
	5	0.9999	0.9991
ESTRUCTURA 3 PISOS			
ESPECTROS NEC 15- DETERMINÍSTICO	MODO	Sum Uy	Sum Ux
	5	0.9607	0.9646

Elaborado: José Luis Rodríguez

4.2.7.4.2 Derivas de Piso

Se debe comprobar que la estructura presente deformaciones inelásticas controlables.

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

Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas por el método DBF sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico de la estructura sometida a las fuerzas laterales calculadas. [1]

El cálculo de las derivas de piso incluirá:

- Las deflexiones debidas a efectos traslacionales y torsionales.
- Los efectos de segundo orden P- Δ

$$\Delta INELÁSTICA \leq 2\%$$

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

Dónde:

ΔM = Deriva máxima inelástica

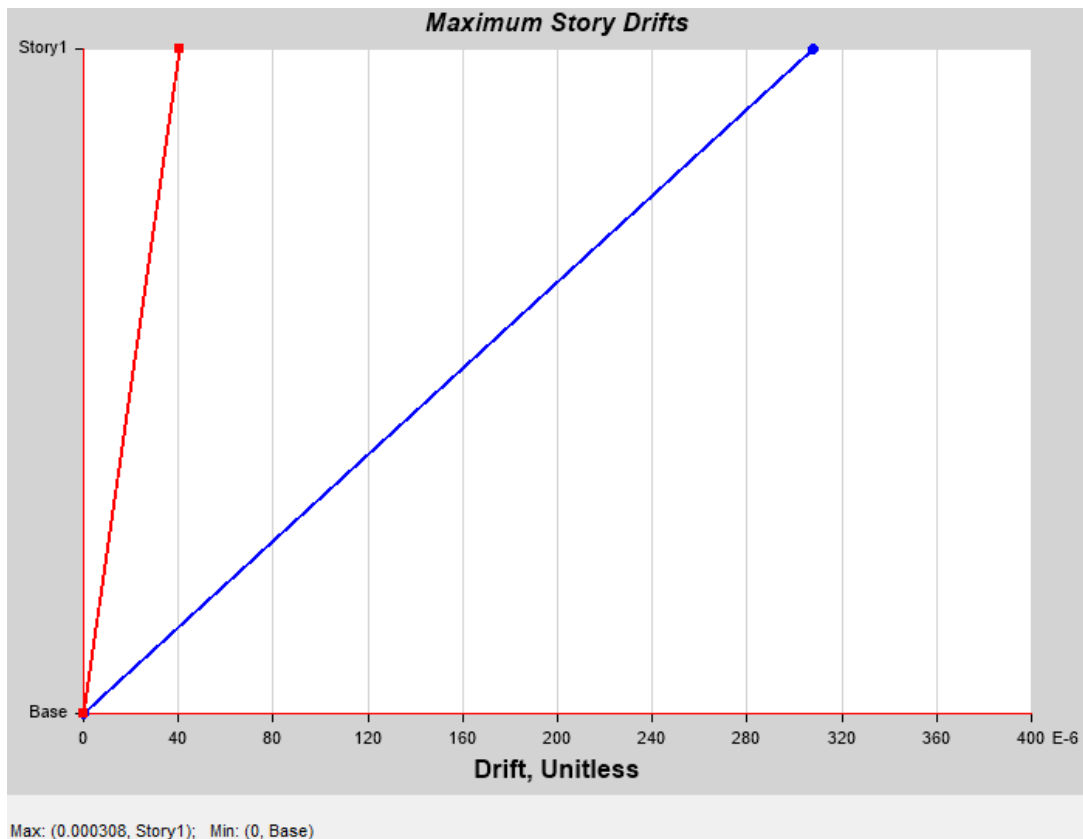
ΔE = Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R = Factor de reducción de resistencia

Las siguientes graficas nos muestran la comparación de las derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-15 y el específico.

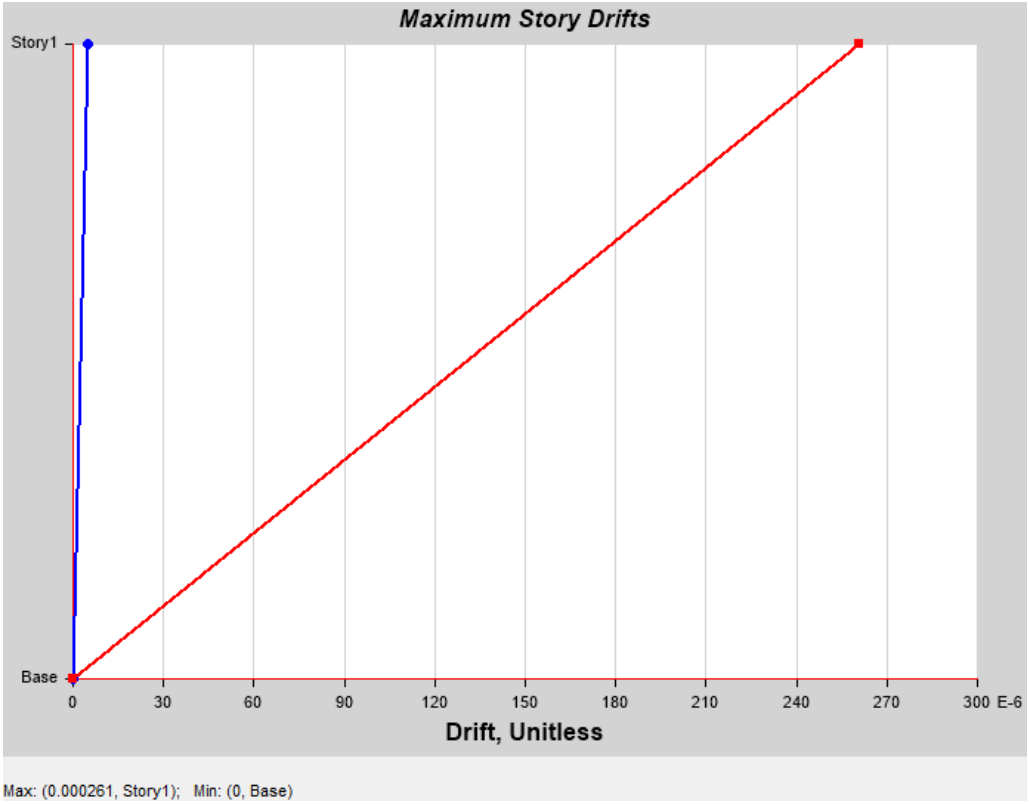
SISMO X

Figura 42. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 1 piso.



Fuente: Etabs 2016. V16

SISMO Y



Fuente: Etabs 2016. V16

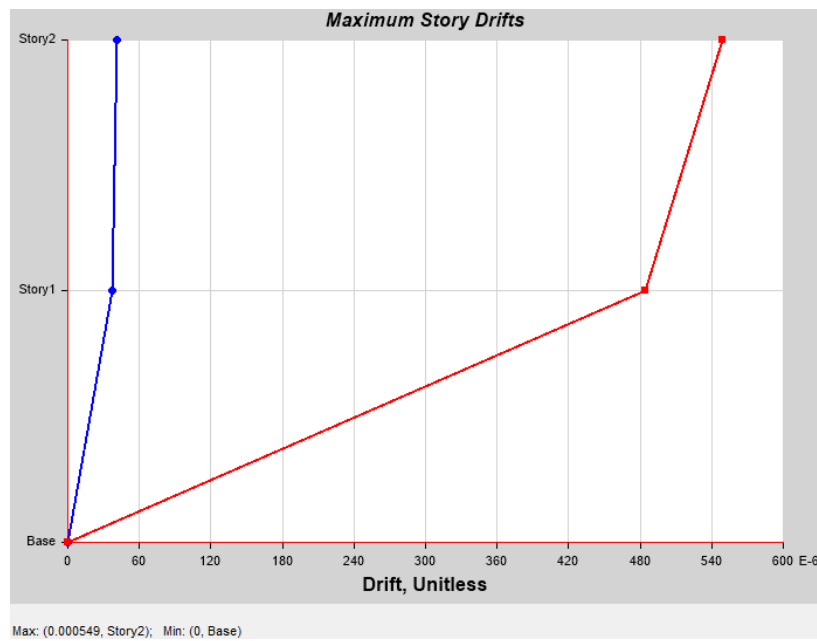
SISMO X

Figura 43. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 2 pisos



Fuente: Etabs 2016. V16

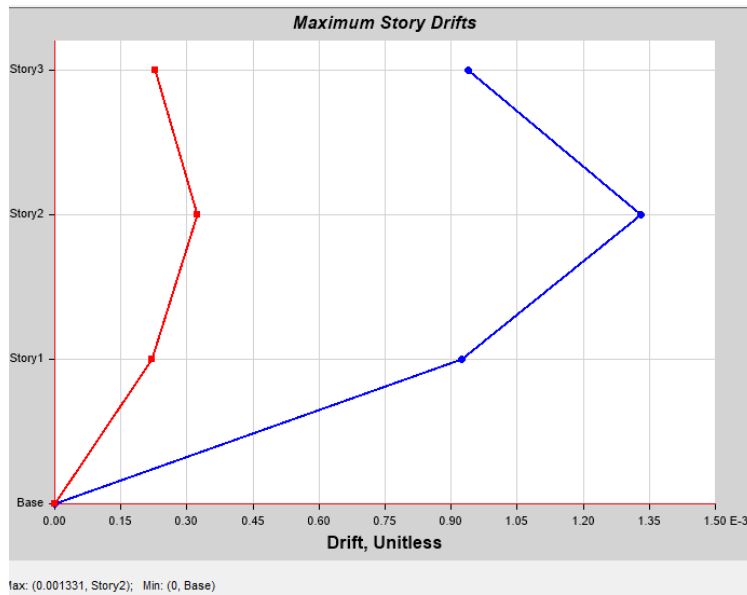
SISMO Y



Fuente: Etabs 2016. V16

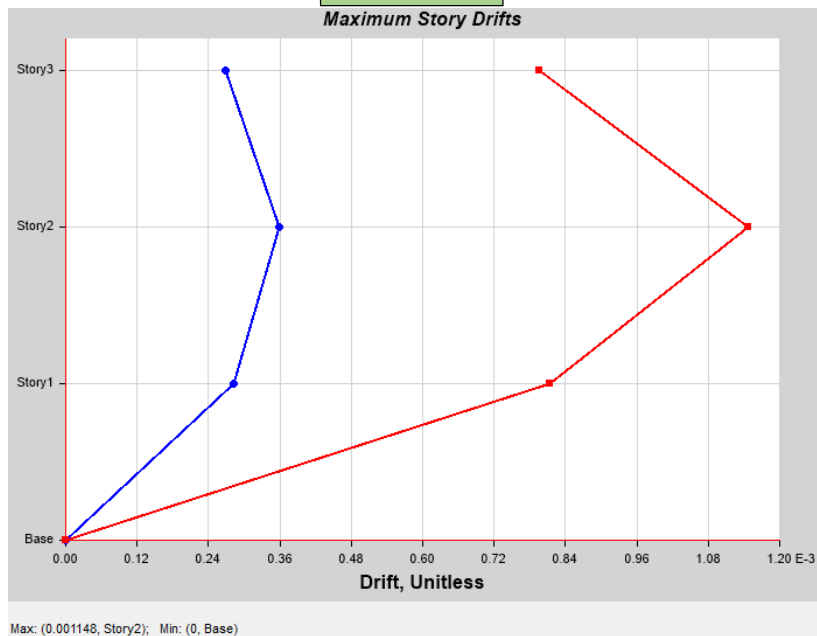
SISMO X

Figura 44. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la estructura de 3 pisos.



Fuente: Etabs 2016. V16

SISMO Y



Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 31 Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas

ESTRUCTURA 1 PISO		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
NV. 2.70	0.000508	0.000261
ESTRUCTURA 2 PISOS		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
NV. 5.4	0.000691	0.000549
ESTRUCTURA 3 PISOS		
Nivel	Caso de Carga	
	Sx 1	Sy1
NV. 5.4	0.001331	0.001148

Elaborado: José Luis Rodríguez

Tabla 32 Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas para cada una de las estructuras

ESTRUCTURA 1 PISO				
ESPECTROS	Sismo X		Sismo Y	
NEC 15 - DETERMINÍSTICO	ΔE	ΔM	ΔE	ΔM
		0.000508	0.3048	0.000261
ESTRUCTURA 2 PISOS				
ESPECTROS	Sismo X		Sismo Y	
NEC 15 - DETERMINÍSTICO	ΔE	ΔM	ΔE	ΔM
	0.000691	0.4146	0.000549	0.3294
ESTRUCTURA 3 PISOS				
ESPECTROS	Sismo X		Sismo Y	
NEC 15 - DETERMINÍSTICO	ΔE	ΔM	ΔE	ΔM
	0.001331	0.7986	0.001148	0.6888

Elaborado: José Luis Rodríguez

La tabla 46 muestra que las derivas de piso inelásticas para las estructuras de uno, dos y tres pisos si se encuentran dentro del rango establecido por la NEC, es decir menor al 2%,

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente en esta investigación “El estudio de peligro sísmico determinista, influye en el nivel de amenaza de las estructuras del Sector Huachi Loreto Barrio El Buen Pastor”.

El espectro determinístico supera al espectro de la NEC-15 en un período de 0.10 seg a 0.50 seg en donde la aceleración máxima del modelo es de 1.45g, por lo que el comportamiento estructural de las estructuras analizadas en sitio se ve afectado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se considera que la falla geológica cortical de mayor magnitud de momento calculada es la de Totoras con una Mw de 6,56 mientras que la falla de subducción podría generar una Mw de 8,89 debido a que estas fallas poseen mayor longitud de ruptura superficial.
- De los tres tipos de estructuras que fueron analizadas las tres cumplieron con todos los chequeos cumplió con lo establecido en la norma y al ser modelada con el

espectro específico esta mostró buenos resultados los cuales se encontraban dentro de los rangos de la NEC, todo esto muestra que las estructuras del sector no cuentan con secciones suficientes para soportar un evento sísmico.

- Se determinó que para cada una de las fallas corticales empleadas el modelo de Kanno es el que más crítico, ya que con este modelo se obtuvo la máxima aceleración para cada una de las fallas, además en un cierto intervalo del periodo supera al espectro de la NEC-15 para las fallas Ambato y Totoras.
- Del espectro específico se podrán tener aceleraciones de hasta 1.45 g en un intervalo de 0.10 a 0.50 segundos siendo estos valores mayores en comparación a los obtenidos con el espectro de la NEC 2015, por lo que las estructuras en el sitio de análisis deberán ser calculadas para aceleraciones mayores a las obtenidas con el espectro de la NEC 2015 en los rangos de periodo T especificados (0.10 a 0.50 seg.).

5.2 RECOMENDACIONES

- Para estructuras existentes en el sitio se puede observar grandes fallencias existentes en las estructuras por lo cual se recomienda hacer diseños adecuados para que aquellas que vayan a ser construidas cuenten con las secciones correctas.
- Que las diferentes entidades públicas controlen las construcciones que acaten los planos y diseños realizados.
- Debido a la historia sísmica que tiene la ciudad de Ambato y que ésta se ha visto afectada por varios desastres, es de vital importancia que cuente con un mapa de zonificación sísmica donde se diferencien las diversas zonas de alto peligro sísmico, de esta manera se evitaría futuros desastres.

C. MATERIAL DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Norma Ecuatoriana de la Construcción,» de *NEC*, 2015.
- [2] F. Cobos, El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, Ambato, 2015.
- [3] D. Quizanga, «Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas,» Politecnica Nacional, 2015. [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved>. [Último acceso: 22 enero 2018].
- [4] O. Oscar, «“Sismo tectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador”,» O. Oscar, “Sismo tectónica y peligrosidad Tesis de Master, Universidad Complutense de Madrid, Madrid., [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>. [Último acceso: 22 Enero 2018].
- [5] Notimerica, «El cinturón de fuego del pacifico, la amenaza sísmica de iberoamericana,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.notimerica.com/sociedad/noticia-cinturon-fuego-pacifico-amenaza-sismica-iberoamerica-20160418163956.html>. [Último acceso: 22 Enero 2018].
- [6] La Hora, «Ambato Necesita identificar zonas de alto riesgo,» 2002. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>. [Último acceso: 23 Enero 2018].
- [7] observatorio-ambato.blogspot.com., «¿Qué impacto de vulnerabilidad sísmica tiene Ambato?,» 2010. [En línea]. Available: http://observatorio-ambato.blogspot.com/2010/03/blog-post_18.html. [Último acceso: 23 enero 2018].
- [8] L. Alva, Del Instante de la Creacion a la Formacion Y Estructura de la Tierra, Mexico: UNAM, 2005.
- [9] C. G. E. Gutiérrez, Sismos: Serie Fascículos., ESPAÑA, 2001.
- [10] OXFORD, Diccionario de ciencias de la tierra, España - Madrid: Complutense, 2000, p. 736.
- [11] P. & W. Gass, Introducción a las ciencias de la tierra, España: Reverte, 1980.
- [12] «Galapagos Conservation Trust,» [En línea]. Available: <http://descubriendogalapagos.ec/descubre/procesos-geograficos/ubicacion-formacion/placas-tectonicas/>. [Último acceso: 28 05 2018].
- [13] M. González, «Terremotos y Riesgo Sísmico,» 2010. [En línea]. Available:

https://drive.google.com/open?id=1M9KEMtkNnpSwDM_Z83YW0svSRMc57FaT. [Último acceso: 28 05 2018].

- [14] C. Q. R. Gutiérrez, «Sismos,» [En línea]. Available: <http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF>. [Último acceso: 28 05 2018].
- [15] I. E. T. S. Bartolomé, «Procesos Físicos,» [En línea]. Available: <http://fisicasanbartolome.wikispaces.com/file/view/Actividad+Ondas+Sismicas.pdf>. [Último acceso: 28 05 2018].
- [16] «Norma Ecuatoriana de la Construcción,» de *Norma Ecuatoriana de la Construcción,*, 2015.
- [17] B. J. E. Benito, «Peligrosidad Sísmica,» 1999. [En línea]. Available: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9999110013A/12067>. [Último acceso: 28 05 2018].
- [18] Z. Aguilar, «Análisis de Peligro Sísmico y estimado del Movimiento Sísmico de Diseño,» 2016. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Zenon_Aguilar/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_. [Último acceso: 28 05 2018].
- [19] L. Taipe, «Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000-20011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos,» 2013. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>. [Último acceso: 28 06 2018].
- [20] U. N. A. d. México. [En línea]. Available: <http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf>. [Último acceso: 28 06 2018].
- [21] D. C. K. Wells, «Nuevas relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, Ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie,» [En línea]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.527.9732&rep=rep1&type=pdf>.
- [22] B. Benito y L. Cabañas, «Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta,» [En línea]. Available: Benito, B., Cabañas, L. Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta, http://redgeomatca.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf. [Último acceso: 23 enero 2018].
- [23] «Fortalecimiento,» [En línea]. Available: http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/savia/PDF/Cant%C3%B3n%20Amba

to.pdf. [Último acceso: 25 Junio 2018].

- [24] I. G.-E. P. Nacional, «Informe Sísmico Para El Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.igeptn.edu.ec/inf-sism/sismicos-anales/231--50/file>. [Último acceso: 25 JUNIO 2018].
- [25] H. R. F. Yopez, «Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.igeptn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>.
- [26] I. G.-E. P. Nacional, «Terremoto del 5 de agosto de 1949.,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.igeptn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>.
- [27] I. G.-E. P. Nacional, «Informe sísmico especial N. 13 -2016,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.igeptn.edu.ec/servicios/noticias/1317-informe-sismico-especial-n-13-2016>.
- [28] L. C. B. Benito, «Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta.,» [En línea]. Available: http://redgeomatca.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf.
- [29] «METODO DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES,» 2003. [En línea]. Available: <http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-02-03.pdf>.
- [30] H. Ramírez, Geografía General: Un enfoque interactivo para bachilleres, Mexico: Grupo Editorial Patria, 2015.

2. ANEXOS

ANEXO A



Fotografía 1. Hincado del Martinete



Fotografía 2. Martillete



Fotografía 3. Tripode



Fotografía 4. Muestra de suelo



Fotografía 5. Medición de la muestra