



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

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

Tema:

**“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA MATRIZ DE LA CIUDAD DE
AMBATO”**

AUTOR: Verónica Alexandra Rosero Bautista

TUTOR: Ing. Diego Chérrez

Ambato – Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Diego Chérrez, certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA MATRIZ DE LA CIUDAD DE AMBATO, es de autoría de la Srta. Verónica Alexandra Rosero Bautista Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Julio del 2018

Ing. Mg. Diego Chérrez Gavilanes

TUTOR

AUTORIA DE LA INVESTIGACION

Yo, Verónica Alexandra Rosero Bautista con C.I: 050377335-0, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA MATRIZ DE LA CIUDAD DE AMABTO, es de mi completa autoría.

Ambato, Julio del 2018

Verónica Alexandra Rosero Bautista

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Julio del 2018

Autor

Verónica Alexandra Rosero Bautista

050377335-0

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico:

A DIOS por darme fuerza y no dejarme caer en largo camino de la vida, me dio motivos para luchar por mis objetivos, por bendecirme siempre y poner en mi camino a las mejores personas.

A MI ESPOSO Alex y MI HIJA Maite quienes son mi razón de ser, quienes han sido un apoyo incondicional a lo largo de mi carrera y con paciencia han sabido caminar de la mano junto a mí para dar este gran paso en mi vida y seguir adelante juntos con la bendición de Dios.

A MIS PADRES Sandra y Patricio quienes han sido un gran apoyo en mi vida, siempre brindando su amor y consejos en los momentos difícil de esta etapa.

A MIS HERMANAS Cristina y Patricia por su apoyo, confianza y amor.

A MIS ABUELITOS Gloria y Hernán quienes han estado a mi lado siempre brindando su apoyo incondicional.

A MIS AMIGOS que han estado cerca apoyándome en el transcurso de este proyecto.

VERÓNICA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS, por darme fuerzas para cumplir con la meta soñada, por guiar mi camino de la mejor manera, y para recibir los conocimientos impartidos por los Ingenieros en la carrera.

A MI ESPOSO por todo su esfuerzo y trabajo para brindarme todo su apoyo para que yo pueda terminar mi carrera.

A MI HIJA por toda la paciencia y comprensión brindada durante el tiempo de estudios que no podía estar junto a ella, gracias por ser mi apoyo y mi razón de seguir cada día.

A MI FAMILIA por brindarme todo su apoyo en cada paso de vida y siempre alentarme a terminar mi carrera.

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

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

MUCHAS GRACIAS!!

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR | I |
| AUTORIA DE LA INVESTIGACION | II |
| DERECHOS DE AUTOR | III |
| DEDICATORIA | IV |
| AGRADECIMIENTO | V |
| Índice de Tablas | X |
| Índice de Graficas | XII |
| RESUMEN EJECUTIVO | XIV |
| CAPÍTULO I | 1 |
| ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL | 1 |
| 1.2. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.4. OBJETIVO | 3 |
| 1.4.1. Objetivo General: | 3 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos: | 3 |
| CAPÍTULO II | 4 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN | 4 |
| 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 4 |
| 2.1.1. Tectónica de Placas | 4 |
| 2.1.1.1. Borde de Placa | 5 |
| 2.1.1.2. Tipo de Fallas | 7 |
| 2.1.2. Peligro Sísmico | 10 |
| 2.1.2.1. Tipo de Peligro Sísmico | 10 |
| 2.1.2.2. Zonificación Sísmica en el Ecuador | 12 |
| 2.1.3. Ecuaciones de Predicción de Movimiento en el suelo (GMPEs) | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.1.3.1. Sismo Intraplaca (Falla Cortical) | 14 |
| 2.1.3.1.1. Boore y Atkinson (2008) | 14 |
| 2.1.3.1.2. Modelo Akkar y Bommer | 18 |
| 2.1.3.1.3. Modelo de Kanno | 20 |
| 2.1.3.2. Ecuaciones de Atenuación por Subducción | 22 |
| 2.1.3.3. Modelo de Youngs | 22 |
| 2.1.3.4. Modelo Zhao | 23 |
| 2.1.4. Magnitud de Momento | 25 |
| 2.1.5. Velocidad Media de la Onda Cortante Vs30 | 27 |
| 2.1.6. Clasificación de Suelos | 29 |
| 2.1.6.1. Suelos Gruesos | 29 |
| 2.1.6.2. Suelo Fino | 30 |
| 2.1.7. Granulometría de los Suelos | 30 |
| 2.1.8. Clasificación del Perfil del Suelo | 32 |
| 2.1.9. Ensayo de Penetración Estándar | 33 |
| 2.2. Hipótesis | 34 |
| 2.3. Señalamiento de las variables de la Hipótesis | 34 |
| 2.3.1. Variable Independiente | 34 |
| 2.3.2. Variable Dependiente | 34 |
| CAPÍTULO III | 35 |
| 3. METODOLOGÍA | 35 |
| 3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN | 35 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA | 35 |
| PERFORACIÓN | 37 |
| SUR 37 | |
| OESTE 37 | |
| PZ1 37 | |

| | |
|---|----|
| 538739.5 | 37 |
| 1270909.3 | 37 |
| PZ2 37 | |
| 538690.2 | 37 |
| 1270586.5 | 37 |
| PZ3 37 | |
| 538781.2 | 37 |
| 1270741.0 | 37 |
| PZ4 37 | |
| 538774.0 | 37 |
| 1270804.1 | 37 |
| PZ5 37 | |
| 538754.8 | 37 |
| 1270804.7 | 37 |
| 3.3.2. Variable Dependiente | 39 |
| CAPÍTULO IV | 42 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 42 |
| 4.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 42 |
| 4.1.1. Régimen Tectónico | 42 |
| 4.1.2. Selección de Fallas Geológicas | 47 |
| 4.1.3. Características del Suelo | 51 |
| 4.1.4. Ensayo de Penetración Estándar | 59 |
| 4.1.5. Cálculo de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30 | 63 |
| 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 68 |
| 4.2.1. Espectros para Fallas Corticales | 68 |
| 4.2.1.1. Espectro Calculado con el Modelo de Boore y Atkinson | 68 |
| 4.2.1.2. Espectro Calculado con el Modelo de Akkar y Bommer | 69 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1.3. Espectro Calculado con el Modelo de Kanno..... | 71 |
| 4.2.2. Espectros para Fallas Subducción..... | 73 |
| 4.2.2.1. Espectro Calculado con el Modelo de Zaho | 73 |
| 4.2.2.2. Espectro Calculado con el Modelo de Youngs | 74 |
| 4.2.2.3. Espectro Calculado con el Modelo de Akkar y Bommer | 75 |
| 4.2.3. Espectro con modelos para una Falla | 76 |
| 4.2.4. Comparación de los Espectros Obtenidos con el de la Nec-15 | 83 |
| 4.2.5. Espectros de Todos los Modelos con el espectro de la NEC-15 | 88 |
| 4.2.6. Espectro Crítico comparado con el espectro de la NEC-15 | 89 |
| 4.2.7. Comportamiento estructural de 3 edificaciones tipo del sitio de estudio . | 91 |
| 4.2.7.1. Datos estructurales recolectados de las 3 edificaciones | 92 |
| 4.7.2 Espectro elástico reducido | 92 |
| 4.2.8. Cálculo de los periodos de vibración de las estructuras tipo | 93 |
| 4.2.9. Verificación del Comportamiento Estructural Análisis Estático | 95 |
| 4.2.10. Análisis dinámico | 102 |
| 4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS | 109 |
| CAPÍTULO V | 110 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 110 |
| 5.1. CONCLUSIONES | 110 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 111 |
| BIBLIOGRAFÍA | 111 |
| Referencias | 111 |
| ANEXOS | 115 |
| A. Fotografías | 115 |
| B. Tablas | 116 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: La tabla indica las ecuaciones empleadas para el cálculo de la magnitud de Momento (M). | 26 |
| Tabla 2: Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M)..... | 28 |
| Tabla 3: Clasificación de los suelos con base en el SUCS..... | 31 |
| Tabla 4: Clasificación de perfiles de suelo..... | 32 |
| Tabla 5: Operacionalización de la variable independiente..... | 38 |
| Tabla 6: Operacionalización de la variable dependiente..... | 39 |
| Tabla 7 : Intensidades de los Sismos y Terremotos sentidos en la ciudad de Ambato . | 46 |
| Tabla 8: Fallas Geológicas y su longitud. | 50 |
| Tabla 9 : Clasificación del Suelo Pozo 1..... | 51 |
| Tabla 10: Clasificación del Suelo Pozo 2..... | 53 |
| Tabla 11: Clasificación del Suelo Pozo 3..... | 55 |
| Tabla 12: Clasificación del Suelo Pozo 4..... | 56 |
| Tabla 13: Clasificación del Suelo Pozo 5..... | 58 |
| Tabla 14: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 1 | 59 |
| Tabla 15: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 2 | 60 |
| Tabla 16: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 3 | 61 |
| Tabla 17: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 4 | 61 |
| Tabla 18: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 5 | 62 |
| Tabla 19: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (Vs30) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 1 | 64 |
| Tabla 20: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (Vs30) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 2 | 65 |
| Tabla 21: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (Vs30) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 3 | 65 |
| Tabla 22: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (Vs30) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 4 | 66 |
| Tabla 23: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (Vs30) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 5 | 67 |
| Tabla 24: Cuadro de resultados de los promedios de VS30..... | 68 |
| Tabla 25: Cuadro de Valores para el Modelo Boore y atkinson | 68 |
| Tabla 26: Cuadro de Valores para el Modelo Akkar-Bommer | 70 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 27: Cuadro de Valores para el Modelo Kanno | 71 |
| Tabla 28: Cuadro de Valores para el Modelo Zhao | 73 |
| Tabla 29: Cuadro de Valores para el Modelo Young | 74 |
| Tabla 30: Cuadro de Valores para el Modelo Akkar-Bommer | 75 |
| Tabla 31: Valores de las aceleraciones máximas para cada falla y porcentajes de las diferencias de aceleración entre los modelos. | 82 |
| Tabla 32: Valores para espectro de aceleración específico | 90 |
| Tabla 33: Dimensiones de los elementos de las Edificaciones | 92 |
| Tabla 34: Factores para la reducción de los espectros elásticos..... | 93 |
| Tabla 35: Valores C_t y α | 93 |
| Tabla 36: Valores de F_a , F_d y F_s considerando los efectos de sitio..... | 95 |
| Tabla 37: Valores obtenidos de T , T_o , T_c | 96 |
| Tabla 38: Valores obtenidos de los Modos de Vibración..... | 97 |
| Tabla 39: Modos de Vibración. | 98 |
| Tabla 40: Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas | 101 |
| Tabla 41: Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas para cada una de las estructuras | 101 |
| Tabla 42: Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. | 103 |
| Tabla 43: Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. | 103 |
| Tabla 44: Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. | 104 |
| Tabla 45: Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. | 104 |
| Tabla 46: Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15. | 105 |
| Tabla 47: Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico. | 105 |
| Tabla 48: La tabla indica los valores de cortantes estáticos y dinámicos máximos, en el sentido X y Y para las tres estructuras modeladas. | 106 |
| Tabla 49: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. | 107 |
| Tabla 50: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. | 107 |
| Tabla 51: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. | 107 |
| Tabla 52: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico. | 108 |
| Tabla 53: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. | 108 |
| Tabla 54: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15. | 108 |
| Tabla 55: Derivas de piso elásticas dinámicas con cada espectro ingresado en el sentido X y Y, para cada una de las estructuras | 109 |

Índice de Graficas

| | |
|---|----|
| Gráfica 1: Placas tectónicas | 5 |
| Gráfica 2: Placas Divergentes | 6 |
| Gráfica 3: Placas Convergentes..... | 6 |
| Gráfica 4: Placas Transformantes | 7 |
| Gráfica 5: Falla normal | 8 |
| Gráfica 6: Falla Inversa | 9 |
| Gráfica 7: Falla de Transformación | 9 |
| Gráfica 8: Zona Sísmicas | 12 |
| Gráfica 9: Valores de Sigma | 20 |
| Gráfica 10: Ensayo SPT | 33 |
| Gráfica 11: Área de estudio..... | 37 |
| Gráfica 12: Limites de placa | 43 |
| Gráfica 13: Limite de placa y velocidades de movimiento en los Andes del Norte | 44 |
| Gráfica 14: Fallas Geológicas del Ecuador-Falla de Subducción tipo Inversa | 48 |
| Gráfica 15: Fallas Geológicas de Ambato –Falla Totoras | 49 |
| Gráfica 16: Fallas Geológicas del Sector en Estudio | 50 |
| Gráfica 17: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) | 69 |
| Gráfica 18: Espectros de aceleración modelo Akkar y Bommer (2010)..... | 70 |
| Gráfica 19: Espectros de aceleración modelo Kanno (2006)..... | 72 |
| Gráfica 20: Espectros de aceleración modelo Zhao(2006) | 73 |
| Gráfica 21: Espectros de aceleración modelo Youngs (1997) | 75 |
| Gráfica 22: Espectros de aceleración modelo Akkar-Bommer | 76 |
| Gráfica 23: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Huachi..... | 77 |
| Gráfica 24: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Ambato | 78 |
| Gráfica 25: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Totoras | 79 |
| Gráfica 26: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Samanga..... | 80 |

| | |
|---|-----|
| Gráfica 27: Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006)- de Atkinson-Boore Falla de Subducción..... | 81 |
| Gráfica 28: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson ,Akkar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Huachi..... | 84 |
| Gráfica 29: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson ,Akkar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Ambato. | 85 |
| Gráfica 30: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson ,Akkar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Totoras. | 86 |
| Gráfica 31: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson ,Akkar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Samanga..... | 87 |
| Gráfica 32: Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006) – Akkar y Bommer -NEC 2015 Falla de Subducción | 88 |
| Gráfica 33: Todos los espectros comparados con la NEC-15..... | 89 |
| Gráfica 34: Espectro específico comparado con la NEC-15..... | 91 |
| Gráfica 35: Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la edificación de 5 pisos | 99 |
| Gráfica 36: Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes niveles. Edificación de 5 pisos. | 100 |

RESUMEN EJECUTIVO

Para realizar el estudio fue necesario utilizar diferentes métodos y técnicas de investigación, en la etapa inicial se recolectó información sobre la evaluación de espectros de respuestas a los sistemas de fallas escogidos con el espectro propuesto por la Nec-15, en la etapa de recolección de datos y obtención de resultados se usó la investigación descriptiva, después de la etapa de experimentación se realizaron ensayos para determinar el tipo de suelo mediante el ensayo de Penetración Estándar (SPT), la NEC recomienda realizar 5 perforaciones para el estudio de suelos, por lo cual se usaron los GMPE's: Akkar y Bommer , Boore y Atkinson, Kanno, Youngs y Zhao. Los resultados obtenidos fueron que según el modelo de Akkar y Bommer es el 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. El espectro que generó la mayor respuesta fue el de la falla Ambato debido a que esta falla presenta la menor distancia perpendicular a la zona de estudio de 1,05 Km.

ABSTRACT

To carry out the study it was necessary to use different research methods and techniques, in the initial stage information was collected on the evaluation of response spectra to the fault systems chosen with the spectrum proposed by the Nec-15, in the collection stage of data and obtaining results, descriptive research was used, after the experimentation stage, tests were carried out to determine the type of soil through the Standard Penetration Test (SPT), the NEC recommends performing 5 holes for the study of soils, so which were used GMPE's: Akkar and Bommer, Boore and Atkinson, Kanno, Youngs and Zhao. The results obtained were that according to the model of Akkar and Bommer is the most critical, since with this model was obtained the maximum acceleration for each of the faults, also in a certain interval of the period it exceeds the spectrum of the NEC-15 for the Ambato faults. The spectrum that generated the greatest response was that of the Ambato fault, because this fault has the smallest distance perpendicular to the 1.05 km study area.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“Estudio de Peligro Sísmico Determinista para las Estructuras del Sector La Matriz de la Ciudad de Ambato” Ubicado en las calles Joaquín Lalama , Lizardo Ruiz, Guayaquil y Bolívar.

1.2. ANTECEDENTES

Según Quinde y Reinoso consideran: “Existe una gran diferencia entre los valores de los factores de amplificación ya que en la Norma presenta factores máximos de 1,7 y en el estudio realizado en Cueca se ha observado factores cercanos a 5. Así mismo, se ven diferencias entre los espectros propuestos en este estudio con los estipulados en las NEC. En las zonas de máxima amplificación espectral la normativa actual sobreestima los valores en aproximadamente 50% comparándolos con los resultados de este estudio, mientras que en las zonas de periodo largo, los valores de la NEC son considerablemente mayores.” [1]

Según Ing. Oscar Ortiz en su tesis de Master considera: “Las regiones cercanas a la zona de subducción presentan los valores más altos de aceleración, que varían entre los 500 y 750 gales. Los valores de aceleración en el interior de Ecuador fluctúan entre 350 y 450 gales y la región oriental exhibe los valores más bajos de aceleración que oscilan entre 150 y 250 gales”. [2]

Según Castillo en su tesis de titulación considera : “ El valor medio de velocidad de ondas de corte a travez del suelo en los 30 primeros metros para la cuidad de Loja tiene un valor predominante de 700m/s , que correespiinde a la mayoría de terrenos con presencia de conglomerados y aluviales compactos.Estos valores pueden aumentar en lugares cercanos o sobre roca de basamento, en otro casi disminuir frente a la presecia de grandes depositos con suelo no consolidado, con valores menor registrados de 350 m/s, los ciales tienen una

mayor concordancia con los valores obtenidos por Guatán en el estudio de Zonificación Sísmica en la Cuenca de Loja.” [3]

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción considera: “Ecuador tiene 6 zonas sísmicas, donde su amenaza sísmica va desde muy alta, Ambato se ubica en la quinta zona con un valor de $Z= 0.40$, esto se refleja en el mapa de zonificación sísmica para diseño que proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años.” [4]

El estudio a realizar tiene pretende evaluar el peligro sísmico en base al área de estudio y posteriormente determinar los espectros de respuesta en aceleración que se generaran con los segmentos de las falla seleccionadas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

“Anillo de Fuego del Pacífico”, “Cinturón de Fuego del Pacífico”, o hay quienes lo llaman “Cinturón Circumpacífico”, pero todos los nombres se refieren a una larga zona que rodea el océano Pacífico y que registra una altísima actividad sísmica y volcánica. Sin embargo, visto sobre un mapa, el Anillo se presenta en forma de herradura y no de círculo. [5]

El cinturón, que abarca unos 400 mil kilómetros de longitud, incluye a Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, México, Estados Unidos, Canadá, luego dobla a la altura de las islas Aleutianas y baja por las costas e islas de Rusia, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Nueva Zelanda. En este “cinturón” tienen lugar el 90% de todos los sismos del mundo y el 80% de los terremotos más grandes según explica el director del área de sismología del Instituto Geofísico del Perú (IGP). [6]

El Cinturón de Fuego del Pacífico se formó como consecuencia del movimiento de las placas tectónicas. La litosfera de la Tierra (que incluye la corteza) está dividida en grandes losas o secciones de unos 80 kilómetros de espesor conocidas como placas, las cuales encajan entre sí pero no están completamente unidas, pues se mueven como resultado de

procesos internos del planeta que suceden miles de kilómetros debajo de la superficie terrestre. [6]

1.4. OBJETIVO

1.4.1. Objetivo General:

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

1.4.2. Objetivos Específicos:

Seleccionar las fallas geológicas más relevantes inmersas en el área de estudio.

Determinar la estratigrafía del suelo del sector mediante el ensayo de penetración estándar.

Analizar estructuras con el espectro de respuesta del sector.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Tectónica de Placas

La Tectónica de Placas es una teoría unificadora que explica una variedad de características y acontecimientos geológicos. Se basa en un sencillo modelo de la Tierra que expone que la rígida **litosfera** se encuentra fragmentada, formando un mosaico de numerosas piezas de diversos tamaños en movimiento llamadas *placas*, que encajan entre sí y varían en grosor según su composición ya sea corteza oceánica, continental o mixta. [7]

La litosfera descansa sobre la astenósfera que es semi-plástica, más caliente y débil, por lo que se cree que algún tipo de sistema de transferencia de calor dentro de la Tierra, procedente del núcleo y del manto, hace que las placas litosféricas se muevan. [7]

Se propuso una hipótesis la cual indicaba que el calor radiactivo que se genera en la Tierra se acumula debajo de la corteza y funde el manto, lo que provoca una convección térmica (transferencia convectiva de calor), la misma fue aplicada y se dedujo que la convección también podía darse en el manto sólido. [7]

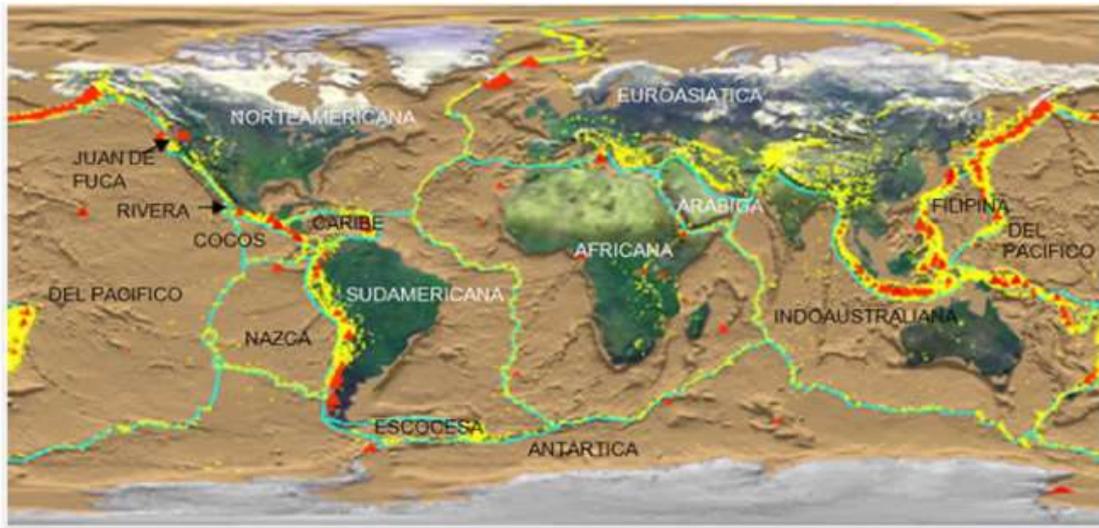
Por todo lo anterior se admite que la corteza terrestre está fragmentada en Placas Tectónicas, las cuales se desplazan pasivamente gracias a las corrientes de convección. Existen zonas donde las corrientes ascienden y otras en donde las corrientes descienden, siendo el propio peso de la masa hundida el que arrastra tras de sí al resto de la placa. Esto ha sido aceptado pero aún no está determinado. [7]

El movimiento de las placas no se da en forma uniforme, se tienen zonas donde el movimiento es muy lento, del orden de una centésima de milímetro al año y otras en las cuales el movimiento es muy rápido, de más de 10 cm al año. De igual forma existen segmentos de la corteza que chocan entre sí y otros en que no existe este choque. Estos movimientos son llamados tectónicos y son los responsables de la aparición de montañas,

volcanes, sismos, formación de plegamientos y fallas geológicas, expansión de océanos, desplazamiento de continentes y también está asociado a yacimientos minerales y petrolíferos. [7]

PLACAS TECTÓNICAS

Gráfica 1: Placas tectónicas



Fuente: Tipos de contactos entre las Placas Tectónicas [7]

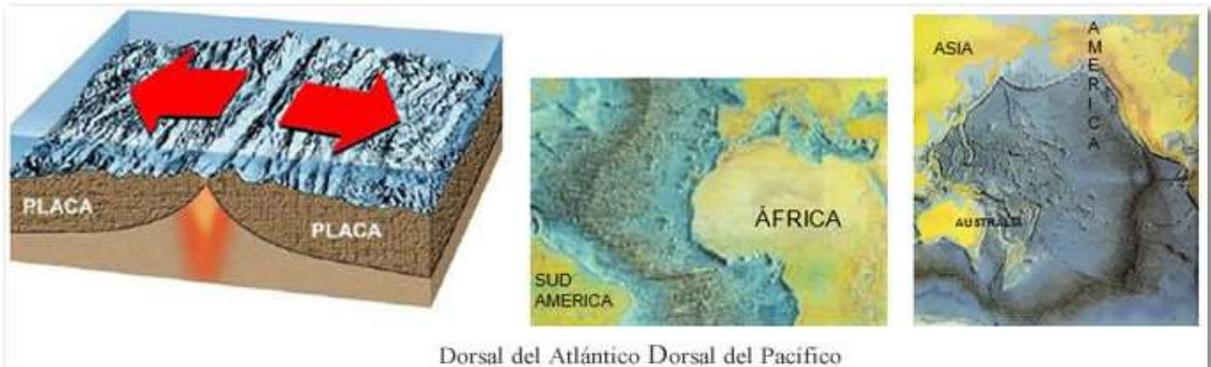
2.1.1.1. Borde de Placa

Divergentes : Las placas se están separando una de otra debido a movimientos que las alejan. Cuando dos placas oceánicas se separan, la corteza adelgaza y se fractura a medida que el magma, derivado de la fusión parcial del manto, asciende a la superficie, se cuela en las fracturas verticales y fluye sobre el suelo marino; al llegar a la superficie, sufre cambios formando una nueva corteza oceánica. Los lugares donde se crea nueva corteza oceánica se llaman centros de expansión así como a las zonas de separación se le conocen como valles Rift o rift. La creación de nueva corteza es un resultado natural de la tectónica de placas. [7]

Al continuar separándose las placas esta nueva corteza oceánica es arrastrada hacia los lados y deja lugar para que ascienda más material del manto, este material caliente, y por lo tanto poco denso, transmite parte de su calor al material que tiene a los lados, el cual

sube también aunque no hasta la superficie, empujando el material que tiene encima y dando lugar a las grandes elevaciones sobre el nivel medio del fondo marino conocidas como dorsales o cordilleras oceánicas. [7]

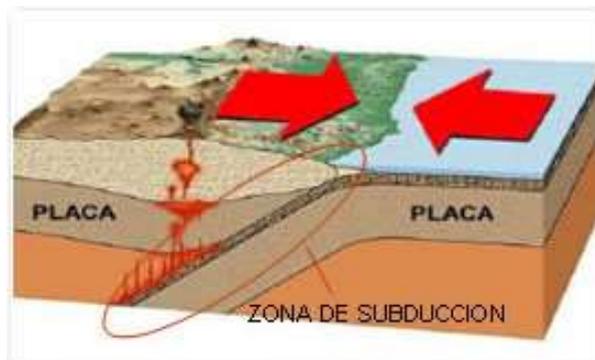
Gráfica 2: Placas Divergentes



Fuente: Servicio Geológico Mexicano -Placas Tectónicas/ Bordes de Placa. [7]

Convergentes : En donde dos placas chocan, por tener movimientos con direcciones opuestas, la más densa se hunde debajo de la menos densa a lo largo de lo que se conoce como zona de subducción; la placa que subduce se va hacia el interior del manto, calentándose y fundiéndose parcialmente generando magma que asciende a la superficie. Una zona de subducción se caracteriza por deformación, vulcanismo, formación de montañas, metamorfismo, actividad sísmica y depósitos minerales importantes. [7]

Gráfica 3: Placas Convergentes



Fuente: Servicio Geológico Mexicano -Placas Tectónicas/ Bordes de Placa [7]

Transformantes : Estos límites ocurren cuando dos placas se deslizan en sentido opuesto, de forma más o menos paralela a la dirección del movimiento de la placa, dando por resultado una zona rocosa muy fracturada que a menudo une secciones de cordilleras oceánicas o de trincheras. En este caso no hay creación ni destrucción de litósfera pero la zona es idónea de sufrir numerosos sismos superficiales debido al rozamiento (Ej.: Falla de San Andrés, California). [7]

Gráfica 4: Placas Transformantes



Fuente: Servicio Geológico Mexicano -Placas Tectónicas/ Bordes de Placa [7]

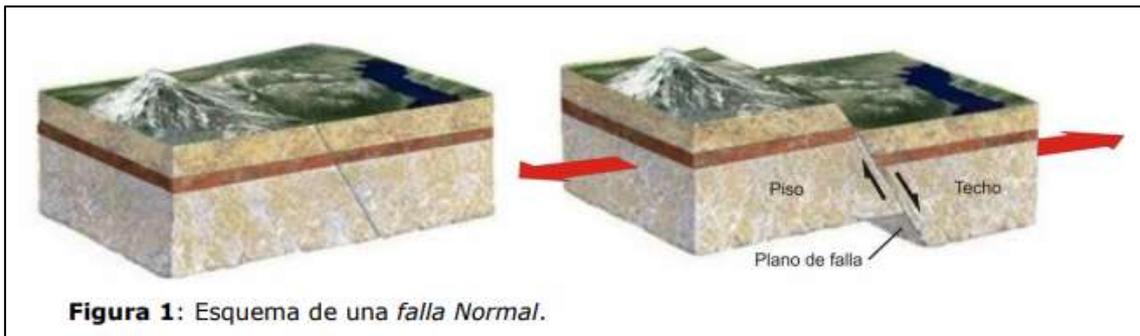
2.1.1.2. Tipo de Fallas

En geología, una falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura (Bates y Jackson, 1980). Esencialmente, una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. El movimiento causante de esa dislocación puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas. El desplazamiento de las masas montañosas que se han elevado como consecuencia del movimiento provocado por fallas, puede ser de miles de metros como resultado de los procesos devenidos durante largos períodos de tiempo. [8]

La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento tangencial de las rocas respecto a ese plano. [8]

Falla normal: Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se denomina techo, y se desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina piso, y asciende. [8]

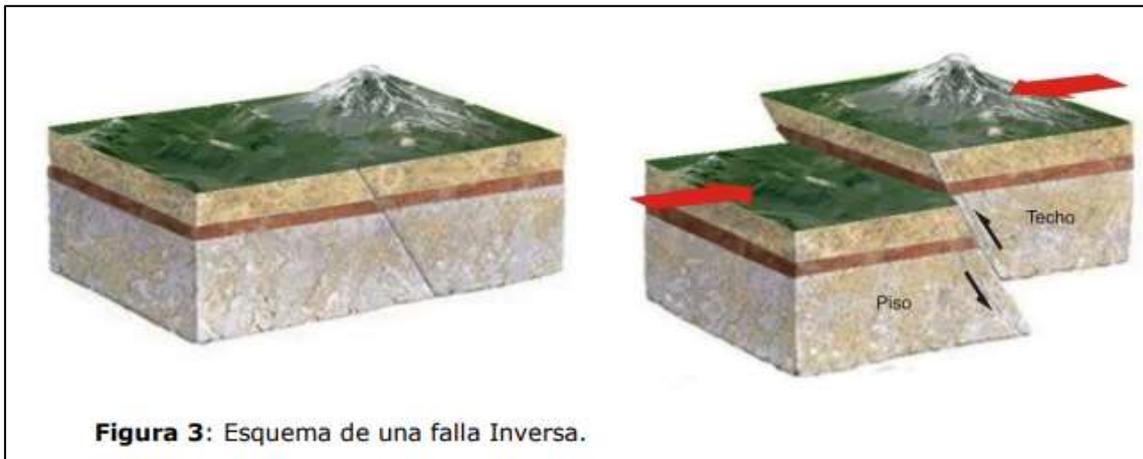
Gráfica 5: Falla normal



Fuente: Inpres-Fallas Geológicas [8]

Falla inversa: Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a 45°, éstas también toman el nombre de cabalgamiento. [8]

Gráfica 6: Falla Inversa



Fuente: Inpres-Fallas Geológicas [8]

Falla de Transformación o de Desgarre: Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: laterales derechas y laterales izquierdas. Laterales derechas o dextrales, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha; mientras que en las laterales izquierdas o sinestrales, el movimiento es opuesto a las anteriores. También se las conoce como fallas transversales. [8]

Gráfica 7: Falla de Transformación



Fuente: Inpres-Fallas Geológicas [8]

2.1.2. Peligro Sísmico

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.

2.1.2.1. Tipo de Peligro Sísmico

Peligro Sísmico Determinístico

El análisis de peligro sísmico determinístico involucra el desarrollo de un terremoto, escenario sobre el cual se basa la evaluación del peligro del movimiento sísmico en un lugar. El escenario consiste en la ocurrencia de un terremoto de tamaño especificado en una ubicación determinada. Un análisis típico de peligro sísmico determinístico puede ser descrito como un proceso de cuatro pasos, consistentes en: Identificación y caracterización de todas las fuentes sísmicas capaces de producir movimientos sísmicos significativos en el sitio de interés. La caracterización de la fuente incluye la definición de la geometría de cada fuente y su potencial sísmico. [9]

- a) Selección del parámetro de distancia fuente-a-sitio para cada fuente. En la mayoría de los análisis de peligro sísmico determinísticos, se selecciona la menor distancia entre la fuente y el sitio de interés. La distancia puede estar expresada en distancias epicentrales o hipocentrales, dependiendo de los valores usados en las relaciones de predicción.
- b) Selección del terremoto dominante (es decir, el terremoto que se espera que produzca los mayores niveles de movimiento), generalmente expresado en términos de algún parámetro del movimiento sísmico en el sitio. La selección se hace comparando el nivel de sacudimiento producido por los terremotos identificados en el paso (a), asumiendo que éstos ocurren a las distancias determinadas en el paso (b). El terremoto dominante se describe en términos de su tamaño (usualmente expresado por la magnitud) y la distancia del sitio de interés. [9]
- c) El peligro en el sitio es formalmente definido, usualmente en términos del movimiento sísmico producido en el sitio por el terremoto dominante. Sus

características son descritas por valores picos de aceleración, velocidades y ordenadas del espectro de respuesta, parámetros que son obtenidos mediante relaciones de predicción, basadas fundamentalmente en ecuaciones de atenuación de ondas. [9]

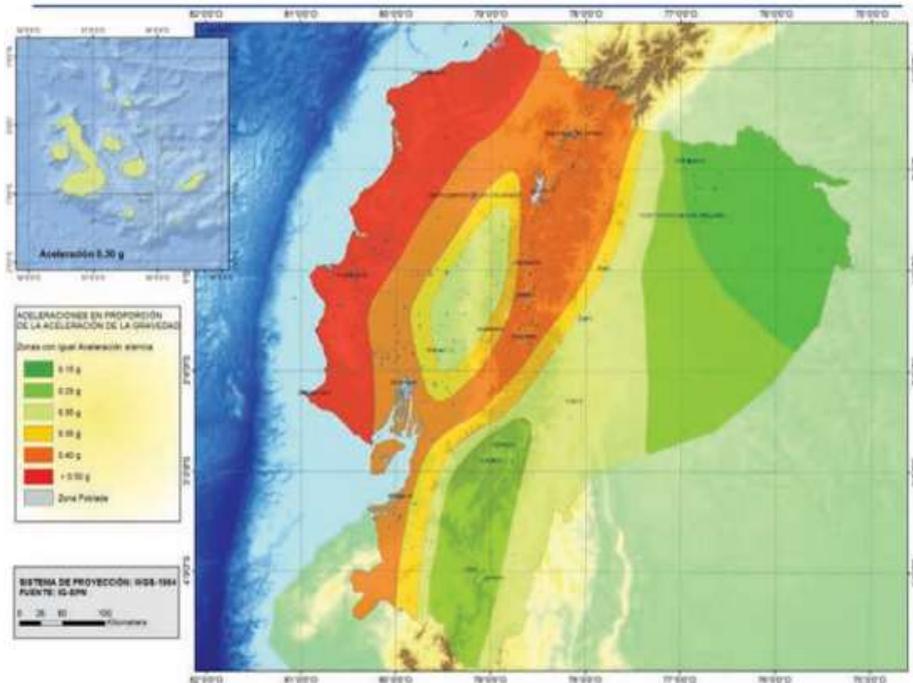
Peligro Sísmico Probabilístico

En los últimos 30 a 40 años, el uso de los conceptos probabilísticos ha permitido considerar explícitamente el uso de las incertidumbres en el tamaño, ubicación y tasa de recurrencia de los sismos, así como en la variación de las características del movimiento sísmico con el tamaño y ubicación del terremoto. El análisis de peligro sísmico probabilístico permite identificar, cuantificar y combinar en una manera racional estas incertidumbres, proporcionando una evaluación más completa de la amenaza sísmica. [9]

El análisis de peligro sísmico probabilístico también puede ser descrito como un proceso de cuatro pasos, que tienen un grado de similitud con los pasos descritos para el método determinístico. [9]

2.1.2.2. Zonificación Sísmica en el Ecuador

Gráfica 8: Zona Sísmicas



Fuente: Nec-2015 [10]

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. [10]

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. 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: [10]

- La evaluación de los principales eventos históricos acompañada de un estudio moderno de reevaluación de la magnitud y localización de dichos eventos. [10]
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénicas y sus parámetros sismológicos (rumbo, buzamiento, magnitud mínima de homogeneidad, tasa media de actividad sísmica, magnitud máxima probable y tasas de recurrencia). [10]
- La modelación de la geometría de las fuentes sismogénicas se alimentó de la información geodésica reciente que proporciona el campo de velocidades del Ecuador a partir de mediciones GPS de precisión y de modelos del acoplamiento de segmentos de la subducción. [10]
- El análisis de la homogeneidad y completitud de los catálogos sísmicos históricos para el Ecuador. [10]
- La modelación de más de 30.000 eventos, de los cuales, filtradas las réplicas, eventos premonitores, sismos volcánicos y enjambres, se obtuvieron 8.923 eventos sísmicos independientes de magnitud mínima de homogeneidad 4,5 y máxima 8,8 utilizados para el análisis. [10]
- Un estudio sobre las incertidumbres en los distintos parámetros utilizados, particularmente las ecuaciones de predicción. [10]

2.1.3. Ecuaciones de Predicción de Movimiento en el suelo (GMPEs)

Las ecuaciones de predicción de movimiento terrestre (GMPE), o relaciones de "atenuación", proporcionan un medio para predecir el nivel de sacudidas del suelo y su incertidumbre asociada en cualquier sitio o ubicación dada, en función de la magnitud del terremoto, la distancia fuente-a-sitio, el suelo local condiciones, mecanismo de falla, etc. [11]

En todos los modelos propuestos las aceleraciones y/o velocidades espectrales se formulan en función de la magnitud y distancia, para el rango de frecuencias de interés

en ingeniería sísmica. 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. [11]

2.1.3.1. Sismo Intraplaca (Falla Cortical)

Sismos corticales superficiales de profundidad menor a 30 Km.

2.1.3.1.1. Boore y Atkinson (2008)

Los parámetros de movimiento en tierra que son las variables dependientes de los GMPEs (también denominados variables de respuesta o medidas de intensidad de movimiento en tierra) incluyen la aceleración máxima del suelo (PGA), la velocidad máxima del terreno (PGV) y el espectro de respuesta (PSA, el 5% amortiguada pseudo-aceleración), todo para el componente horizontal. [12]

Las ecuaciones de predicción de movimiento en tierra (GMPE), dando medidas de intensidad de movimiento en tierra como pico de movimientos de tierra o espectros de respuesta en función de la magnitud del terremoto y la distancia, son herramientas importantes en el análisis del riesgo sísmico. Estas ecuaciones se desarrollan empíricamente mediante una regresión de la gran recopilación de datos de amplitud versus magnitud, distancia y posiblemente otras variables predictivas. Las ecuaciones en se derivaron como parte de la Investigación de Ingeniería Terrestre del Pacífico Proyecto de Atenuación de Próxima Generación del Centro (PEER NGA, Power et al., 2008), utilizando una extensa base de datos de miles de registros, compilados a partir de la corteza superficial terremotos en entornos tectónicos activos en todo el mundo. Estas ecuaciones representan una actualización de los GMPE publicados por Boore y sus colegas en 1997 (Boore et al., 1997, en adelante "BJF97"), y señaló que BJT97 resumió el trabajo anterior publicado por Boore en 1993 y 1994). [12]

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \epsilon\sigma_T$$

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

La función de distancia está dada por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [C_1 + C_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + C_3(R + R_{ref})$$

Dónde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (4.1)$$

C_1, C_2, C_3 y h : Son los coeficientes a determinar en el análisis.

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

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

El escalamiento de magnitud viene dado por:

a) $M \leq M_h$

$$FM(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M - M_h) + e_6(M - M_h)^2 \quad (4.2)$$

b) $M > M_h$

$$FM(M) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M - M_h) \quad (4.3)$$

Donde U, SS, NS y RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, de deslizamiento normal, de deslizamiento inverso, y Mh, es para la forma de la escala de magnitud, es un coeficiente que se debe establecer durante el análisis. [12]

La ecuación de amplificación de sitio está dada por:

$$F_S = FLIN + FNL \quad (4.4)$$

Donde *FLIN* y *FNL* son términos lineales y no lineales respectivamente:

$$FLIN : b_{lin} \ln(V_{s30}/V_{ref}) \quad (4.5)$$

Donde b_{lin} es un coeficiente dependiente del periodo, y V_{ref} es la velocidad de referencia especificada (760 m / s), coeficientes que fueron descritos por (Choi y Stewart 2005), empíricamente basados. [12]

El término no lineal bien esta dado por :

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_low / 0.1) \quad (4.6)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_low / 0.1) + c[\ln(pga_{4nl} / a_1)]^2 + d[\ln(pga_{4nl} / a_1)]^3 \quad (4.7)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl} / 0.1) \quad (4.8)$$

Donde $a_1 = 0,03$ g y $a_2 = 0,09$ g se asignan niveles de umbral para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente, $pga_low = 0,06$ g es una variable asignada a transición entre

comportamientos lineales y no lineales, y pga_{nl} es el PGA previsto en g para $V_{ref} = 760$ m / s, dado por la ecuación 1 con $F_s = 0$ y $\varepsilon = 0$. Las tres ecuaciones para no lineal del suelo responden a ecuaciones (4.6 - 4.8). [12]

Los coeficientes c y d de la ecuación 4.7 vienen dados por: [12]

$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x)/\Delta x^2 \quad (4.9)$$

$$d = (2\Delta y - b_{nl}\Delta x)/\Delta x^3 \quad (4.10)$$

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1) \quad (4.11)$$

$$\Delta y = b_{nl} \ln(a_2/pga_{low}) \quad (4.12)$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos periodos y V_{s30} viene dado por: [12]

a) $V_{s30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1 \quad (4.13)$$

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

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{s30}/V_2)/\ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (4.14)$$

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

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{s30}/V_{ref})/\ln(V_2/V_{ref}) + b_2 \quad (4.15)$$

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

$$b_{nl} = 0.0 \quad (4.16)$$

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

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 $180 \leq V_{s30} \leq 1300$ m/s, no deben ser aplicados para sitios de roca muy dura. [12]

Limitación del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para: [12]

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

2.1.3.1.2. Modelo Akkar y Bommer

Akkar y Bommer (2007a), siguieron su práctica habitual de trazar curvas de atenuación para los valores medianos de PGA y ordenadas espectrales medianas para un número de

escenarios de magnitud-distancia, compararon los valores obtenidos con otras ecuaciones como los modelos de Nueva generación de Atenuación (NGA), Stafford, Strasser y Bommer 2008-2010. [13]

$$\text{Log } y = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log \sqrt{R_{JB}} + b_6 + b_7SS + b_8SA + b_9FN + b_{10}FR + \epsilon\sigma \quad (4.17)$$

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_s : Suelo suave

S_A : Suelo rígido

Para esta ecuación **y** está en cm/s².

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

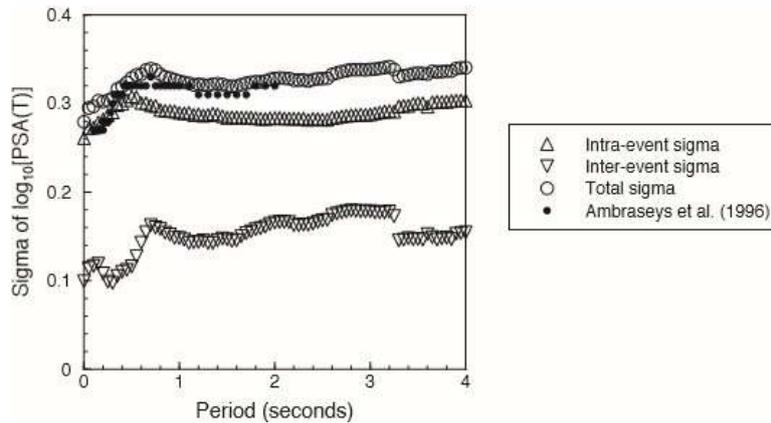
Falla inversa: FN= 1; FR= 1

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 está dada por la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados. [13]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (4.18)$$

Gráfica 9: Valores de Sigma



Fuente: Akkar y Bommer 2010 [13]

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

- ✚ Esta recomendado utilizar la ecuación para un período de hasta 3 segundos.
- ✚ Utilizar una distancia de hasta 100 Km.
- ✚ La Magnitud debe estar entre 5.0 hasta 7.6.

2.1.3.1.3. Modelo de Kanno

Tras el terremoto de Kobe de 1995, el gobierno japonés por prevenir futuros desastres, instalo estaciones de observación de movimiento fuerte, incluyendo K-NET (Kinoshita 1998). En 2005 la sede de Earthquake Research Promotion publico 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. [14]

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

$$\text{Log pre} = a_1 M_w + b_1 x - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + C_1 + \varepsilon_1 \quad (4.19)$$

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

$$\text{Log pre} = a_2 M_w + b_2 x - \log(x) + C_2 + \varepsilon_2 \quad (4.20)$$

Donde :

D : Profundidad focal

a,b,c,d : Coeficientes

M_w : Magnitud de momento

X : Distancia de la fuente

Para este estudio se toma como una falla cortical se utilizará la primera ecuación, por no tener una profundidad focal menor a 30 km. [14]

Dónde pre está en cm/sec². $e_1 = 0.5$. [14]

Se usará distancias de X para suelos poco profundos de: [14]

 6.0 ($X \leq 25 \text{ km}$)

 3.0 ($25 < X \leq 50 \text{ km}$)

 1.5 ($50 < X \leq 75 \text{ km}$)

 1.0 ($X > 75 \text{ km}$)

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para: [14]

✚ Para eventos poco profundos la profundidad focal debe estar entre 0 y 30 km. [14]

✚ Para eventos profundos la profundidad focal debe estar entre 30 y 180 km. [14]

2.1.3.2. Ecuaciones de Atenuación por Subducción

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

2.1.3.3. Modelo de Youngs

Este documento muestra relaciones de atenuación para terremotos de zonas de subducción. Se consideran dos tipos de terremotos de zonas de subducción, terremotos de interplaca e intraplaca. Los terremotos de interplaca de zona de subducción son eventos de empuje de ángulo superficial que se producen en la interfaz entre las placas de subducción y de superposición. Los terremotos de intraplaca de la zona de la subducción ocurren dentro de la placa oceánica. [15]

$$\ln y = -0,6687 + 1,348 M + C_1 + C_2 + (10 - M)^3 + C_3 * \ln(R + 1,097 e^{0,617*M}) + 0,00648H + 0,3643Z_t \quad (4.20)$$

Donde:

y : Aceleración espectral en g

M : Magnitud de momento

C : Coeficientes

R : Distancia fuente a sitio

H : Profundidad

Zt : Tipo de falla

Donde y está en g : [15]

✚ Suelo profundo $Z_{ds}= 1$; $Z_r= 0$; $Z_{ss}= 0$; profundidad hasta lecho recoso es mayor de 20m. [15]

✚ Suelo poco profundo $Z_{ss}= 1$; $Z_{ds}= 0$; $Z_r= 0$; profundidad hasta la roca madre es menor de 20m. [15]

✚ Interplaca $Z_t=0$; Intraplaca $Z_t= 1$

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para: [15]

✚ Magnitudes desde $M_w= 5$

✚ Profundidades focales entre 10 y 229 km

2.1.3.4. Modelo Zhao

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, incluso si los eventos tienen idénticas magnitud y distancias de fuente. El ingeniero utiliza modelos de atenuación para estimar las fuerzas y desplazamientos inducidos en las estructuras de ingeniería. [16]

$$\log y = aM_w + b_x - \log(r) + e(h - hc)\delta + FR + SI + Ss + SSL \log(x) + Ck \quad (4.21)$$

Donde:

a , b, e : Coeficientes

M : Magnitud de momento

x : Distancia a la fuente en Km

h : Profundidad focal

hc : Constante

ck : Clase de sitio

Dónde y está en (cm/s²)

$$r = x + c \exp(d Mw) \quad (4.22)$$

$\delta h = 1$ cuando $h \geq h_c$ y 0 en caso contrario.

SR= 0.251; SI= 0.0; Ss= 2.607; SSL= -0.528

Usar $h_c = 15$ km [20]

Profundidades focales

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. [16]

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. [16]

2.1.4. Magnitud de Momento

La magnitud de momento se encontrara de acuerdo a Well-Coppersmith :

Los análisis tanto determinísticos como probabilísticos necesitan una evaluación del potencia terremoto en un región a futuro. Se requiere estimar el tamaño de los terremotos de mayor tamaño que podrían suscitarse debido a una falla particular o una fuente de terremoto. El fallo de un potencial terremoto futuro puede ser evaluado a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, debido a su relación con la magnitud de momento. [17]

Tabla 1: La tabla indica las ecuaciones empleadas para el cálculo de la 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 s | Correlation Coefficient r | Magnitude Range | Length/Width Range (km) |
|------------------------------------|------------|------------------|----------------------------------|-------------|------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|
| | | | $a(a)$ | $b(b)$ | | | | |
| $M = a + b \cdot \log(\text{SRL})$ | 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 |
| $\log(\text{SRL}) = a + b \cdot M$ | 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 |
| $M = a + b \cdot \log(\text{RLD})$ | 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 |
| $\log(\text{RLD}) = a + b \cdot M$ | 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 |
| $M = a + b \cdot \log(\text{RW})$ | 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 |
| $\log(\text{RW}) = a + b \cdot M$ | 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 |
| $M = a + b \cdot \log(\text{RA})$ | 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 |
| $\log(\text{RA}) = a + b \cdot M$ | 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. [17]

2.1.5. Velocidad Media de la Onda Cortante Vs30

La norma ecuatoriana de la construcción NEC-2015 define seis tipos de perfil de suelo. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A a E .

Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice *i* que va desde 1 en la superficie, hasta *n* en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil. Para el perfil tipo F se debe realizar un estudio más profundo por ser un suelo muy baja resistencia.(Fallis, 2013). [18]

La velocidad de onda de corte V_s es uno de los parámetros más importantes para la caracterización dinámica de suelos, ya que con base en este parámetro es posible establecer y analizar el comportamiento de depósitos de suelo ante cargas cíclicas. [19]

Es importante destacar las correlaciones empíricas establecidas en la literatura entre el número de golpes por metro medido en los ensayos de penetración estándar tradicionales, y velocidades de onda de corte V_s . [20]

Todas estas correlaciones se basan en V_s no corregidos y valor de N no corregido. [20]

$$V_s = a \times N^b$$

Se puede observar que todas las relaciones dadas en la a continuación:

Tabla 2: Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M)

| Author(s) | V_s (m/s) | | |
|------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | All soils | Sands | Clays |
| Hanumantharao and Ramana [5] | $V_s = 82.6N^{0.430}$ | $V_s = 79.0N^{0.434}$ | – |
| Maheshwari et al. [6] | – | $V_s = 95N^{0.300}$ | – |
| Ohba and Toriumi [7] | $V_s = 84N^{0.310}$ | – | – |
| Imai [8] | $V_s = 91N^{0.340}$ | $V_s = 80.6N^{0.331}$ | $V_s = 80.2N^{0.292}$ |
| Ohta and Goto [9] | $V_s = 85.35N^{0.348}$ | $V_s = 88.0N^{0.340}$ | – |
| Jafari et al. [10] | $V_s = 121.0N^{0.270}$ | $V_s = 80.0N^{0.330}$ | $V_s = 100.0N^{0.330}$ |
| Seed and Idriss [11] | $V_s = 61N^{0.500}$ | – | – |
| Lee [12] | – | $V_s = 57.4N^{0.490}$ | $V_s = 114.4N^{0.310}$ |
| Sykora and Stokoe [22] | – | $V_s = 100.5N^{0.290}$ | – |
| Okamoto et al. [23] | – | $V_s = 125.0N^{0.300}$ | – |
| Pitilakis et al. [24] | – | $V_s = 162.0N^{0.170}$ | $V_s = 165.7N^{0.190}$ |
| Athanasopoulos [25] | $V_s = 107.6N^{0.360}$ | – | – |
| Raptakis et al. [26] | – | $V_s = 123.4N^{0.290}$ | $V_s = 184.2N^{0.170}$ |
| Hasancebi and Ulusay [27] | $V_s = 90N^{0.309}$ | $V_s = 90.8N^{0.319}$ | $V_s = 297.9N^{0.269}$ |
| Uma Maheswari et al. [28] | $V_s = 95.64N^{0.301}$ | $V_s = 100.53N^{0.265}$ | $V_s = 89.31N^{0.358}$ |
| Esfehanizadeh et al. [29] | – | $V_s = 107.2N^{0.34}$ | – |
| Fatehnia et al. [30] | – | $V_s = 77.1N^{0.355}$ | $V_s = 77.1N^{0.355}$ |

Fuente : Wells, D. Coppersmith, K. Nuevas relaciones empíricas entre magnitud, longitud de ruptura, Ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de superficie. [17]

Donde a y b son coeficientes que varían para diferentes ubicaciones y tipos de suelo. Además, se puede observar que para todos los suelos, la mayoría de los investigadores propusieron el valor de a en el rango de (82-95) y b en el rango de (0.3-0.45). En este estudio, 74 pares de datos (V_s y N) se emplearon en las evaluaciones. Las correlaciones se desarrollaron usando un análisis de regresión simple. En los análisis, se propusieron nuevas relaciones entre V_s (m / s) y N valores. Sin embargo, antes de esto, se ha examinado el efecto de la corrección sobre los valores de N . [20]

De forma similar a todos los suelos, el análisis de regresión también se llevó a cabo para suelos arenosos. De los 74 pares de datos, 53 fueron de suelos arenosos. En la Fig. 8, los datos de campo de V_s y N para suelos arenosos se comparan con las ecuaciones recomendadas por otros seis investigadores, es decir, Hanumantharao y Ramana,

Maheshwari , Imai, Okamoto , Pitilakis y Raptakis. Para todos estos siete conjuntos de datos, se puede observar que Okamoto. Proporcionan un límite superior e Imai proporcionan un límite inferior. Los otros cinco conjuntos de datos que incluyen el presente estudio se encuentran entre estas dos curvas. La Figura 9 muestra la correlación entre V_s y N , y la relación propuesta entre V_s (m / s) y los valores de N para suelos arenosos es la siguiente. [20]

$$V_s = 100.3N^{0.338} \quad (4.23)$$

Debido a que determinamos que el suelo en estudio es arena la ecuación que se presentó anteriormente es aquella que se usara para determinar el V_s .

2.1.6. Clasificación de Suelos

El sistema (SUCS) clasifica al suelo en 2 categorías: suelos con partículas gruesas de tipo grava o arena donde el 50% de su peso no debe pasar la malla # 200 y los suelos de grano fino los cuales son limos, arcillas y orgánicos, si más del 50% de su peso pasan la malla # 200. [21]

2.1.6.1. Suelos Gruesos

Las gravas y arenas se distinguen con la malla # 4, de tal manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa no pasa la malla # 4, y es del grupo S en caso contrario. [21]

Las gravas y arenas se clasifican en 4 subcategorías :

- ✚ Material libre de finos y bien graduado, la misma que escasamente contiene finos, pero en caso de tenerlos el porcentaje no debe ser mayor al 5%. [21]
- ✚ Material libre de finos y mal graduado, contiene partículas finas cuyo porcentaje no debe exceder al 5%. [21]
- ✚ Material con cantidad apreciable de finos limosos, el cual debe superar un porcentaje del 12% de su peso total. [21]

- ✚ Material con cantidad apreciable de finos arcillosos con porcentajes mayores al 12% de su peso total. [21]

2.1.6.2. Suelo Fino

Se clasifican en 3 categorías, según su límite líquido (**L_L**).

- ✚ Si **L_L** es menor al 50% son considerados suelos de compresibilidad baja. [21]

- ✚ Si **L_L** es mayor al 50% son considerados suelos de alta compresibilidad. [21]

Grupo perteneciente a las turbas, considerado como material orgánico fibroso que se carboniza. El **L_L** de este suelo está entre 300% y 500%. [21]

2.1.7. Granulometría de los Suelos

Este ensayo se realiza con el fin de determinar el rango de los tamaños de las partículas que se encuentran presentes en el suelo. Los resultados dan a conocer el porcentaje de la grava, arena, limo y arcilla, además de los coeficientes de uniformidad y curvatura. Estos resultados se presentan en graficas semi-logarítmicas. [21]

Tabla 3: 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 ^{1/1} | Menos del 5% en masa pasa la malla N°200 | GW |
| | | | GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) | 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 |
| | | 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 ^{1/1} | Menos del 5% en masa pasa la malla N°200 | SW |
| | | | ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) | 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 de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH) | SM |
| | SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0.075 mm) | LIMO Y ARCILLA Límite líquido | Menor de 50% | Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual. | ML | |
| | | | | Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual. | CL | |
| | | | | Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual. | OL | |
| | | | Mayor de 50% | Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual. | MH | |
| | | | | Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual. | CH | |
| | | | | Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual. | OH | |
| | ALTAMENTE ORGÁNICOS | Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa. | P _t | | | |

Fuente: Clasificación de Suelos /SUCS [21]

2.1.8. Clasificación del Perfil del Suelo

Tabla 4: Clasificación de 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 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 m/s $> V_s \geq 360$ m/s |
| | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios. | $N \geq 50.0$ $S_v \geq 100$ KPa |
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 360 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 kPa $> S_v \geq 50$ kPa |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $V_s < 180$ m/s |
| | Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas | $IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa |
| F | Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases: | |
| | F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. | |
| | F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). | |
| | F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75) | |
| | F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m) | |
| | F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte. | |
| | F6—Rellenos colocados sin control ingenieril. | |

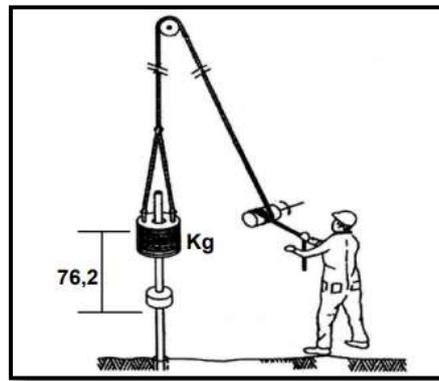
Fuente: NEC SE- DS [10]

2.1.9. Ensayo de Penetración Estándar

Ensayo de penetración estándar. El SPT (Standard Penetration Test) o ensayo de penetración estándar, es un tipo de prueba de penetración dinámica, que es empleado para realizar ensayos en terrenos que se requiere realizar un reconocimiento geotécnico. [22]

El ensayo SPT se realiza en el interior de sondeos durante la perforación, consiste básicamente en contar el número de golpes (N) que se necesitan para introducir dentro de un estrato de suelo, un toma muestras (cuchara partida hueca y cilíndrica), que permite realizar tomas de muestra naturalmente alterada en su interior, a diferentes profundidades (generalmente con variación de metro en metro). [22]

Gráfica 10: Ensayo SPT



Procedimiento para realizar este ensayo se presenta a continuación:

- ✚ Luego de apoyar la cuchara partida en el fondo de la perforación, se procede a hincarlo mediante golpes con el martinete lanzando en caída libre desde una altura de 75 +- cm sobre la cabeza de golpe. [22]
- ✚ Se realiza el sondeo hasta la profundidad establecida, y a continuación se lleva al fondo de dicha perforación una cuchara normalizada que se hinca 15 cm (6'') en la capa a reconocer, a fin de eliminar la zona superficial parcialmente alterada, por efectos del procedimiento utilizado durante la ejecución del sondeo.

[22]

- ✚ Se hace una señal sobre el varillaje y se cuenta el número de golpes (N) necesarios para hincar de nuevo la cuchara, la profundidad de 30 cm (12’’). [22]
- ✚ Si por algún motivo el número de golpes necesarios para hincar cualquier intervalo de 15 cm es superior a 50, entonces el resultado del ensayo deja de ser la suma que se indica anteriormente para convertirse en RECHAZO, teniéndose que anotar la longitud hincada en el tramo en el cuál se han alcanzado los 50 golpes. [22]
- ✚ El ensayo se da por finalizado cuando se alcanza este valor. [22]
- ✚ Finalmente se abre la cuchara partida y se toma la muestra de su interior, para realizar los ensayos correspondientes, (contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, peso específico). [22]
- ✚ Se recomienda que las muestras recuperadas del suelo se introduzcan en unos recipientes herméticos, en los que se fijaran unas etiquetas donde mencionen: localización, fecha, numero de muestra, profundidad de ensayo, todo lo anterior tomando en cuenta la norma INEN 693. [22]

2.2. Hipótesis

El estudio de peligro sísmico determinístico influirá en el nivel de amenaza de las estructuras del sector La Matriz

2.3. Señalamiento de las variables de la Hipótesis

2.3.1. Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

2.3.2. Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del sector La Matriz

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizara con métodos de exploración y de laboratorio.

El método de exploración se debe a que en el sector de La Matriz de la ciudad de Ambato, no se han realizado aun el estudio del peligro sísmico para sus estructuras, para lo cual se deberá realizar la evaluación de los espectros de respuestas de las fallas seleccionadas de acuerdo al espectro presentado por la NEC-15. [10]

El método de laboratorio se debe a que se realizará ensayos que permita determinar la estratigrafía del suelo previamente realizado el ensayo de penetración estándar SPT, el cual nos permite recolectar información geotécnica del subsuelo y las muestras para ser posteriormente ensayadas, con lo cual se determinara el espectro sísmico de sitio mediante ecuaciones de atenuación que conjugan el tipo de falla geológica con la estratigrafía determinada mediante estudios de penetración estándar.

Se analizara tres tipos distintos de estructuras dentro del área seleccionada mediante un software que nos permite simular el comportamiento de las mismas ante un sismo.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

El estudio de Peligro de Sísmico Determinista será realizado para el sector La Matriz (Calles Bolívar- Guayaquil-Joaquín Lalama y Lizardo Ruiz) de la ciudad de Ambato. Para lo cual es indispensable tener conocimiento de las características geotécnicas del suelo y las GMPEs a utilizar.

Muestra:

Al ser un trabajo experimental se realizara 5 perforaciones para el estudio de suelos requerida debido a que el área de estudio es amplia.

Las 5 perforaciones serán realizadas en las siguientes ubicaciones:

Pozo1: Calles Bolívar y Martínez

Pozo2: Calles Rocafuerte y Quito

Pozo3: Calles Lizardo Ruiz y Delicia

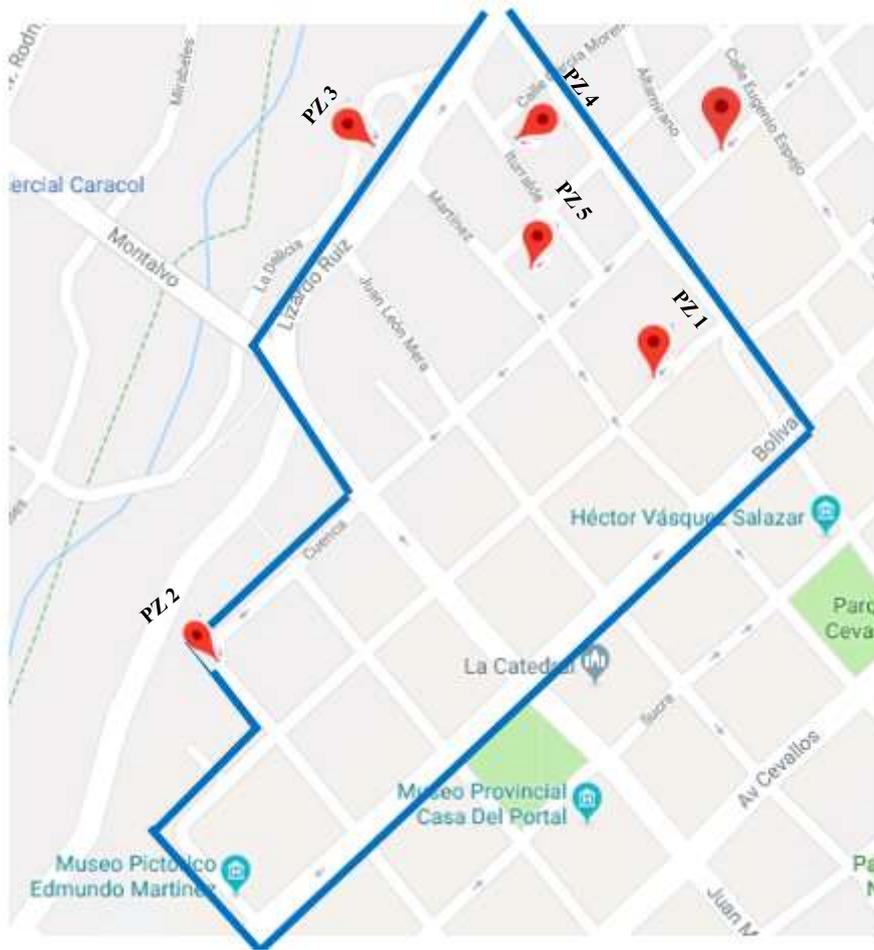
Pozo4: Calles Iturralde y García Moreno

Pozo5: Calles Martínez y Cuenca

Los GMPEs a utilizar son :

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

Gráfica 11: Área de estudio



Fuente:Google Earth

Tabla 5: Coordenadas U.T.M de las 5 perforaciones realizadas en el Sector La Matriz

| PERFORACIÓN | SUR | OESTE |
|--------------------|------------|--------------|
| PZ1 | 538739.5 | 1270909.3 |
| PZ2 | 538690.2 | 1270586.5 |
| PZ3 | 538781.2 | 1270741.0 |
| PZ4 | 538774.0 | 1270804.1 |
| PZ5 | 538754.8 | 1270804.7 |

Fuente: Verónica Rosero

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

Tabla 6: Operacionalización de la variable independiente

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|---|--------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Es el desarrollo de un terremoto en cual se basa la evaluación del peligro del movimiento sísmico en el lugar de interés. | Movimiento sísmico | -Sismo | -¿Cuál fue la magnitud del terremoto? | -Experimental |
| | | -PGA | -¿Cuál es el PGA obtenido? | -Experimental -Bibliográfica |

Fuente : Verónica Rosero

3.3.2. Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del sector La Matriz

Tabla 7: Operacionalización de la variable dependiente

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|--|--------------------|--|---|-------------------------------------|
| Es la probabilidad de ocurrencia de un sismo de un determinado sitio, en un período de tiempo. | Amenaza sísmica | -Magnitud | -¿La magnitud es de amenaza significativa? | -Experimental -Bibliográfica |
| | | -Distancia desde el punto sísmico hasta el punto de estudio. | -¿La distancia que existe tiene relevancia en la amenaza producida? | -Experimental -Bibliográfica |

Fuente : Verónica Rosero

3.4. PLAN DE RECOLECCION DE INFORMACIÓN

| Preguntas Básicas | Explicación |
|--|---|
| 1.- ¿Para qué? | -Para evaluar el peligro en el sector La Matriz mediante la determinación de espectros de respuestas asociados a las fallas seleccionadas. |
| 2.- ¿De qué personas u objetos? | -Régimen tectónico, fallas seleccionadas y tipo de suelo en el área de estudio. |
| 3.- ¿Sobre qué aspectos? | -Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras. |
| 4.- ¿Quién? | -Verónica Alexandra Rosero Bautista -Ing. Diego Chérrez Gavilanes |
| 5.- ¿Dónde? | - Sector “La Matriz” en el cantón Ambato. -Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. |
| 6.- ¿Cómo? | -Investigación bibliográfica -Ensayos de laboratorio -Norma NEC2015 |

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El proceso a seguir dentro de esta investigación se deberá tomar en cuenta los siguientes pasos:

- ✚ Seleccionar el área de estudio dentro de la ciudad de Ambato.
- ✚ Identificación del régimen tectónico en base al área d estudio.
- ✚ Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador, tales como Falla de Ambato,Huachi Totoras y la Falla de Subducción.
- ✚ Identificación y caracterización de fuentes sismo génicas capaces de producir movimientos sísmicos.
- ✚ Determinación de la magnitud máxima d las fallas seleccionadas, basada en la metodología de Wells-Coppersmith, la ecuación que se utilizará está en función de la longitud de ruptura para los diferentes tipos de fallas (normal, inversa y transcurrente).
- ✚ Identificación del tipo del perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- ✚ Determinación de la velocidad de onda cortante V_s , a partir de relaciones empíricas.
- ✚ Estimar la aceleración máxima desuelo de acuerdo del régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs).
- ✚ Obtener un espectro determinista a partir de los valores pico, generados por los espectros de cada una de las fallas.
- ✚ 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 La Matriz se encuentra ubicado en la ciudad de Ambato a 2580msnm, en la región interandina (Sierra) de Ecuador. La ciudad pertenece a la provincia de Tungurahua cuya zona es sísmica y volcánica. [23]

El origen de los sismos en la ciudad e Ambato pueden ser por dos fuentes: tectónica (cortical y subducción) y volcánico. [24]

Los sismos originados por una fuente tectónica pueden llegar a magnitudes Mw 9.5, por otro los sismos generados por una fuente volcánica a magnitudes menores de Mw 3 en la escala de Richter que no suelen ser sentidos por la población. [25]

El terremoto del 5 de agosto de 1949 de Ambato – Pelileo tuvo una magnitud de Mw 6.8, la cual fue calculada según las intensidades generadas, tuvo epicentro al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20km del norotiente de Pelileo. [26]

Ecuador tiene tres clases de regímenes tectónicos: Subducción intraplaca, subducción interplaca y cortical. [27]

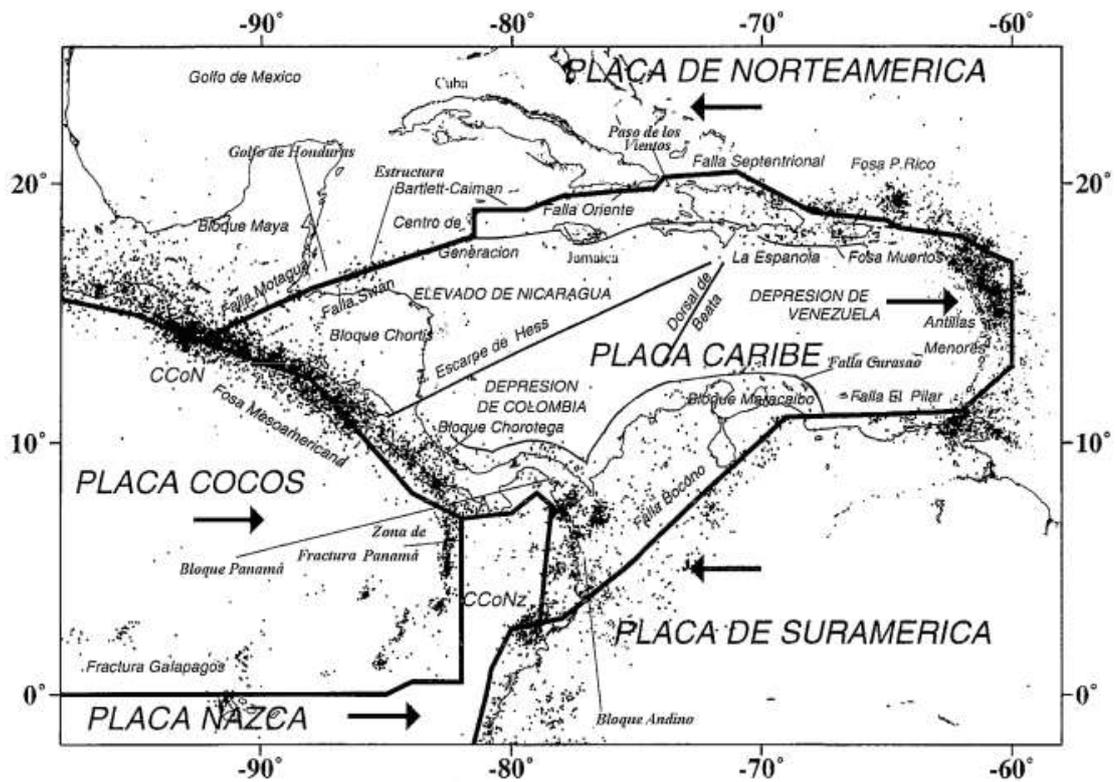
La cadena de los Andes resulta de la subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana. [27]

El tipo de subducción andina se caracteriza por una placa oceánica subducida con un ángulo bajo y con un régimen tectónico predominantemente compresivo. En el caso de la subducción andina, la geometría de la placa oceánica presenta dos tipos de segmentos, unos hundiéndose con un ángulo de ca. 30° (Colombia-Ecuador, Sur Perú- Bolivia-Norte Chile, y Chile Central y Sur) y otros de bajo ángulo o subducción plana (Jordan et al. 1983). [27]

La Cordillera de los Andes se divide en tres segmentos principales, desde el mar Caribe (10°N) hasta Tierra del Fuego (55°S) (Soler 1991, Urreiztieta 1996, Aleman y Ramos 2000, Jaillard et al. 2000, Ramos 2000). Los Andes septentrionales (10°N- 5°S) se desarrollan en un contexto cinemático complejo debido a la interacción de las placas Caribe, Cocos, parte norte de la placa Nazca y la placa Sudamericana. Los Andes centrales (5°S-46°S) se ubican a lo largo del margen oeste del continente sudamericano donde interactúan las placas Nazca, Antártica y Sudamericana. Al sur, los Andes Australes o Patagónicos (46°S-55°S) resultan de la interacción de las placas Antártica, Sudamericana y de Scotia. [27]

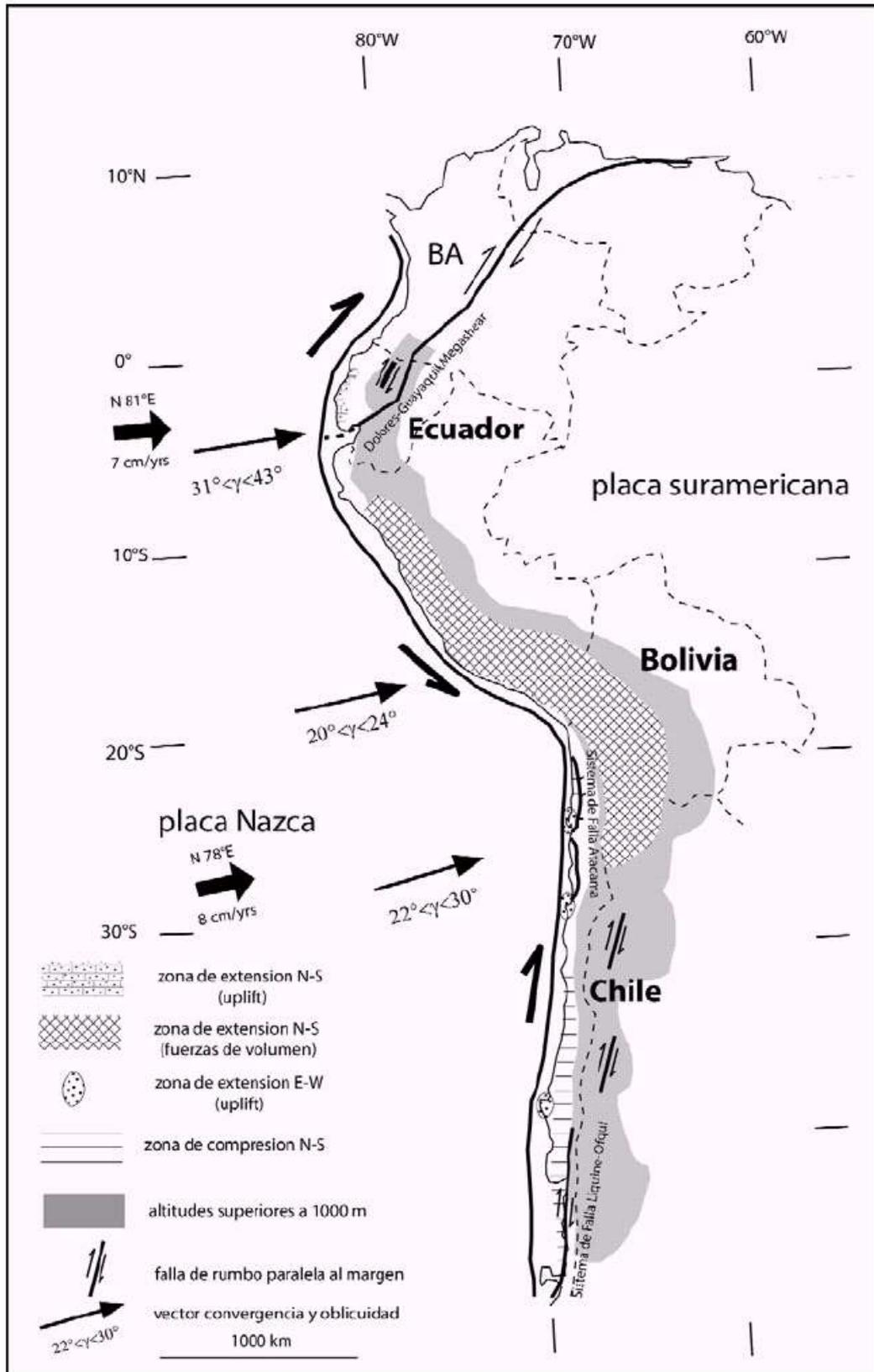
La placa de Nazca converge bajo la placa Sudamericana con una velocidad de 7 cm por año.

Gráfica 12: Límites de placa



Fuente: Placas Tectónicas –Universidad Central de Caracas

Gráfica 13: Limite de placa y velocidades de movimiento en los Andes del Norte



Fuente: Neotectónica de los Andes entre 1°N y 47°S –Sciolo

Realizar un estudio de convergencia de las placas tectónicas tiene una gran importancia para la evaluación del peligro sísmico en la ciudad de Ambato debido a su sismicidad puede afectar a la ciudad.

Los sismos con mayor intensidad sentidos en la ciudad de Ambato fueron:

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. El terremoto ocurrió a las 14h08 (tiempo local) y su epicentro, de acuerdo a las últimas investigaciones, se ubica en una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 km nororiente de Pelileo. La magnitud calculada en función de las intensidades generadas es de 6.8 con una profundidad menor a 15 km. [26]

El sismo del 4 de febrero de 1797 provocó una destrucción total de Riobamba. Tuvo una magnitud de 8,3. El terremoto más destructivo en suelo ecuatoriano y uno de los de mayor magnitud en toda su historia. Daños en Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi, Bolívar y Pichincha. Se modificó el paisaje por las grietas, hundimientos y cambió del curso de los ríos. Muertos contabilizados: 12.833, pero se estima que la cifra sería de 31.000. [28]

El sismo de Enero de 1906, terremoto-tsunami con epicentro en el Pacífico, frente a las costas de la frontera Ecuador-Colombia. Este sismo, 8,8 por su magnitud, es el quinto más fuerte que se ha registrado en el mundo, desde que existen los sismógrafos. En Limones desaparecieron bajo las aguas cuatro islas. Treinta muertos en Esmeraldas. Las olas arrojaron a la costa de Tumaco (Colombia) unos 90 cadáveres. [28]

El terremoto de 19 de Enero de 1958 con magnitud 7.6 a 19 km de Esmeraldas, el terremoto de 14 de Mayo de 1942 con magnitud 7.8 a 15 km de Pedernales, Manabí y el terremoto de 12 de diciembre de 1979 con magnitud 7.7 a 56 km de Valdez, Esmeraldas. [28]

El terremoto ocurrido el 16 de abril del 2016, a las 18:58, con una magnitud de 7,8 Mw, 20 km de profundidad y cuyo hipocentro fue en Pedernales (Manabí) tuvo una intensidad igual a VIII, es decir, daño fuerte, explicó Mario Ruiz, director del Instituto Geofísico de

la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Con esta intensidad, generalmente, hay más de 100 000 afectados y se pone a prueba la calidad de las construcciones, pues se agravan las grietas, los edificios más antiguos se derrumban parcialmente o sufren grandes daños. También se pueden apreciar ondas en suelos muy blandos, producir corrimientos de tierra y desprendimiento de rocas, etc. [29]

Tabla 8 : *Intensidades de los Sismos y Terremotos sentidos en la ciudad de Ambato*

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

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica de Ecuador

En la tabla 7 podemos apreciar los eventos sismos que se han sentido con mayor intensidad en la ciudad de Ambato, se encuentran ordenados en orden cronológico y con sus respectivas intensidades.

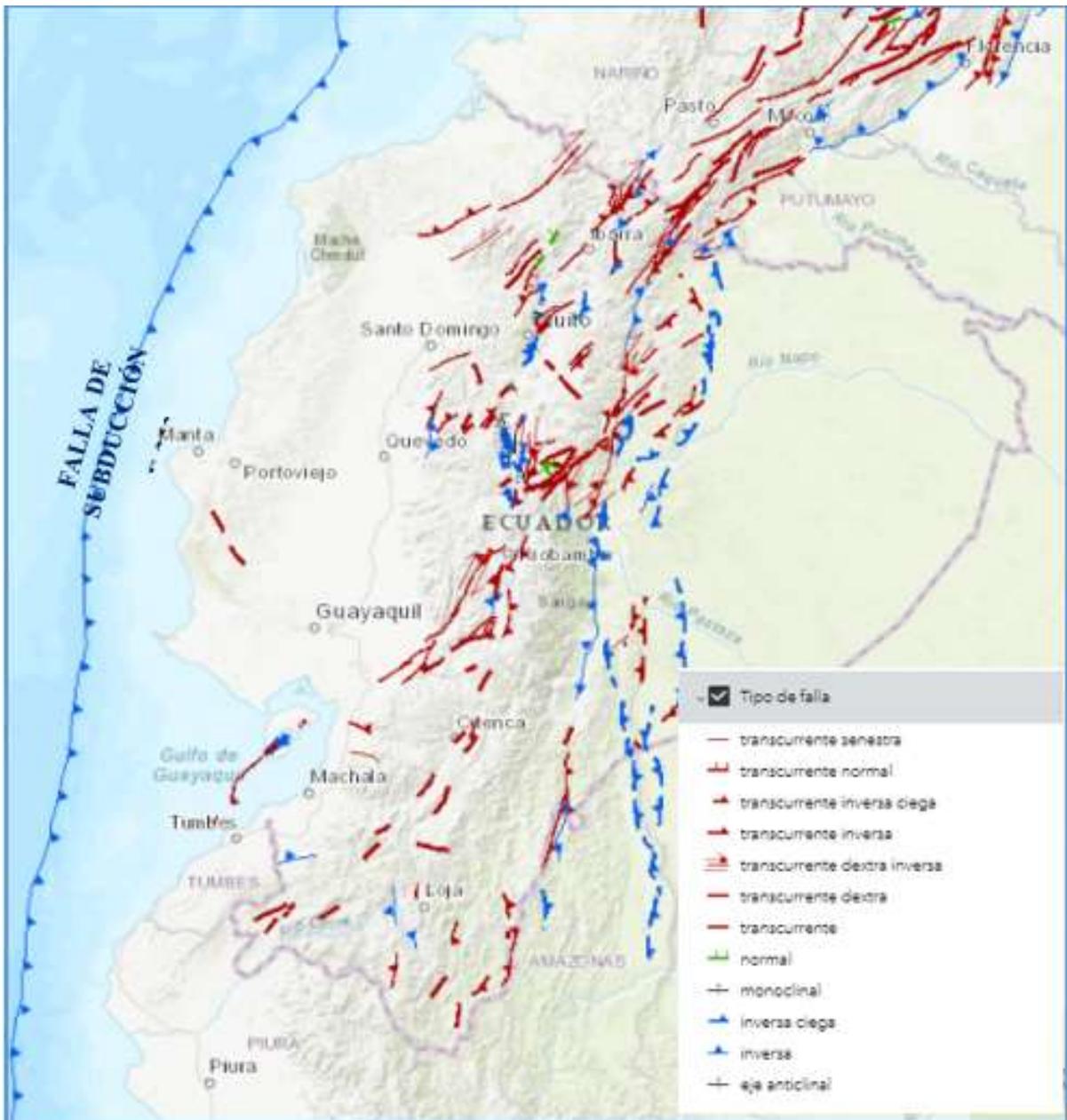
Hay tomar en cuenta que las intensidades son medidas de acuerdo al daño que presentan las construcciones, desafortunadamente no todos los sismos han podido ser registrados de manera instrumental.

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional son quienes han logrado monitorear el movimientos de estos eventos y se conoció que el epicentro estaba en Pisayambo provincia Tungurahua, por cual es necesario que la ciudad de Ambato cuente con registros acelerográficos. [26]

4.1.2. Selección de Fallas Geológicas

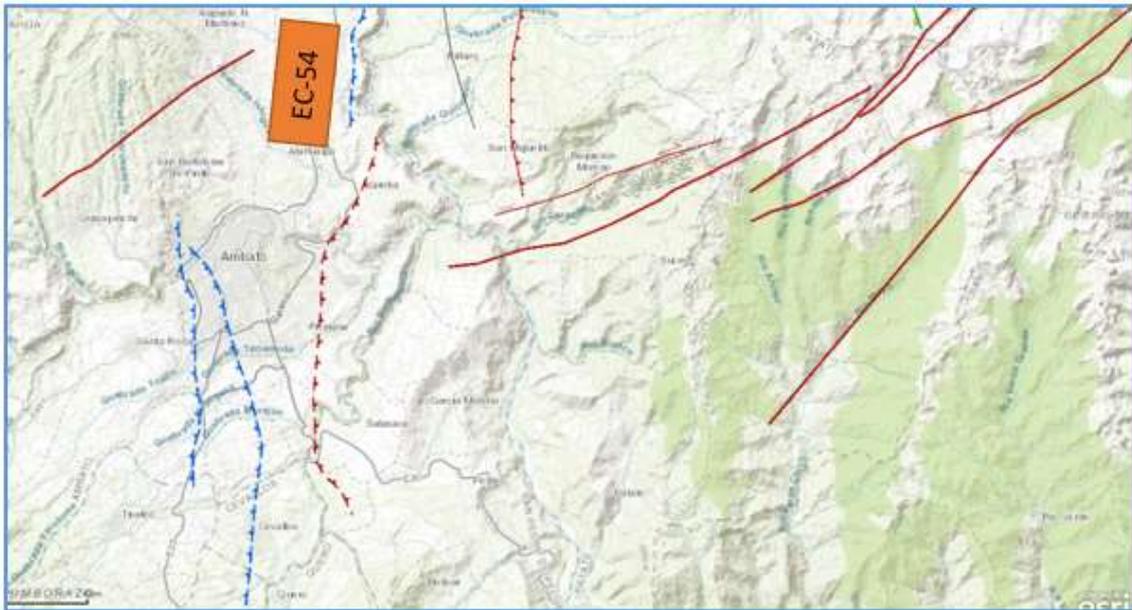
Considerando que la falla de subducción está ubicada a una distancia relativamente lejana de la zona de estudio, la posible liberación de energía que esta desencadenaría produciría daños en las estructuras, razón por la cual ha sido seleccionada para el presente estudio.

Gráfica 14: Fallas Geológicas del Ecuador-Falla de Subducción tipo Inversa



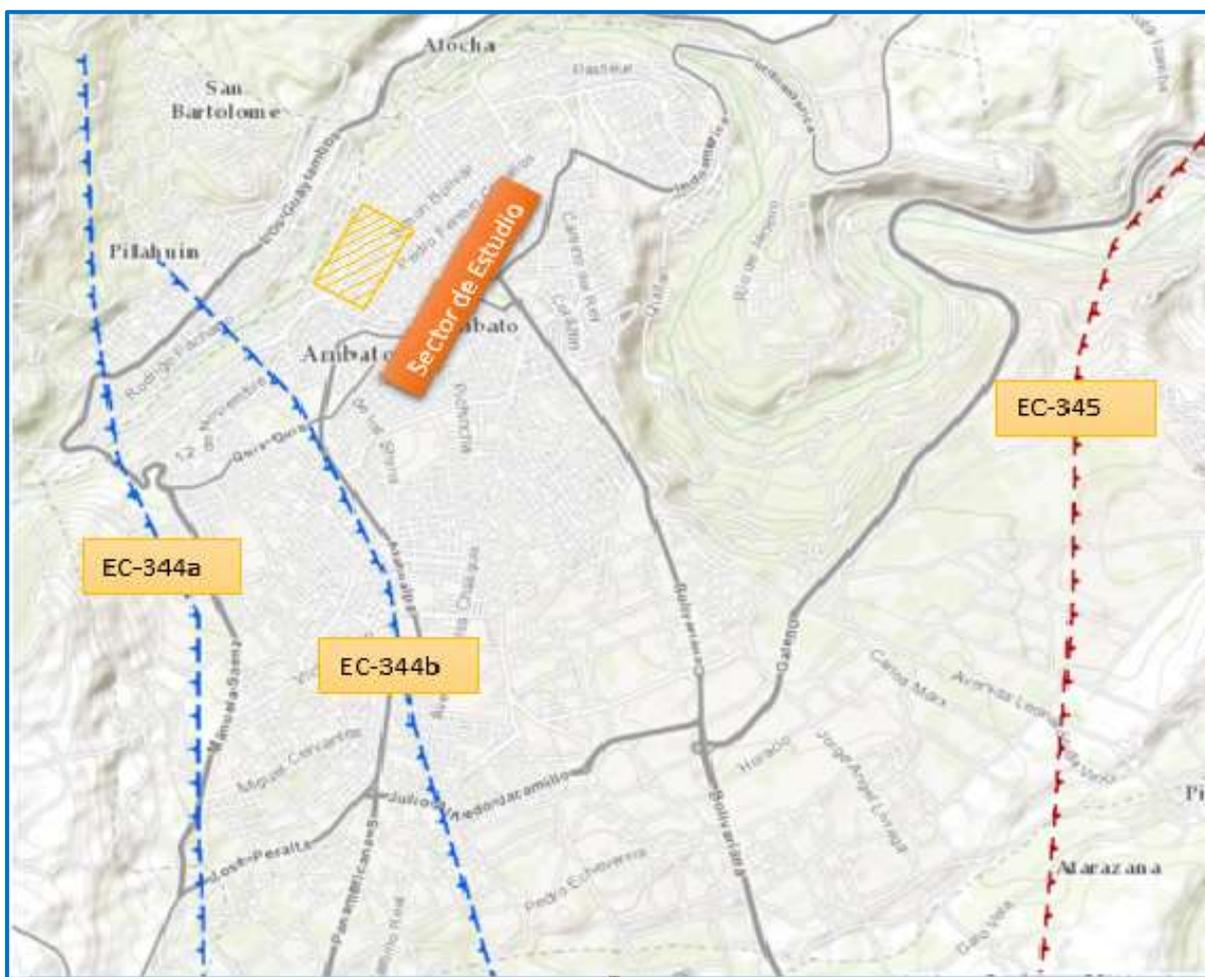
Fuente: IPGNE [30]

Gráfica 15: Fallas Geológicas de Ambato –Falla Totoras



Fuente: IPGNE [30]

Gráfica 16: Fallas Geológicas del Sector en Estudio



Fuente: IPGNE [30]

En la siguiente tabla se presentan las fallas con sus correspondientes distancias desde el punto de estudio y sus nombres.

Tabla 9: Fallas Geológicas y su longitud.

| CODIGO | NOMBRE | TIPO | LONGITUD(KM) | DISTANCIA (Km) |
|--------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| EC-223 | Placa de Nazca | de Subducción | 1536.5 | 305.5 |

| | | | | |
|----------------|---------|--------------------------------|------|------|
| EC-344a | Huachi | Inversa Ciega | 12 | 1.78 |
| EC-344b | Ambato | Inversa Ciega | 16.3 | 1.05 |
| EC-345 | Totoras | Transcurrente Inversa Ciega | 17.7 | 4.45 |
| EC-54 | Samanga | Inversa Ciega | 33 | 7.27 |

Fuente: IPGNE [30]

4.1.3. Características del Suelo

En las tablas que se presenta a continuación se determinan el tipo de suelo y su granulometría de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 10 : Clasificación del Suelo Pozo 1

| TAMIZ # | PESO RETENIDO (gr) | | %RETENI DO | % PASA |
|---------|-----------------------|--|---------------|--------|
| | PRIMER METRO | | | |
| # 10 | 3.40 | | 1.39 | 98.61 |
| #40 | 19.90 | | 8.16 | 91.84 |
| #60 | 21.80 | | 8.93 | 91.07 |
| #100 | 44.50 | | 18.24 | 81.76 |
| # 200 | 71.10 | | 29.14 | 70.86 |
| Fuente | 83.30 | | 34.14 | |
| Total | 244 | | 100 | |
| | PRIMER METRO Y MEDIO | | | |
| # 10 | 8.70 | | 2.15 | 97.85 |

| | | | | |
|------------------------------|--------|--|-------|-------|
| #40 | 49.30 | | 12.21 | 87.79 |
| #60 | 40.20 | | 9.95 | 90.05 |
| #100 | 58.20 | | 14.41 | 85.59 |
| # 200 | 123.60 | | 30.60 | 69.40 |
| Fuente | 123.90 | | 30.68 | |
| Total | 403.90 | | 100 | |
| SEGUNDO METRO | | | | |
| # 10 | 19.00 | | 3.45 | 96.55 |
| #40 | 177.20 | | 32.20 | 67.80 |
| #60 | 49.20 | | 8.94 | 91.06 |
| #100 | 50.60 | | 9.20 | 90.80 |
| # 200 | 76.20 | | 13.85 | 86.15 |
| Fuente | 178.10 | | 32.36 | |
| Total | 550.30 | | 100 | |
| SEGUNDO METRO Y MEDIO | | | | |
| # 10 | 49.90 | | 11.18 | 88.82 |
| #40 | 144.40 | | 32.36 | 67.64 |
| #60 | 74.10 | | 16.61 | 83.39 |
| #100 | 47.50 | | 10.65 | 89.35 |
| # 200 | 45.00 | | 10.09 | 89.91 |
| Fuente | 85.30 | | 19.11 | |
| Total | 446.20 | | 100 | |
| SEGUNDO METRO SETENTA | | | | |

| | | | | |
|--------|--------|--|-------|-------|
| # 10 | 51.40 | | 21.55 | 78.45 |
| #40 | 48.90 | | 20.50 | 79.50 |
| #60 | 49.00 | | 20.55 | 79.45 |
| #100 | 36.90 | | 15.47 | 84.53 |
| # 200 | 21.60 | | 9.06 | 90.94 |
| Fuente | 30.70 | | 12.87 | 87.13 |
| Total | 238.50 | | 100 | |

Elaboración: Verónica Rosero

De la tabla 9 presentada anteriormente se determina que en cada 50 centímetros calculados más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4; por lo tanto, el tipo de suelo es arena.

Tabla 11: Clasificación del Suelo Pozo 2

| TAMIZ # | PESO RETENIDO (gr) | %RETENIDO | % PASA |
|-----------------------------|--------------------|-----------|--------|
| PRIMER METRO | | | |
| # 10 | 16.90 | 3.97 | 96.03 |
| #40 | 73.00 | 17.16 | 82.84 |
| #60 | 47.50 | 11.16 | 88.84 |
| #100 | 64.80 | 15.23 | 84.77 |
| # 200 | 89.30 | 20.99 | 79.01 |
| Fuente | 134 | 31.49 | |
| Total | 425.50 | 100 | |
| PRIMER METRO Y MEDIO | | | |
| # 10 | 176.6 | 27.93 | 72.07 |

| | | | |
|----------------------|--------|-------|-------|
| #40 | 180.9 | 28.61 | 71.39 |
| #60 | 76.1 | 12.04 | 87.96 |
| #100 | 61.00 | 9.65 | 90.35 |
| # 200 | 58.8 | 9.30 | 90.70 |
| Fuente | 78.8 | 12.47 | |
| Total | 632.2 | 100 | |
| SEGUNDO METRO | | | |
| # 10 | 260.10 | 55.32 | 44.68 |
| #40 | 107.40 | 22.84 | 77.16 |
| #60 | 28.30 | 6.02 | 93.98 |
| #100 | 23.50 | 5.00 | 95.00 |
| # 200 | 20.70 | 4.40 | 95.60 |
| Fuente | 30.20 | 6.42 | |
| Total | 470.20 | 100 | |

Elaboración: Verónica Rosero

De la tabla 10 presentada anteriormente se determina que en cada 50 centímetros calculados más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4; por lo tanto, el tipo de suelo es arena.

Tabla 12: Clasificación del Suelo Pozo 3

| TAMIZ # | PESO RETENIDO (gr) | %RETENIDO | % PASA |
|-----------------------------|--------------------|-----------|--------|
| PRIMER METRO | | | |
| # 10 | 14.00 | 2.69 | 97.31 |
| #40 | 72.60 | 13.93 | 86.07 |
| #60 | 61.10 | 11.73 | 88.27 |
| #100 | 76.70 | 14.72 | 85.28 |
| # 200 | 113.90 | 21.86 | 78.14 |
| Fuente | 182.70 | 35.07 | |
| Total | 521.00 | 100 | |
| PRIMER METRO Y MEDIO | | | |
| # 10 | 39.00 | 9.84 | 90.16 |
| #40 | 80.90 | 20.41 | 79.59 |
| #60 | 42.20 | 10.65 | 89.35 |
| #100 | 50.30 | 12.69 | 87.31 |
| # 200 | 67.90 | 17.13 | 82.87 |
| Fuente | 116.10 | 29.29 | |
| Total | 396.40 | 100 | |
| SEGUNDO METRO | | | |
| # 10 | 5.30 | 1.96 | 98.04 |
| #40 | 33.30 | 12.33 | 87.67 |
| #60 | 27.30 | 10.11 | 89.89 |
| #100 | 37.60 | 13.92 | 86.08 |
| # 200 | 59.30 | 21.95 | 78.05 |

| | | | |
|--------|--------|-------|--|
| Fuente | 107.60 | 39.84 | |
| Total | 270.10 | 100 | |

Elaboración: Verónica Rosero

De la tabla 11 presentada anteriormente se determina que en cada 50 centímetros calculados más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4; por lo tanto, el tipo de suelo es arena.

Tabla 13: Clasificación del Suelo Pozo 4

| TAMIZ # | PESO RETENIDO (gr) | %RETENIDO | % PASA |
|-----------------------------|--------------------|-----------|--------|
| PRIMER METRO | | | |
| # 10 | 19.80 | 6.85 | 93.15 |
| #40 | 41.60 | 14.39 | 85.61 |
| #60 | 78.30 | 27.08 | 72.92 |
| #100 | 39.10 | 13.52 | 86.48 |
| # 200 | 66.80 | 23.11 | 76.89 |
| Fuente | 43.50 | 15.05 | |
| Total | 289.10 | 100 | |
| PRIMER METRO Y MEDIO | | | |
| # 10 | 57.60 | 13.29 | 86.71 |
| #40 | 88.10 | 20.33 | 79.67 |
| #60 | 104.20 | 24.05 | 75.95 |
| #100 | 42.40 | 9.79 | 90.21 |
| # 200 | 77.90 | 17.98 | 82.02 |
| Fuente | 63.10 | 14.56 | |

| | | | |
|---------------------------------------|--------|-------|-------|
| Total | 433.30 | 100 | |
| SEGUNDO METRO | | | |
| # 10 | 95.20 | 23.11 | 76.89 |
| #40 | 109.30 | 26.54 | 73.46 |
| #60 | 38.70 | 9.40 | 90.60 |
| #100 | 29.80 | 7.23 | 92.77 |
| # 200 | 62.40 | 15.15 | 84.85 |
| Fuente | 76.50 | 18.57 | |
| Total | 411.90 | 100 | |
| SEGUNDO METRO y 35 CENTIMETROS | | | |
| # 10 | 26.90 | 7.01 | 92.99 |
| #40 | 59.80 | 15.57 | 84.43 |
| #60 | 101.70 | 26.48 | 73.52 |
| #100 | 42.80 | 11.15 | 88.85 |
| # 200 | 80.10 | 20.86 | 79.14 |
| Fuente | 72.70 | 18.93 | |
| Total | 384.00 | 100 | |

Elaboración: Verónica Rosero

De la tabla 12 presentada anteriormente se determina que en cada 50 centímetros calculados más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4; por lo tanto, el tipo de suelo es arena.

Tabla 14: Clasificación del Suelo Pozo 5

| TAMIZ # | PESO RETENIDO (gr) | %RETENIDO | % PASA |
|-----------------------------|--------------------|-----------|--------|
| PRIMER METRO | | | |
| # 10 | 18.20 | 4.55 | 95.45 |
| #40 | 98.30 | 24.56 | 75.44 |
| #60 | 63.50 | 15.86 | 84.14 |
| #100 | 42.70 | 10.67 | 89.33 |
| # 200 | 100.90 | 25.21 | 74.79 |
| Fuente | 76.70 | 19.15 | |
| Total | 400.30 | 100 | |
| PRIMER METRO Y MEDIO | | | |
| # 10 | 197.30 | 39.22 | 60.78 |
| #40 | 83.90 | 16.68 | 83.32 |
| #60 | 59.60 | 11.85 | 88.15 |
| #100 | 41.20 | 8.19 | 91.81 |
| # 200 | 67.80 | 13.48 | 86.52 |
| Fuente | 53.30 | 10.58 | |
| Total | 503.10 | 100 | |
| SEGUNDO METRO | | | |
| # 10 | 79.70 | 18.33 | 81.67 |
| #40 | 103.80 | 23.87 | 76.13 |
| #60 | 50.30 | 11.57 | 88.43 |
| #100 | 63.50 | 14.60 | 85.40 |
| # 200 | 54.60 | 12.56 | 87.44 |

| | | | |
|--------|--------|-------|--|
| Fuente | 82.90 | 19.07 | |
| Total | 434.80 | 100 | |

Elaboración: Verónica Rosero

De la tabla 13 presentada anteriormente se determina que en cada 50 centímetros calculados más del 50% es retenido en el tamiz N°200 que es suelo grueso, y más del 50% pasa el tamiz N°4; por lo tanto, el tipo de suelo es arena.

4.1.4. Ensayo de Penetración Estándar

Se desprecia los valores del primer metro debido a cimentación

Tabla 15: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 1

| Profundidad (m) | NSPT (parcial) | NSPT (promedio) | Tipo de Perfil |
|-----------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| 0.55 | Limpieza | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | |
| 0.70 | 6 | | |
| 0.85 | 7 | | |
| 1.00 | 8 | | |
| 1.05 | Limpieza | 17 | D |
| 1.20 | 5 | | |
| 1.35 | 8 | | |
| 1.50 | 9 | | |
| 1.55 | Limpieza | 18 | D |
| 1.70 | 7 | | |
| 1.85 | 8 | | |

| | | | |
|------|----------|--------|--------|
| 2.00 | 10 | | |
| 2.05 | Limpieza | 61 | C |
| 2.20 | 15 | | |
| 2.35 | 21 | | |
| 2.50 | 40 | | |
| 2.55 | Limpieza | Rebote | Rebote |
| 2.70 | Rebote | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 16: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 2

| Profundidad (m) | NSPT (parcial) | NSPT (promedio) | Tipo de Perfil |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| 0.55 | Limpieza | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | |
| 0.70 | 13 | | |
| 0.85 | 18 | | |
| 1.00 | 14 | | |
| 1.05 | Limpieza | 62 | C |
| 1.20 | 16 | | |
| 1.35 | 26 | | |
| 1.50 | 36 | | |
| 1.55 | Limpieza | Rebote | Rebote |
| 1.70 | 45 | | |
| 1.85 | Rebote | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 17: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 3

| Profundidad (m) | NSPT (parcial) | NSPT (total) | Tipo de Perfil |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| 0.55 | Limpieza | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | |
| 0.70 | 6 | | |
| 0.85 | 8 | | |
| 1.00 | 13 | | |
| 1.05 | Limpieza | 55 | C |
| 1.20 | 30 | | |
| 1.35 | 30 | | |
| 1.50 | 25 | | |
| 1.55 | Limpieza | 46 | D |
| 1.70 | 38 | | |
| 1.85 | 46 | | |
| 2.00 | Rebote | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 18: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 4

| Profundidad (m) | NSPT (parcial) | NSPT (total) | Tipo de Perfil |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| 0.55 | Limpieza | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | |
| 0.70 | 8 | | |
| 0.85 | 7 | | |
| 1.00 | 10 | | |

| | | | |
|------|----------|--------|--------|
| 1.05 | Limpieza | 47 | D |
| 1.20 | 13 | | |
| 1.35 | 18 | | |
| 1.50 | 29 | | |
| 1.55 | Limpieza | 69 | C |
| 1.70 | 22 | | |
| 1.85 | 31 | | |
| 2.00 | 38 | | |
| 2.05 | Limpieza | Rebote | Rebote |
| 2.20 | 41 | | |
| 2.35 | Rebote | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 19: Ensayo de Penetración Estándar – Pozo 5

| Profundidad (m) | NSPT (parcial) | NSPT (total) | Tipo de Perfil |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| 0.55 | Limpieza | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | |
| 0.70 | 7 | | |
| 0.85 | 10 | | |
| 1.00 | 15 | | |
| 1.05 | Limpieza | 50 | D |
| 1.20 | 12 | | |
| 1.35 | 19 | | |
| 1.50 | 31 | | |

| | | | |
|------|----------|---------|---------|
| 1.55 | Limpieza | 42 | D |
| 1.70 | 35 | | |
| 1.85 | 42 | | |
| 2.00 | Rechazo | Rechazo | Rechazo |

Elaboración: Verónica Rosero

4.1.5. Cálculo de la Velocidad media de la onda de cortante Vs30

Al resolver la ecuación $V_s = 100.3N^{0.338}$ (4.23) nos presenta valores fuera de los límites que presenta la NEC-15 ya que el rango es: $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$, dicha ecuación no satisface las necesidades de esta investigación.

Por lo cual después de resolver varias ecuaciones tomaremos una que se ajuste a nuestras necesidades.

Donde N: Número de golpes del ensayo de penetración estándar.

$$V_s = 90.8N^{0.319}$$

Pozo 1 (1.05 – 1.50 m)

$$V_s = 90.8*(17)^{0.319}$$

$$V_s = 224.18 \text{ m/s}$$

Pozo 1 (1.55 – 2.00 m)

$$V_s = 90.8*(18)^{0.319}$$

$$V_s = 228.30 \text{ m/s}$$

Pozo 1 (2.05 – 2.50 m)

$$V_s = 90.8*(61)^{0.319}$$

$$V_s = 336.98 \text{ m/s}$$

A continuación presentaremos un tabla de resumen con los resultados obtenido y de esta manera verificar que se encuentren dentro de los limites presentados en la Norma para el suelo tipo D.

Tabla 20: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (V_{s30}) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 1

| Profundidad (m) | NSPT (Total) | V_{s30} (m/s) | Tipo de Perfil | V_{s30} Promedio (m/s) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| 0.55 | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | | | |
| 0.70 | | | | |
| 0.85 | | | | |
| 1.00 | | | | |
| 1.05 | 17 | 224.18 | D | 263.15 |
| 1.20 | | | | |
| 1.35 | | | | |
| 1.50 | | | | |
| 1.55 | 18 | 228.30 | D | |
| 1.70 | | | | |
| 1.85 | | | | |
| 2.00 | | | | |
| 2.05 | 61 | 336.98 | D | |
| 2.20 | | | | |
| 2.35 | | | | |
| 2.50 | | | | |
| 2.55 | Rebote | Rebote | Rebote | Rebote |
| 2.70 | | | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 21: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (V_{s30}) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 2

| Profundidad (m) | NSPT (Total) | V_{s30} (m/s) | Tipo de Perfil | V_{s30} Promedio (m/s) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| 0.55 | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | | | 338.73 |
| 0.70 | | | | |
| 0.85 | | | | |
| 1.00 | | | | |
| 1.05 | 62 | 338.73 | D | |
| 1.20 | | | | |
| 1.35 | | | | |
| 1.50 | | | | |
| 1.55 | Rebote | Rebote | Rebote | |
| 1.70 | | | | |
| 1.85 | | | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 22: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (V_{s30}) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 3

| Profundidad (m) | NSPT (total) | V_{s30} (m/s) | Tipo de Perfil | V_{s30} Promedio (m/s) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| 0.55 | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | | | |
| 0.70 | | | | |
| 0.85 | | | | |
| 1.00 | | | | |

| | | | | |
|------|----|--------|---|--------|
| 1.05 | 55 | 326.03 | D | 317.00 |
| 1.20 | | | | |
| 1.35 | | | | |
| 1.50 | | | | |
| 1.55 | 46 | 307.97 | D | |
| 1.70 | | | | |
| 1.85 | | | | |
| 2.00 | | | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 23: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (V_{s30}) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 4

| Profundidad (m) | NSPT (total) | V_{s30} (m/s) | Tipo de Perfil | V_{s30} Promedio (m/s) |
|-----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| 0.55 | | | | 330.29 |
| 0.70 | | | | |
| 0.85 | | | | |
| 1.00 | | | | |
| 1.05 | 47 | 310.09 | D | |
| 1.20 | | | | |
| 1.35 | | | | |
| 1.50 | | | | |
| 1.55 | 69 | 350.49 | D | |
| 1.70 | | | | |

| | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 1.85 | | | | |
| 2.00 | | | | |
| 2.05 | Rebote | Rebote | Rebote | Rebote |
| 2.20 | | | | |
| 2.35 | | | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 24: Cuadro de resultados de Velocidad media de onda de corte (V_{s30}) calculados y su tipo de perfil respectivamente. Pozo 5

| Profundidad (m) | NSPT (total) | V_{s30} (m/s) | Tipo de Perfil | V_{s30} Promedio (m/s) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| 0.55 | NIVEL MÍNIMO DE CIMENTACIÓN | | | |
| 0.70 | | | | |
| 0.85 | | | | |
| 1.00 | | | | |
| 1.05 | 50 | 316.27 | D | 307.71 |
| 1.20 | | | | |
| 1.35 | | | | |
| 1.50 | | | | |
| 1.55 | 42 | 299.16 | D | |
| 1.70 | | | | |
| 1.85 | | | | |
| 2.00 | Rechazo | Rechazo | Rechazo | |

Elaboración: Verónica Rosero

En la tabla 19 se presenta los valores de V_{S30} obtenidos mediante una ecuación empírica y en la tabla 14 se presenta la clasificación de los suelos donde podemos verificar los límites de V_{S30} para cada perfil de suelo, donde podemos observar que para el perfil tipo D el rango es $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, de manera que hemos confirmado que los valores calculados se encuentran dentro del rango establecido por Norma NEC-15.

Tabla 25: Cuadro de resultados de los promedios de V_{S30}

| POZO | Tipo de Perfil | V_{S30} (m/s) | V_{S30} Promedio (m/s) |
|------|----------------|-----------------|--------------------------|
| 1 | D | 263,15 | 311,38 |
| 2 | D | 338,73 | |
| 3 | D | 317,00 | |
| 4 | D | 330,29 | |
| 5 | D | 307,71 | |

Elaboración: Verónica Rosero

4.2. ANALISIS DE RESULTADOS

4.2.1. Espectros para Fallas Corticales

Para la utilización de las ecuaciones de predicción de movimiento se ha tomado en cuenta que en el régimen cortical los sismos ocurren a profundidades focales $\leq 30\text{km}$.

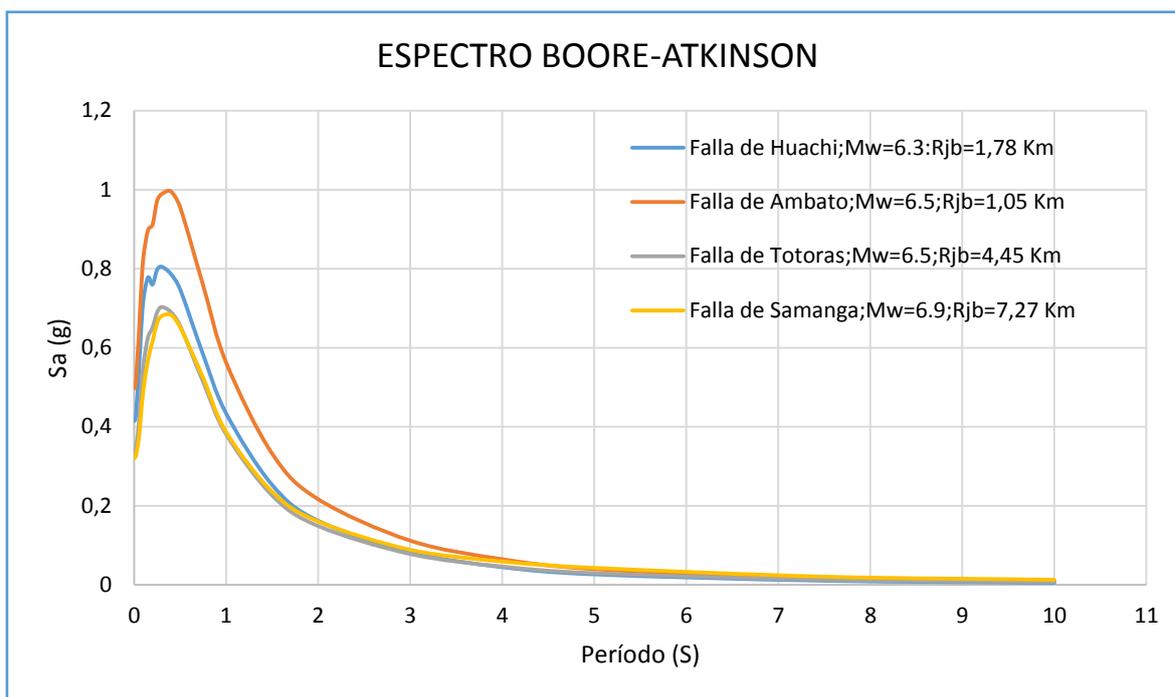
4.2.1.1. Espectro Calculado con el Modelo de Boore y Atkinson

En la siguiente tabla tenemos los datos necesarios para utilizar la ecuación:

Tabla 26: Cuadro de Valores para el Modelo Boore y atkinson

| | | | | | | | |
|----------------------|----|-----|------------|---------|-----------------------------|-------------------|----|
| Falla Huachi | Mw | 6.3 | Rjb | 1.78 Km | V_{S30} | 311.38 m/s | |
| Falla Ambato | Mw | 6.5 | Rjb | 1.05 Km | | | |
| Falla Totoras | Mw | 6.5 | Rjb | 4.45 Km | | | |
| Falla Samanga | Mw | 6.9 | Rjb | 7.27 Km | | | |
| Tipo de Falla | U | | SS | | NS | | RS |
| Inversa | 0 | | 0 | | 0 | | 1 |

Gráfica 17: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008)



Elaboración: Verónica Rosero

En la figura 17 se muestra que todas las fallas tienen un valor máximo de aceleración en un periodo de **0.3 seg**, seguidamente los valores de aceleración para cada falla van decreciendo hasta llegar a un periodo límite de **5.0 seg**. Los valores máximos de aceleración para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga son de **0.82 g, 0.99 g, 0.70 g y 0.68 g** respectivamente, estos valores indican que la falla de Ambato es la que predomina en el modelo de Atkinson y Boore.

El valor de aceleración máxima de la falla Huachi muestra un decremento del **19.79%** en relación con la falla Ambato, la falla Huachi con respecto a la falla Totoras tiene un incremento del **9.49%**, la falla Huachi en comparación a la falla Samanga posee un incremento del **11.46%**, la falla Ambato tiene un aumento del **29.28%** en relación a la falla Totoras, la falla Ambato en relación a la falla Samanga tiene incremento del **31.25%**, y finalmente la aceleración máxima de la falla Totoras respecto a la falla Samanga posee un aumento del **1.97%**.

4.2.1.2. Espectro Calculado con el Modelo de Akkar y Bommer

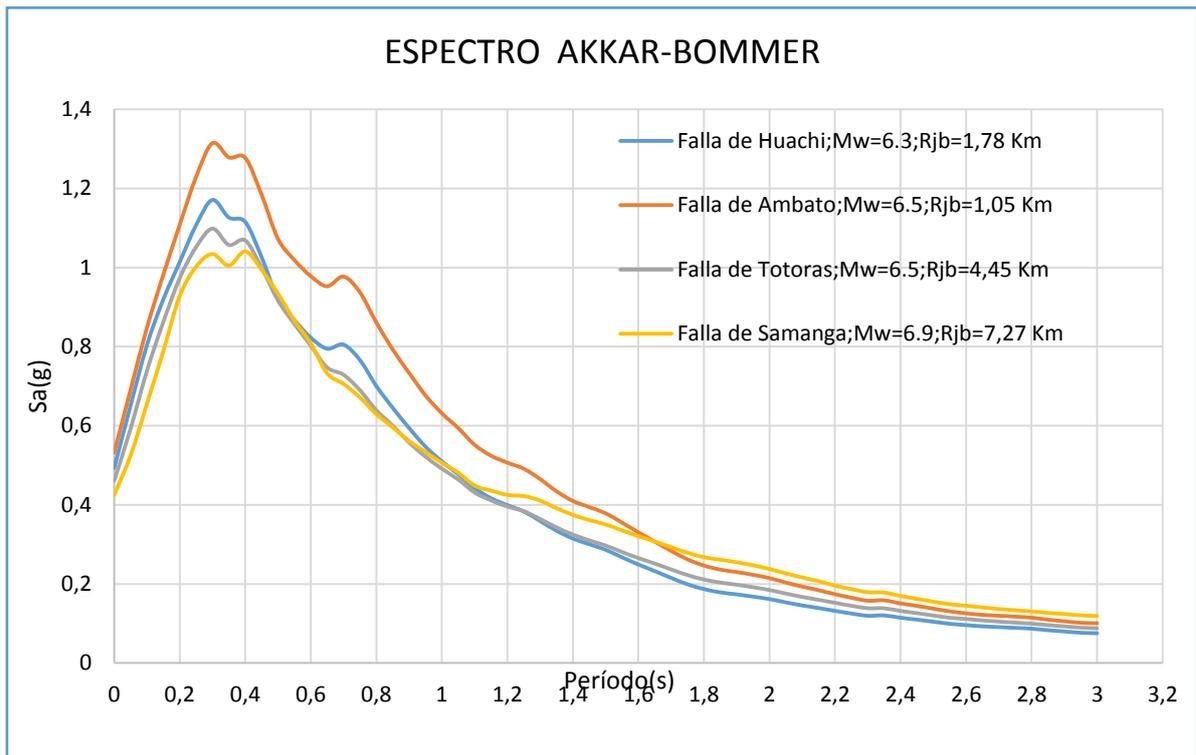
En el siguiente cuadro tenemos los datos necesarios para utilizar la ecuación:

Tabla 27: Cuadro de Valores para el Modelo Akkar-Bommer

| | | | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|-----------------|---------|----------------|-------------------|
| Falla Huachi | Mw | 6.3 | Rjb | 1.78 Km | Vs30 | 311.38 m/s |
| Falla Ambato | Mw | 6.5 | Rjb | 1.05 Km | | |
| Falla Totoras | Mw | 6.5 | Rjb | 4.45 Km | | |
| Falla Samanga | Mw | 6.9 | Rjb | 7.27 Km | | |
| Tipo de Falla | F _N | F _R | Sitios de Suelo | | S _A | S _S |
| Inversa | 0 | 1 | Suelo Blando | | 0 | 1 |

Elaboración: Verónica Rosero

Gráfica 18: Espectros de aceleración modelo Akkar y Bommer (2010)



Elaboración: Verónica Rosero

En la figura 18 se muestra que todas las fallas tienen un valor máximo de aceleración en un periodo de **0.3 seg**, seguidamente los valores de aceleración para cada falla van decreciendo hasta llegar a un periodo límite de **5.0 seg**. Los valores máximos de

aceleración para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga son de **1.17g, 1.28g , 1.10g y 1.03 g** respectivamente, estos valores indican que la falla de Ambato es la que predomina en el modelo de Atkinson y Boore.

El valor de aceleración máxima de la falla Huachi muestra un decremento del **10.75%** en relación con la falla Ambato, la falla Huachi con respecto a la falla Totoras tiene un incremento del **7.25%**, la falla Huachi en comparación a la falla Samanga posee un incremento del **13.70%**, la falla Ambato tiene un aumento del **18.00%** en relación a la falla Totoras, la falla Ambato en relación a la falla Samanga tiene incremento del **24.45%**, y finalmente la aceleración máxima de la falla Totoras respecto a la falla Samanga posee un aumento del **6.45%**.

4.2.1.3. Espectro Calculado con el Modelo de Kanno

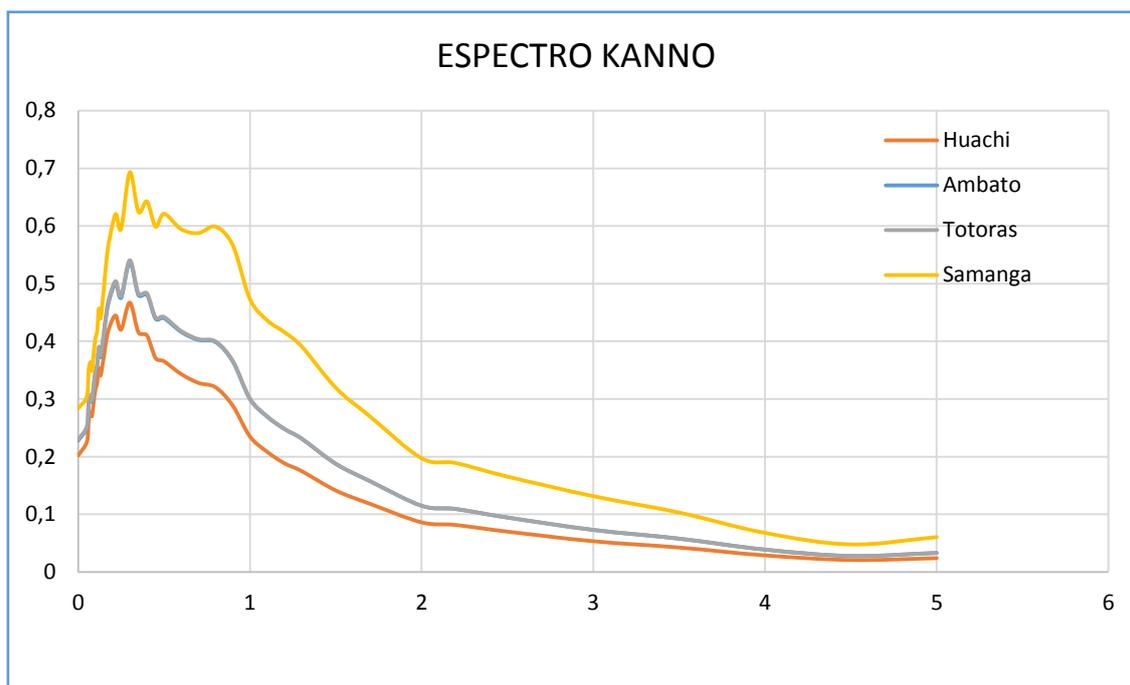
En el siguiente cuadro tenemos los datos necesarios para utilizar la ecuación:

Tabla 28: Cuadro de Valores para el Modelo Kanno

| | | | | | | |
|-----------------------|-------------|-----|----------------|---------|------------------------|-------------------|
| Falla Huachi | Mw | 6.3 | Rjb | 1.78 Km | V_{S30} | 311.38 m/s |
| Falla Ambato | Mw | 6.5 | Rjb | 1.05 Km | | |
| Falla Totoras | Mw | 6.5 | Rjb | 4.45 Km | | |
| Falla Samanga | Mw | 6.9 | Rjb | 7.27 Km | | |
| Tipo de Evento | Superficial | | e ₁ | 0.5 | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Gráfica 19: Espectros de aceleración modelo Kanno (2006)



Elaboración: Verónica Rosero

La figura 19 , muestra que la falla de Ambato tiene un valor máximo de aceleración en un periodo de 0.3 seg, mientras que las fallas de Huachi, Totoras y Samanga tienen aceleraciones máximas en un periodo de 0.20 seg, posterior a esos periodos los valores de aceleración de cada falla van decreciendo hasta un periodo límite de 5.0 seg. Los valores máximos de aceleración para las fallas de Huachi, Ambato, Totoras y Samanga son de **0.47 g, 0.54 g, 0.54 g y 0.69 g** respectivamente. Estos valores demuestran que la falla de Ambato es la que predomina en el modelo de Kanno.

El valor de aceleración máxima de la falla Huachi en relación con la falla Ambato posee un decremento del **7.01%**, la falla Huachi tiene una disminución del **7.35%** respecto a la falla Totoras, la falla Huachi comparada con la falla Samanga tiene un decremento del **22.59%**, la falla Ambato tiene una disminución del **0.34%** en relación a la falla Totoras, la falla Ambato con respecto a la falla Samanga tiene un decremento del **15.58%**, y finalmente la aceleración máxima de la falla Totoras decrementa en un **15.24%** respecto a la falla Samanga.

4.2.2. Espectros para Fallas Subducción

4.2.2.1. Espectro Calculado con el Modelo de Zaho

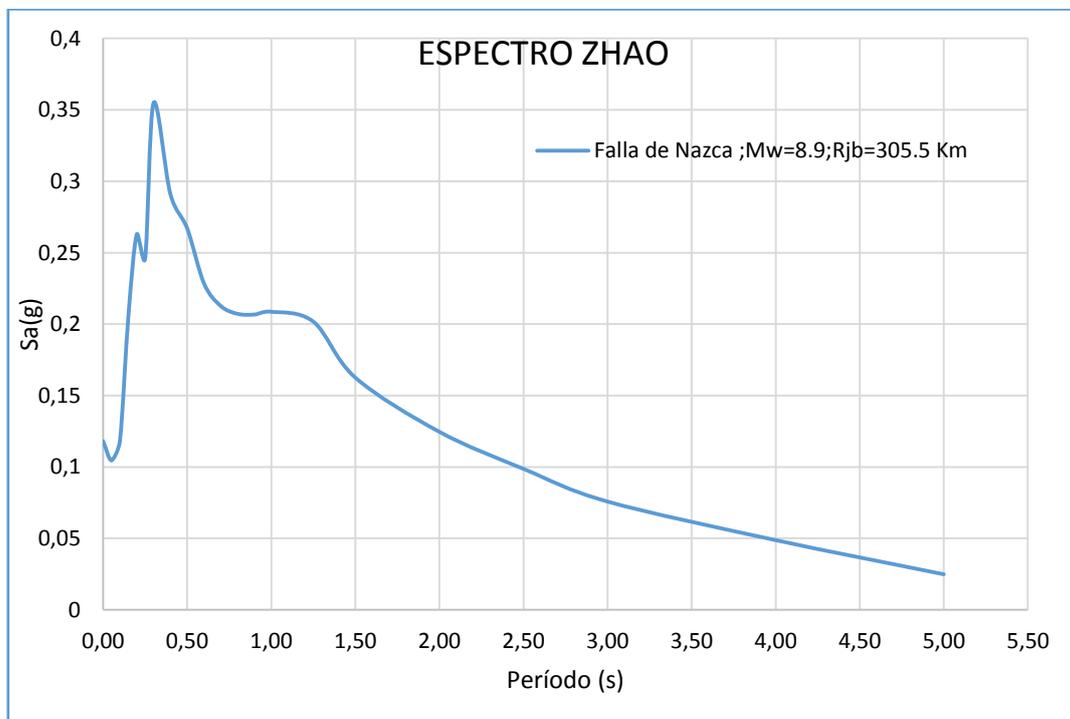
En el siguiente cuadro tenemos los datos necesarios para utilizar la ecuación:

Tabla 29: Cuadro de Valores para el Modelo Zhao

| Mw | 8,9 Km | Tipo Tectónico | | | Tipo de Falla | Vs30 |
|----|----------|--------------------------|----------------|-----------------|----------------|--------------------------|
| X | 305,5 Km | Intraplaca | | | Inversa | 311,38 |
| h | 125 Km | S ₁ | S _s | S _{SL} | F _R | C _K |
| hc | 0 Km | Datos dados en la tabla. | | | 1 | Datos dados en la tabla. |
| δh | 1 Km | | | | | |

Elaboración: Verónica Rosero

Gráfica 20: Espectros de aceleración modelo Zhao(2006)



Elaboración: Verónica Rosero

En la figura 20, se muestra al espectro de la falla de la placa de nazca, donde los valores de aceleración van creciendo significativamente desde el periodo **0.0 seg** hasta un periodo de **0.2 seg** que corresponde a un primer valor pico de aceleración de **0.26 g**, luego la aceleración decrece momentáneamente y vuelve a subir hasta un valor máximo de aceleración de **0.35 g** en un periodo de **0.3 seg**, posteriormente los valores disminuyen drásticamente hasta un periodo de **0.7 seg**, después la aceleración sigue decreciéndose pero de manera más conservadora hasta llegar a un periodo límite de **5.0 seg** con una aceleración de **0.02 g**.

4.2.2.2. Espectro Calculado con el Modelo de Youngs

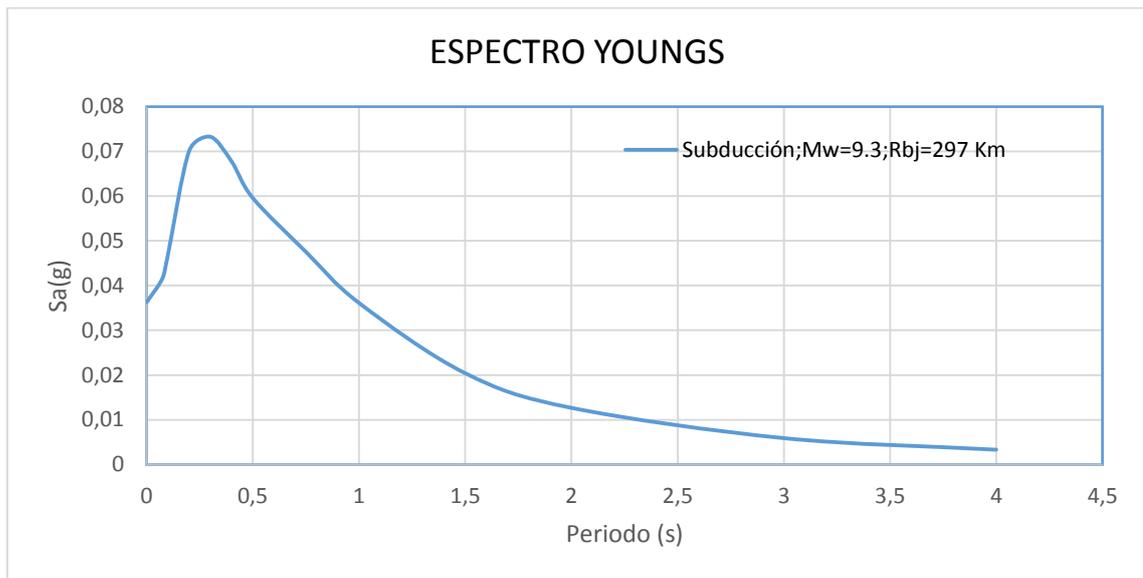
En el siguiente cuadro tenemos los datos necesarios para utilizar la ecuación:

Tabla 30: Cuadro de Valores para el Modelo Youngs

| Mw | Rjb | H | Tipo Tectónico | Z _T |
|-------------|-------|-----|----------------|----------------|
| 6,30 | 305,5 | 125 | Intraplaca | 1 |

Elaboración: Verónica Rosero

Gráfica 21: Espectros de aceleración modelo Youngs (1997)



Elaboración: Verónica Rosero

La figura 21, presenta otro espectro de la falla de Subducción, el cual es diferente al anterior tanto en su forma como en sus valores. En la gráfica se observa que las aceleraciones tienen un aumento drástico durante los periodos iniciales partiendo desde 0.0 seg hasta 0.3 seg, periodo en el cual se tiene el valor máximo de aceleración correspondiente a 0.073 g, seguido del periodo de 0.3 seg los valores de aceleración van decreciendo conforme el periodo va aumentando hasta llegar a un periodo límite de 4.0 seg con una aceleración de 0.003 g.

4.2.2.3. Espectro Calculado con el Modelo de Akkar y Bommer

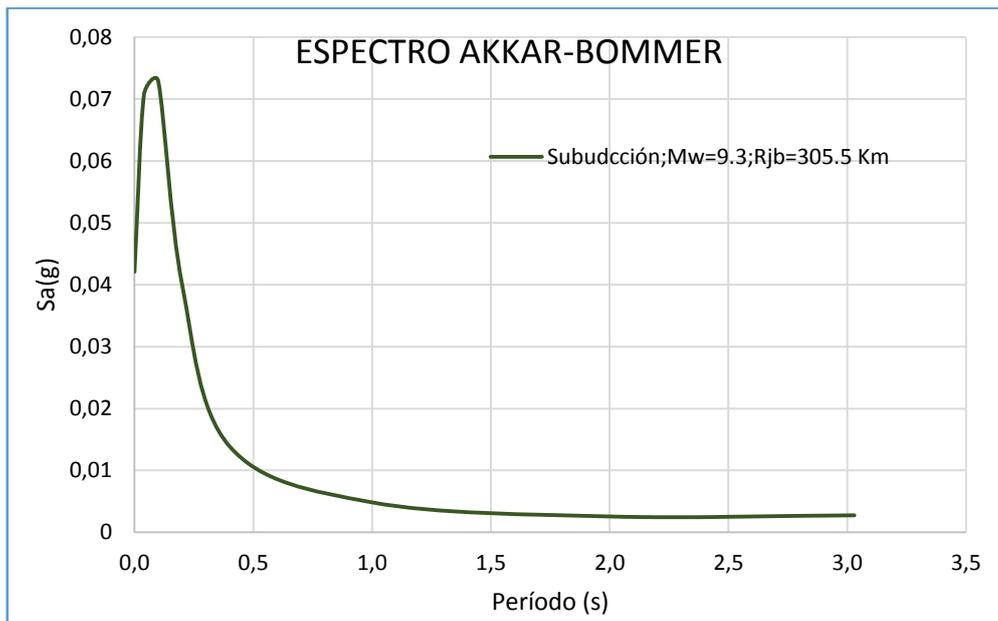
En el siguiente cuadro tenemos los datos necesarios para utilizar la ecuación:

Tabla 31: Cuadro de Valores para el Modelo Akkar-Bommer

| Mw | h | Rjb | V _{s30} | Tipo de Evento |
|-----|-----|-------|------------------|----------------|
| 6.3 | 125 | 305.5 | 311.38 | Intraplaca |

Elaboración: Verónica Rosero

Gráfica 22: Espectros de aceleración modelo Akkar-Bommer



Elaboración: Verónica Rosero

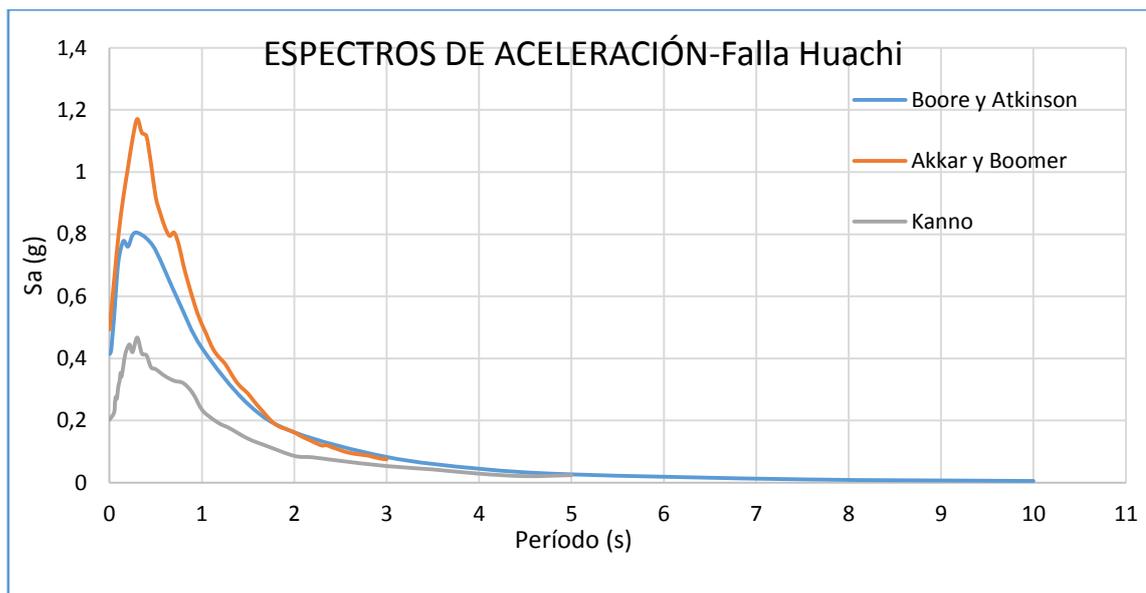
La figura 22, presenta otro espectro de la falla de Subducción, el cual es diferente al anterior tanto en su forma como en sus valores. En la gráfica se observa que las aceleraciones tienen un aumento drástico durante los periodos iniciales partiendo desde 0.0 seg hasta 0.3 seg, periodo en el cual se tiene el valor máximo de aceleración correspondiente a 0.073 g, seguido del periodo de 0.1 seg los valores de aceleración van decreciendo conforme el periodo va aumentando hasta llegar a un periodo límite de 3.0 seg con una aceleración de 0.002 g.

4.2.3. Espectro con modelos para una Falla

Falla Huachi

La Falla de Huachi está situada a una distancia de 1.78 km con respecto al área de estudio.

Gráfica 23: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Huachi



Elaboración: Verónica Rosero

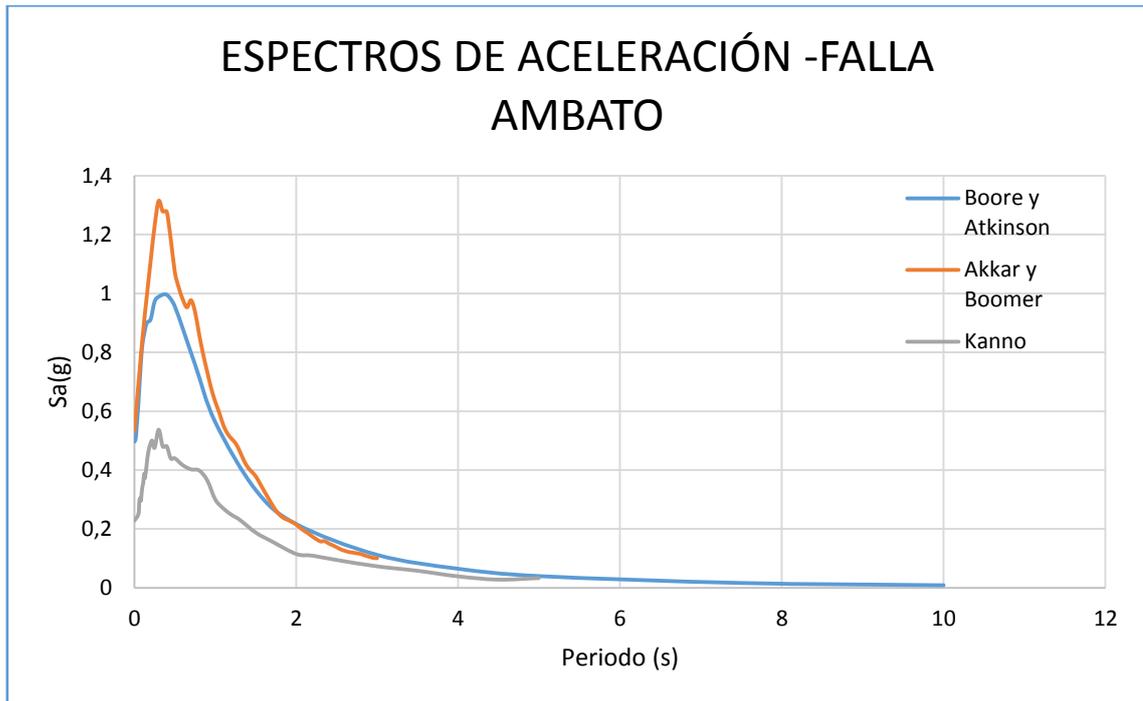
La figura 23, presenta al modelo de Atkinson-Boore el cual tiene una aceleración máxima de 0.82 g en un periodo de 0.3 s, al modelo de Akkar-Bommer que posee un Sa máximo de 1.17 g en un periodo de 0.3 s y finalmente al modelo de Kanno el mismo que dispone de un valor máximo de aceleración de 0.46 g en el periodo de 0.2 s.

El valor de Sa máximo del modelo de Akkar y Boomer presenta un aumento del 71.00% en relación al modelo de Kanno y un incremento del 35.00% en relación al modelo de Atkinson-Boore, finalmente el modelo de Kanno tiene un decrecimiento del 36.00% frente al valor de Sa máximo del modelo de Boore- Atkinson.

Falla Ambato

La Falla de Ambato está situada a una distancia de 1.05 km con respecto al área de estudio.

Gráfica 24: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Ambato



Elaboración: Verónica Rosero

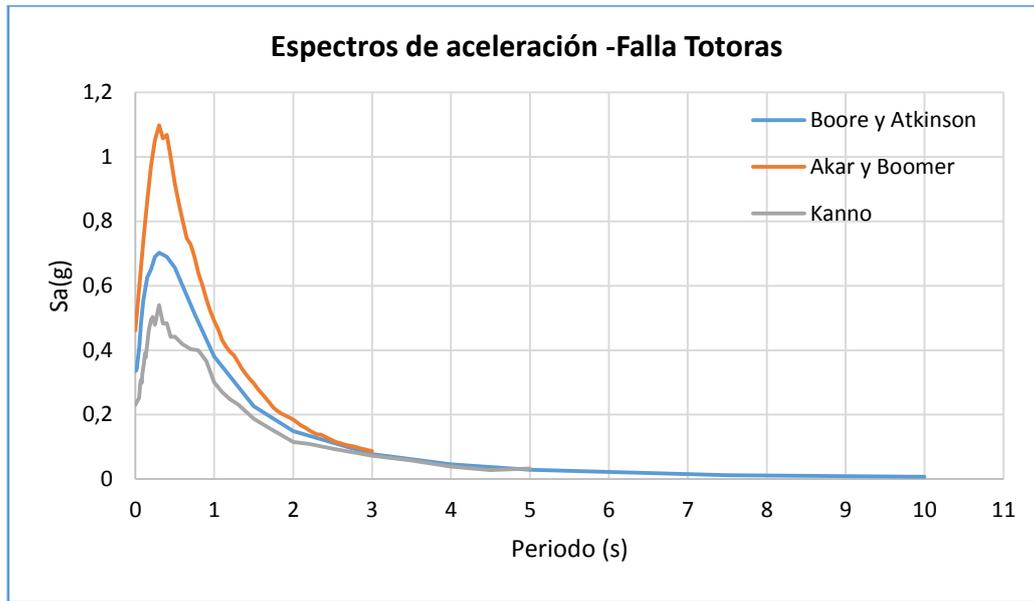
La figura 24, muestra al modelo de Atkinson-Boore con un S_a máximo de 0.99 g, al modelo de Akkar-Bommer el cual posee un valor máximo de aceleración de 1.28 g y al modelo de Kanno que tiene un valor de S_a máximo de 0.54 g, los 3 espectros manifiestan su aceleración máxima en el periodo de 0.3 s.

El modelo de Akkar-Bommer manifiesta un incremento en su aceleración máxima del 29.00% con respecto al modelo de Atkinson-Boore y un aumento del 74.00% en relación al modelo de Kanno, mientras que, el modelo de Kanno muestra un decremento del 45.00% en su S_a máxima en comparación con el modelo de Atkinson-Boore.

Falla Totoras

La Falla de Totoras está situada a una distancia de 4.45 km con respecto al área de estudio.

Gráfica 25: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Totoras



Elaboración: Verónica Rosero

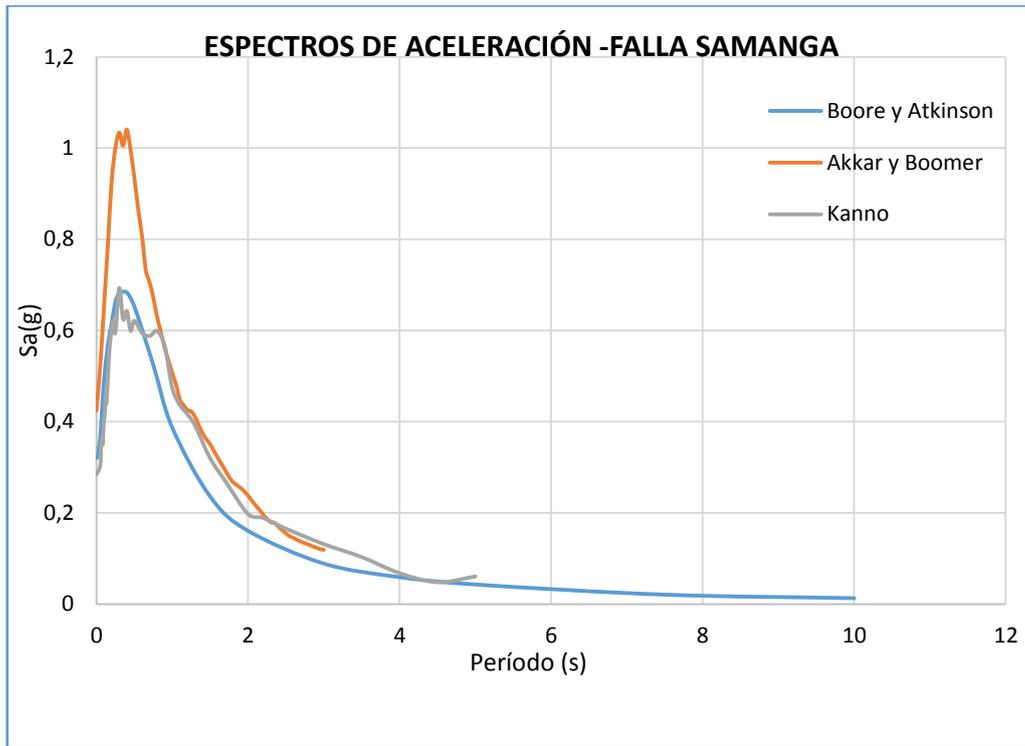
La figura 25, presenta al modelo de Atkinson-Boore que tiene un valor máximo de aceleración de 0.70 g en un periodo de 0.3 s, al modelo de Akkar-Bommer el cual posee un Sa máximo de 1.10 g en un periodo de 0.3 s y al modelo de Kanno con un valor de aceleración máximo de 0.54 g en un periodo de 0.25 s.

El Sa máximo del modelo de Atkinson-Boore expresa un decremento del 40.00% en relación al valor del modelo de Akkar-Bommer, mientras que, el modelo de Kanno frente al modelo de Atkinson-Boore muestra un decremento del 16.00%, finalmente el modelo de Akkar-Bommer en comparación con el modelo de Kanno tiene un incremento del 56.00% entre sus aceleraciones máximas.

Falla Samanga

La Falla de Samanga está situada a una distancia de 7.27 km con respecto al área de estudio.

Gráfica 26: Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson (2008) - Akkar y Boomer (2010) - Kanno (2006) para la Falla Samanga



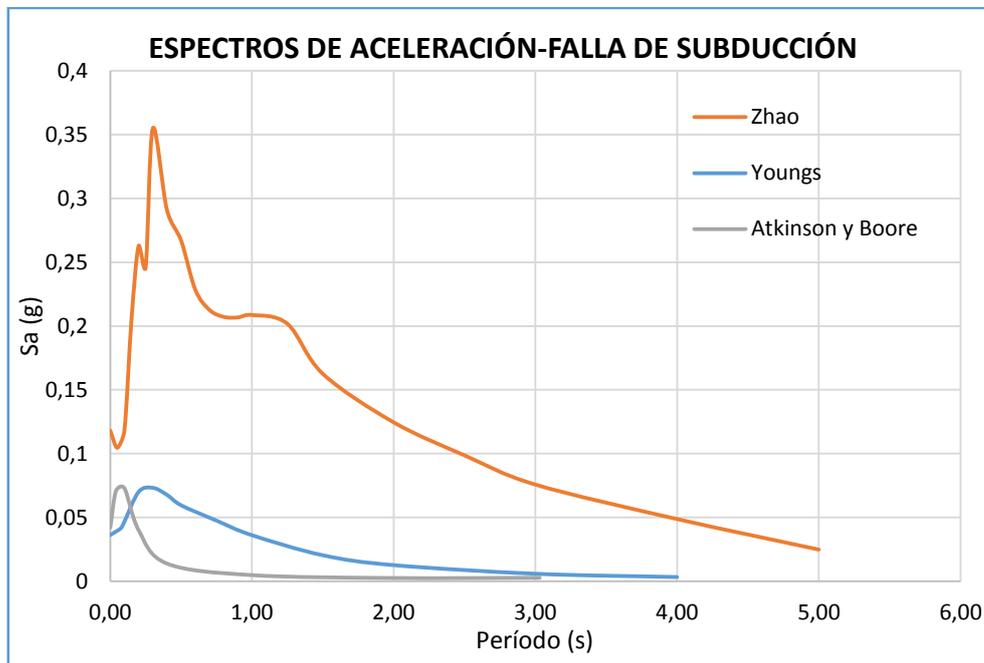
Elaboración: Verónica Rosero

La figura 26 ,muestra al modelo de Kanno el cual posee un Sa máximo de 0.69 g en el periodo 0.3 s, al modelo de Akkar-Bommer que tiene un valor máximo de aceleración de 1.04 g en un periodo de 0.4 s, y al modelo de Atkinson-Boore el cual tiene una aceleración máxima de 0.68 g en el periodo de 0.4 s.

El modelo de Akkar-Bommer tiene un decremento del 36.00% en su aceleración máxima con respecto al modelo de Atkinson-Boore y un incremento del 35.00% frente al modelo de Kanno, y por último el modelo de Kanno presenta un incremento del Sa máximo del 1.00% en relación con el modelo de Atkinson-Boore.

Falla de Subducción

*Gráfica 27: Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006)- de Atkinson-Boore
Falla de Subducción*



Elaboración: Verónica Rosero

La figura 27 , presenta 3 modelos de espectros; Zhao que tiene un valor de aceleración máximo de 0.35 g, Youngs el cual tiene un Sa máximo de 0.073 g, estas 2 aceleraciones se manifiestan en un periodo de 0.3 s, y finalmente Atkinson-Boore que posee una aceleración máxima de 0.073 g en el periodo de 0.1 s.

Zhao y Youngs presentan una variación del 28.2% entre sus aceleraciones máximas, en cambio Atkinson-Boore muestra un decremento del 28.2% con respecto a Zhao y también un decremento del 0.1% en relación a Youngs.

A continuación, se presenta un cuadro que resume las aceleraciones máximas y las variaciones porcentuales de cada modelo para cada una de las fallas:

Tabla 32: Valores de las aceleraciones máximas para cada falla y porcentajes de las diferencias de aceleración entre los modelos.

| FALLA HUACHI | | | | |
|----------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-----|
| Modelo | Aceleración Máx. | Período T | Variación % de la Aceleración | |
| Atkinson-Boore | 0.82 | 0.3 | Akkar y Boomer - Kanno | 71% |
| Akkar y Bommer | 1.17 | 0.3 | Akkar y Boomer- Atkinson-Boore | 35% |
| Kanno | 0.46 | 0.2 | Kanno-Boore- Atkinson | 36% |
| FALLA AMBATO | | | | |
| Modelo | Aceleración Máx. | Período T | Variación % de la Aceleración | |
| Atkinson-Boore | 0.99 | 0.3 | Akkar Bommer- Atkinson Boore | 29% |
| Akkar y Bommer | 1.28 | 0.3 | Akkar-Bommer - Kanno | 74% |
| Kanno | 0.54 | 0.3 | Kanno Atkinson-Boore | 45% |
| FALLA TOTORAS | | | | |
| Modelo | Aceleración Máx. | Período T | Variación % de la Aceleración | |
| Atkinson-Boore | 0.70 | 0.3 | Atkinson Boore -Akkar Bommer | 40% |
| Akkar y Bommer | 1.10 | 0.3 | Kanno-Atkinson-Boore | 16% |
| Kanno | 0.54 | 0.25 | Akkar-Bommer - Kanno | 56% |
| FALLA SAMANGA | | | | |
| Modelo | Aceleración Máx. | Período T | Variación % de la Aceleración | |

| | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------------|-------|
| Atkinson-Boore | 0.68 | 0.4 | Akkar Bommer- Atkinson Boore | 36% |
| Akkar y Bommer | 1.04 | 0.4 | Akkar-Bommer-Kanno | 35% |
| Kanno | 0.69 | 0.3 | Kanno-Atkinson-Boore | 1% |
| FALLA SUBDUCCIÓN | | | | |
| Modelo | Aceleración Máx. | Período T | Variación % de la Aceleración | |
| Zhao | 0.35 | 0.3 | Zhao -Youngs | 27.7% |
| Youngs | 0.073 | 0.3 | Atkinson-Boore -Zhao | 27.7% |
| Akkar y Bommer | 0.073 | 0.3 | Atkinson-Boore- Youngs | 0.1% |

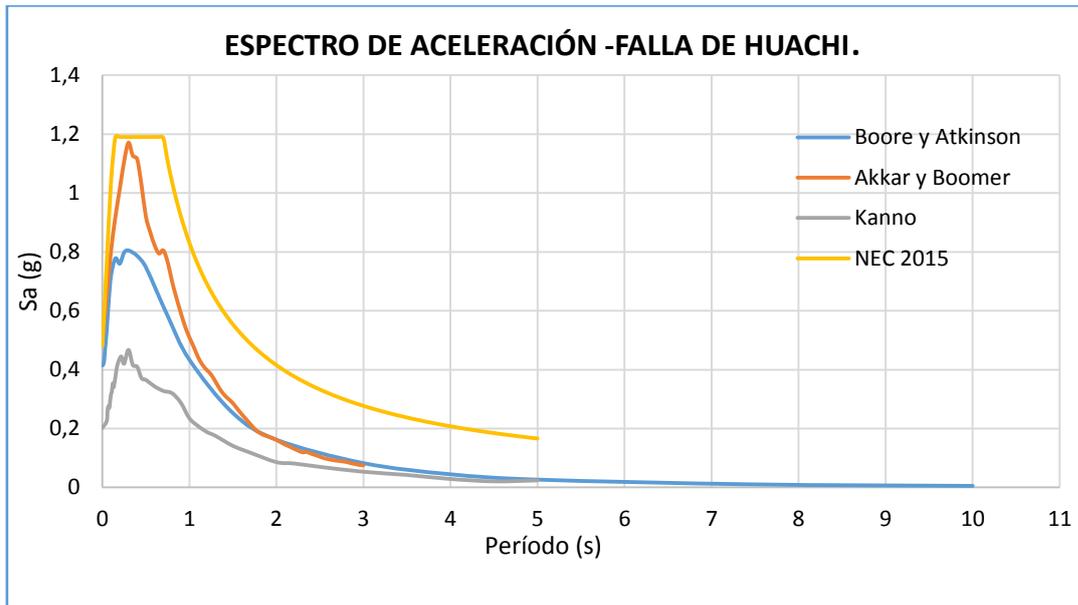
Elaboración: Verónica Rosero

La tabla 31, muestra que 11 de las 15 aceleraciones máximas ocurrieron en un periodo de 0.3 s que corresponde a un 73.33%, 2 de las 15 Sa máximas se presentaron en un periodo de 0.2 s lo que se traduce en un 13.33%, y finalmente solo 2 de las 15 Sa máximas se manifestó en el periodo de 0.4 s, es decir, un 13.33%.

4.2.4. Comparación de los Espectros Obtenidos con el de la Nec-15

Falla Huachi

Gráfica 28: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson ,Akkar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Huachi.



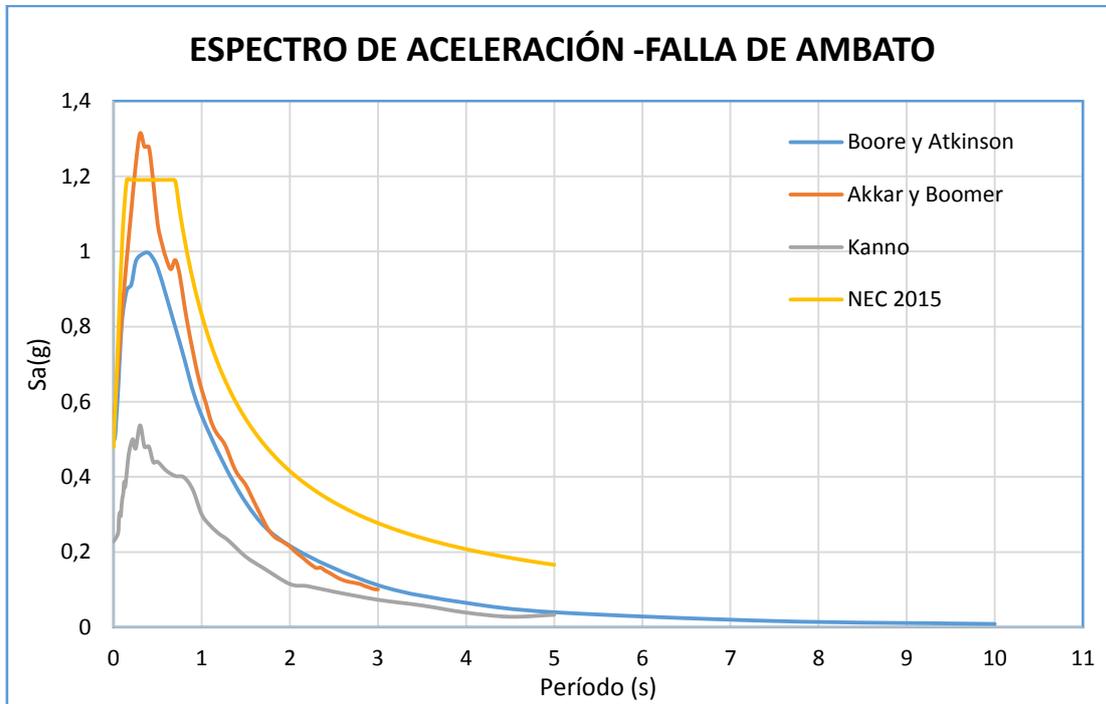
Elaboración: Verónica Rosero

La figura 28, muestra que los espectros de Atkinson-Boore , Akkar-Bommer y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores de aceleración del espectro de la NEC-15.

El espectro de la NEC-15 tiene un valor máximo de aceleración de 1.19g durante un periodo de 0.0 s a 0.6 s, este valor supera al obtenido con el modelo de Atkinson-Boore (0.82 g) en un 38.00% y también supera al valor máximo conseguido con el modelo de Akkar-Bommer (1.17 g) en un 2.00%, en cambio el modelo de Kanno va por debajo del modelo de la NEC-15 donde la aceleración pico del modelo de Kanno (0.46 g) es menor en un 73.00%.

Falla Ambato

Gráfica 29: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Ambato.



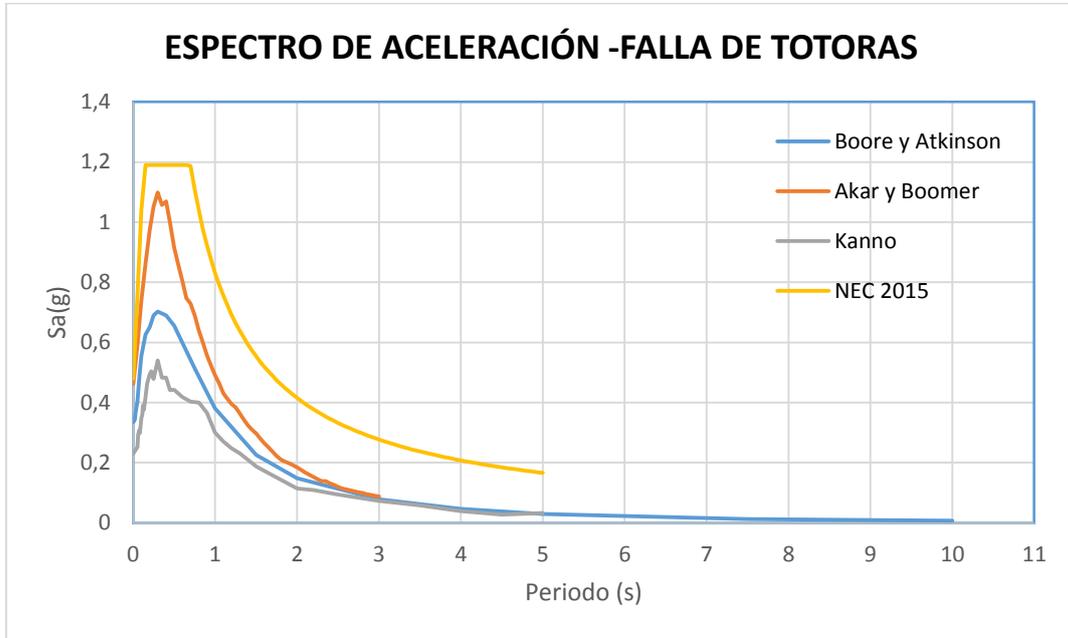
Elaboración: Verónica Rosero

En la figura 29, se observa que el espectro de Atkinson-Boore y Kanno están totalmente dentro del rango de los valores de S_a del espectro de la NEC-15, mientras que el modelo de Akkar-Bommer lo sobrepasa durante breves intervalos de período, pero luego vuelve a estar dentro del rango.

Durante un período de 0,0 s a 0,6 s el espectro de la NEC-15 posee un S_a máximo de 1,19 g, este valor supera al obtenido con el modelo de Atkinson-Boore (0,99 g) en un 20,00%, por otro lado el espectro de Akkar-Bommer supera al de la NEC-15 durante un período de 0,25 s a 0,40 s en donde la aceleración máxima del modelo de Akkar-Bommer (1,28 g) es mayor en un 9,00%, y por último el espectro de Kanno está por debajo de la NEC-15 en un período de 0,2 s a 0,3 s, donde la aceleración máxima del espectro de Kanno (0,54 g) es menor en un 65,00%.

Falla Totoras

Gráfica 30: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson ,Akar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Totoras.



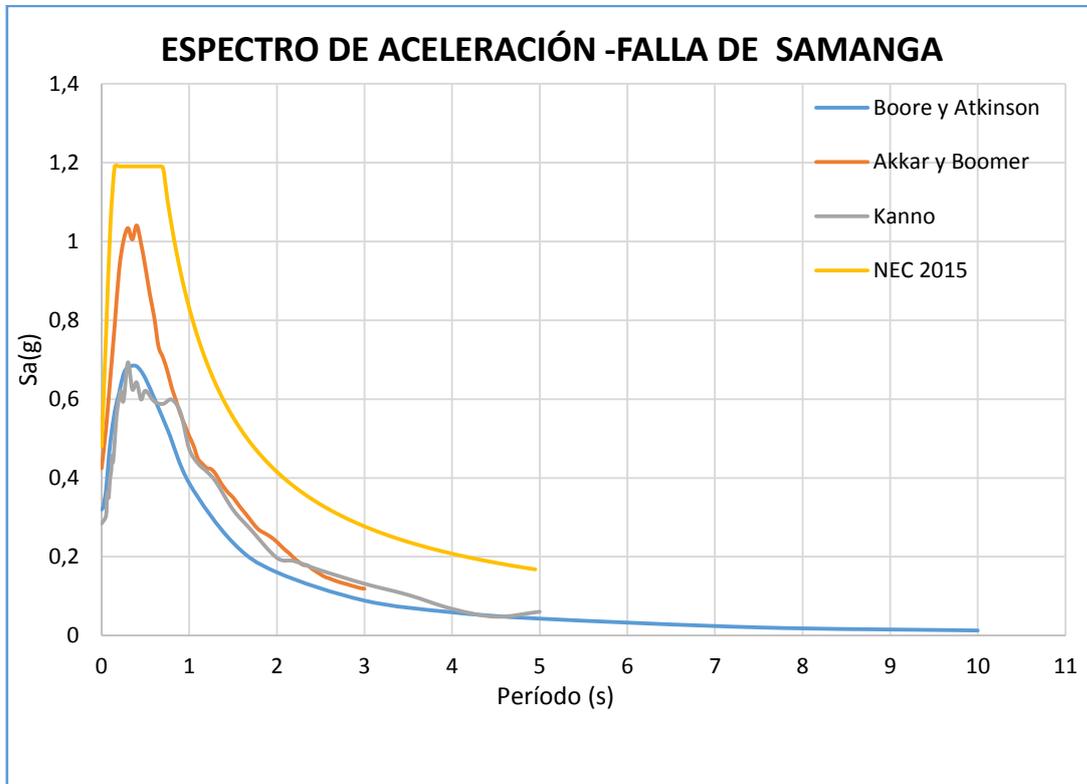
Elaboración: Verónica Rosero

La figura 30, muestra que el espectro de Atkinson-Boore , Akkar-Bommer y Kanno están completamente en el interior del rango de aceleración dadas por el espectro de la NEC-15.

El espectro de la NEC-15 durante un periodo 0.0 s a 0.6 s tiene un Sa máximo de 1.19 g, valor que supera al conseguido con el espectro de Atkinson-Boore (0.70 g) en un 49.00%, al igual que al espectro de Akkar-Bommer (1.10 g) en un 9.00%, y finalmente el espectro de Kanno que solo se encuentra dentro del espectro de la NEC-15 durante un periodo de 0.12s a 0.3s, en el cual la aceleración máxima del modelo de Kanno (0.54 g) es menor en un 65.00%.

Falla Samanga

Gráfica 31: Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer - Kanno y NEC-15 para la Falla de Samanga.



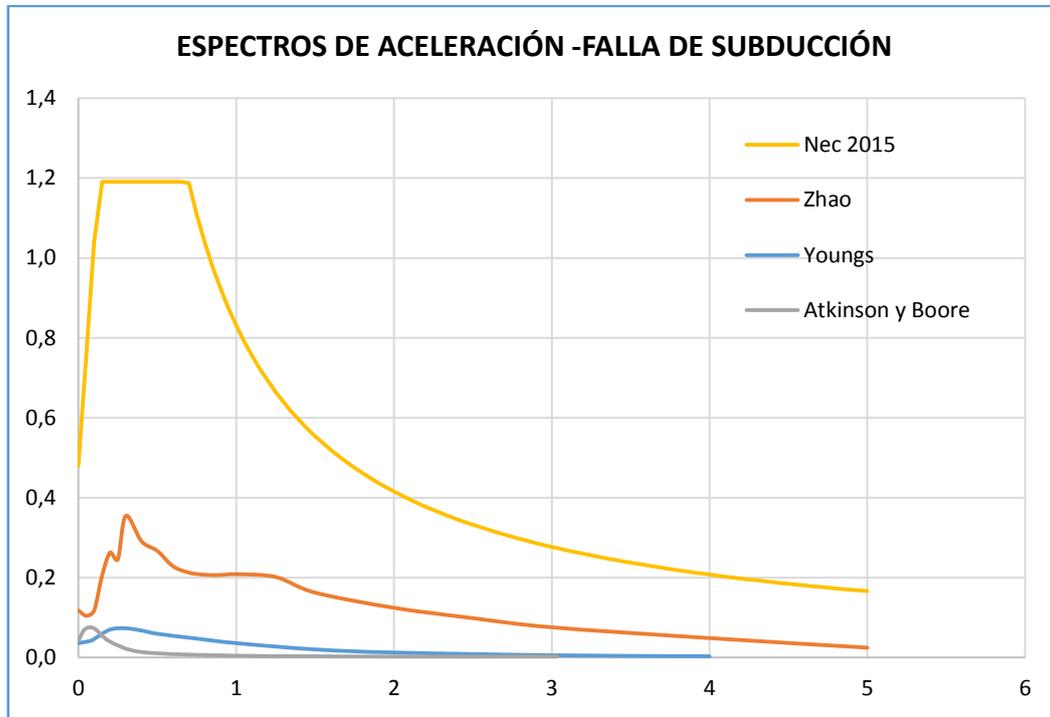
Elaboración: Verónica Rosero

La figura 31, muestra que los 3 espectros (Atkinson-Boore, Akkar-Bommer y Kanno) están absolutamente dentro de los valores de aceleración dados por el espectro de la NEC-15.

La aceleración máxima del espectro de la NEC-15 es de 1.19 g durante un periodo de 0.0 s a 0.6s. Este valor de aceleración rebasa al conseguido con el modelo de Atkinson-Boore (0.68 g) en un 51.00%, superando también al valor máximo conseguido con el modelo de Akkar-Bommer (1.04 g) en un 15.00%, y finalmente la aceleración máxima del modelo de Kanno (0.69 g) es menor en un 50.00% en relación al valor de aceleración máxima de la NEC-15.

FALLA DE SUBDUCCIÓN

Gráfica 32: Espectros de aceleración modelo Youngs(1997) - Zhao(2006) – Akkar y Bommer - NEC 2015 Falla de Subducción



Elaboración: Verónica Rosero

En la figura 32, se observa que el espectro de Zhao y el espectro de Youngs están plenamente dentro del rango de las aceleraciones dadas por el espectro de la NEC-15.

Durante un periodo de 0.0 s a 0.6 s el espectro de la NEC-15 posee un valor máximo de aceleración de 1.19 g, dicho valor supera al obtenido con el espectro de Zhao (0.35 g) en un 84.00%, igualmente supera a la aceleración máxima conseguida con el espectro de Youngs y Akkar -Bommer (0.073 g) en un 111.7%.

Al realizar una comparación general de los espectros, se ve que tanto el modelo de Zhao como el modelo de Youngs y Akkar –Bommer poseen valores de aceleración muy conservadoras en relación al espectro de la Nec-15.

4.2.5. Espectros de Todos los Modelos con el espectro de la NEC-15

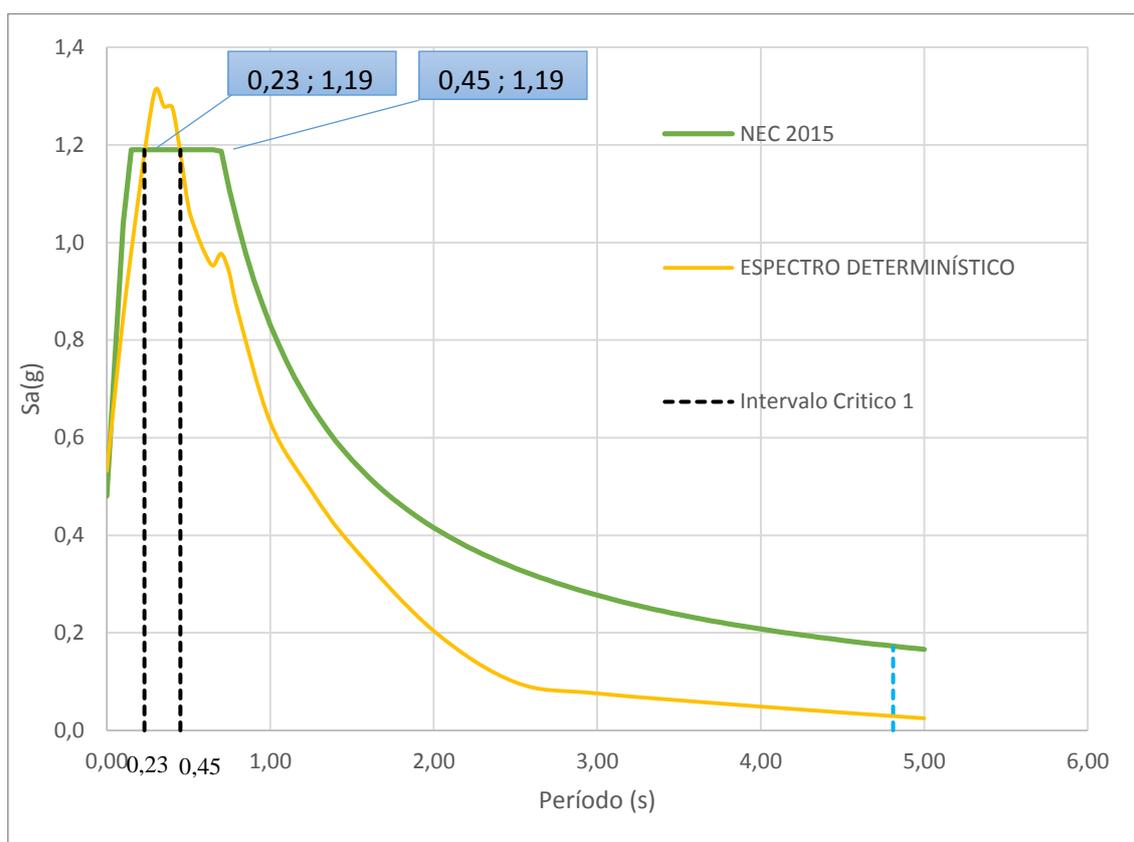
Se tomara todos los espectros usados en esta investigación para las distintas fallas elegidas.

Tabla 33: Valores para espectro de aceleración específico

| ESPECTRO CRÍTICO | | | |
|-------------------------|---------------|--------------------|---------------|
| Período (s) | Sa (g) | Período (s) | Sa (g) |
| 0,00 | 0,533 | 0,60 | 0,982 |
| 0,05 | 0,692 | 0,65 | 0,957 |
| 0,10 | 0,850 | 0,70 | 0,983 |
| 0,15 | 0,984 | 0,75 | 0,943 |
| 0,20 | 1,110 | 0,80 | 0,850 |
| 0,25 | 1,232 | 1,00 | 0,818 |
| 0,30 | 1,318 | 1,25 | 0,824 |
| 0,35 | 1,283 | 1,50 | 0,730 |
| 0,40 | 1,281 | 2,00 | 0,631 |
| 0,45 | 1,187 | 2,50 | 0,530 |
| 0,50 | 1,075 | 3,00 | 0,443 |
| 0,55 | 1,022 | 4,00 | 0,286 |
| | | 5,00 | 0,149 |

Elaborado: Verónica Rosero

Gráfica 34: Espectro específico comparado con la NEC-15



Elaborado: Verónica Rosero

La figura 34, muestra al espectro específico o crítico obtenido para el área de estudio, el cual tiene un valor de aceleración máxima de 1.32 g en un periodo de 0.3 seg, también muestra al espectro de la NEC-15 que tiene un valor Sa máximo de 1.19 g durante un periodo de 0.0 seg a 0.6seg, donde la aceleración máxima del espectro específico en relación con el espectro de la NEC-15 tiene un incremento del 10.76%.

En la gráfica se aprecia que el espectro determinístico predomina durante un periodo de 0.23s a 0.45s sobre el espectro de la NEC-15, pasado estos periodos el espectro determinístico desciende y se ubica por debajo del espectro NEC.

4.2.7. Comportamiento estructural de 3 edificaciones tipo del sitio de estudio

En el área de estudio se realizó un análisis del comportamiento estructural para 3 edificaciones con diferentes niveles tomando en cuenta los años de construcción de las mismas (2, 3 y 5 pisos) mediante la modelación de cada una de ellas en un programado, en el cual se introdujo el espectro determinístico del sector.

4.2.7.1. Datos estructurales recolectados de las 3 edificaciones

Se realizó un levantamiento de las edificaciones, para conseguir información de los elementos estructurales de cada una de ellas, con el objetivo de obtener una modelación lo más real posible en el programa.

A continuación, se muestran las dimensiones de los elementos estructurales de las 3 viviendas tipo:

Tabla 34: Dimensiones de los elementos de las Edificaciones

| | EDIFICIO 2 PISOS | EDIFICIO 3 PISOS | EDIFICIO 5 PISOS |
|--------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| COLUMNA | 25x25 cm | 35x35 cm | 40x40 cm |
| VIGAS | 25x25 cm | 30x30 cm en X 25X25 cm en Y | 35x35 cm en X 25X25 cm en Y |
| LOSA | 20 cm | 20 cm | 20 cm |
| ALTURA TOTAL | 7,8 m | 10,98 m | 15 m |

Elaborado: Verónica Rosero

4.7.2 Espectro elástico reducido

Para analizar el comportamiento de las estructuras se requiere ingresar el espectro reducido de la NEC-15 y del espectro determinístico, este proceso se lo realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$C=I*Sa/R*\phi P*\phi E \quad (30)$$

Donde:

C = Coeficiente de reducción.

I = Factor de importancia.

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

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

\emptyset_P = Coeficiente de configuración en planta.

\emptyset_E = Coeficiente de configuración en elevación.

Tabla 35: Factores para la reducción de los espectros elásticos

| | I | R | \emptyset_P | \emptyset_E |
|-----------------------------|---|---|---------------|---------------|
| EDIFICIO 2 PISOS | 1 | 8 | 1 | 1 |
| EDIFICIO 3 PISOS | 1 | 8 | 1 | 0,9 |
| EDIFICIO 5 PISOS | 1 | 8 | 1 | 0,9 |

Elaborado: Verónica Rosero

4.2.8. Cálculo de los periodos de vibración de las estructuras tipo

Periodo Fundamental de Vibración

El periodo de vibración aproximado para las estructuras se determina con la ecuación del método 1 descrita en la sección 6.3.3 de la NEC_SE_DS 2015 y que se presenta a continuación:

Donde:

T = Periodo de vibración

Ct = Coeficiente que depende del tipo de edificio

hn = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida en metros

Los valores de Ct y α que se utilizaron para el cálculo del periodo fundamental también se especifican en la sección 6.3.3 de la NEC_SE_DS 2015, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 36: Valores Ct y α

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

Fuente: NEC_SE_DS 2015

Calculo de T para la vivienda de 2 pisos

$$T = 0.055 * 7,80.9$$

$$T = 0.349 \text{ seg}$$

Calculo de T para la edificación de 3 pisos

$$T = 0.055 * 10,980.9$$

$$T = 0.475 \text{ seg}$$

Calculo de T para la edificación de 5 pisos

$$T = 0.055 * 150.9$$

$$T = 0.63 \text{ seg}$$

Periodos Límites de Vibración

Los límites para el periodo de vibración T_o y T_c se encuentran en la sección 3.3 de la NEC_SE_DS 2015, y se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$T_o = 0.1 * F_s * F_d F_a \quad (32)$$

$$T_c = 0.55 * F_s * F_d F_a \quad (33)$$

Donde:

F_a = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

F_d = Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.

F_s = Comportamiento no lineal de los suelos.

T_o y T_c = Periodos límite de vibración en el espectro sísmico de aceleración que representa el sismo de diseño.

Los valores de los coeficientes Fa, Fd y Fs que se encuentran en la siguiente tabla, se escogieron tomando en cuenta la zona sísmica, el factor de zona Z y el tipo de perfil del suelo.

Tabla 37: Valores de Fa, Fd y Fs considerando los efectos de sitio

| | |
|-----------------------|----------|
| Zona Sísmica | V |
| Valor factor Z | 0.40 |
| Tipo de Perfil | D |
| Fa | 1.2 |
| Fd | 1.19 |
| Fs | 1.28 |

Fuente: NEC_SE_DS 2015

Calculo del periodo To

$$T_o = 0.1 * 1.28 * 1.19 / 1.20$$

$$T_o = 0.127 \text{ seg}$$

Calculo del periodo Tc

$$T_c = 0.55 * 1.28 * 1.19 / 1.20$$

$$T_c = 0.698 \text{ seg}$$

4.2.9. Verificación del Comportamiento Estructural Análisis Estático

Periodo de Vibración

El periodo fundamental T2 se determinó mediante un análisis modal como sugiere el método 2 de la sección 6.3.3 de la NEC_SE_DS 2015.

Dónde

T1 = Periodo fundamental de vibración calculado con el método 1

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

Tabla 38: Valores obtenidos de T , T_o , T_c

| ESTRUCTURA | 5 Pisos | 3 Pisos | 2 Pisos |
|------------|----------|----------|-----------|
| T_o | 0,13 seg | | |
| T_c | 0,70 seg | | |
| $T1$ | 0,63 seg | 0,48 seg | 0,349 seg |
| $T2$ | 0,54 | 0,58 seg | 0,353 seg |

Elaborado: Verónica Rosero

De la tabla anterior podemos concluir que los valores de los periodos calculados para las estructuras de 3 y 2 pisos con la NEC 2015 son menores en comparación a los valores obtenidos en el programa.

Mientras que para la estructura de 5 pisos el menor periodo es el calculado por el programa.

El valor de $T2$ calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de $T1$ calculado con el Método 1.

Estructura 5 pisos

$$T1 \leq T2 \leq 1,3 T1$$

$$0,63 > 0,54 < 0,82$$

El periodo fundamental de vibración $T2$, no se encuentra en el rango establecido.

Estructura 3 pisos

$$T1 \leq T2 \leq 1,3 T1$$

$$0,48 < 0,58 < 0,62$$

El periodo fundamental de vibración $T2$ se encuentra en el rango establecido.

Estructura 2 pisos

$$T1 \leq T2 \leq 1,3 T1$$

$$0,349 < 0,355 > 0,455$$

El periodo fundamental de vibración T_2 se encuentra en el rango establecido.

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%. [10]

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

Tabla 39: Valores obtenidos de los Modos de Vibración.

| EDIFICACION 5 PISOS | | | | |
|---------------------|--------|----------|-------------|--------------|
| MODO | Ux, Uy | Rz | (Rz/Ux,Uy)% | OBSERVACIÓN |
| 1 | 0,6737 | 0,0146 | 2,17% | Traslacional |
| 2 | 0,4933 | 0,1864 | 37,79% | Rotacional |
| 3 | 0,1932 | 0,4991 | 258,33% | Rotacional |
| EDIFICACION 3 PISOS | | | | |
| MODO | Ux, Uy | Rz | (Rz/Ux,Uy)% | OBSERVACIÓN |
| 1 | 0,2487 | 0,5274 | 212,06% | Rotacional |
| 2 | 0,6886 | 0,0019 | 1,31% | Traslacional |
| 3 | 0,432 | 0,3223 | 74,61% | Rotacional |
| EDIFICACION 2 PISOS | | | | |
| MODO | Ux, Uy | Rz | (Rz/Ux,Uy)% | OBSERVACIÓN |
| 1 | 0,907 | 0,000008 | 0,00088% | Traslacional |
| 2 | 0,908 | 0,0886 | 9,76% | Traslacional |
| 3 | 0,0003 | 0,0001 | 33,33 % | Rotacional |

Elaboración: Verónica Rosero

De acuerdo a la tabla anterior se puede concluir que solo la edificación de 2 pisos cumple con la condición de los modos de vibración y en las dos restantes no se cumple.

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.

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

Tabla 40: Modos de Vibración.

| EDIFICACION 5 PISOS | | |
|---------------------|-----------|-----------|
| MODO | Sum UX | Sum UY |
| 8 | 0,905 | 0,9215 |

| EDIFICACION 3 PISOS | | |
|---------------------|-----------|-----------|
| MODO | Sum UX | Sum UY |
| 5 | 0,911 | 0,934 |

| EDIFICACION 2 PISOS | | |
|---------------------|-----------|-----------|
| MODO | Sum UX | Sum UY |
| 3 | 0,907 | 0,908 |

Elaboración: Verónica Rosero

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.

La deriva máxima inelástica ΔM de cada piso se calculará en base a la siguiente expresión establecida por la NEC 2015:

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E$$

Donde:

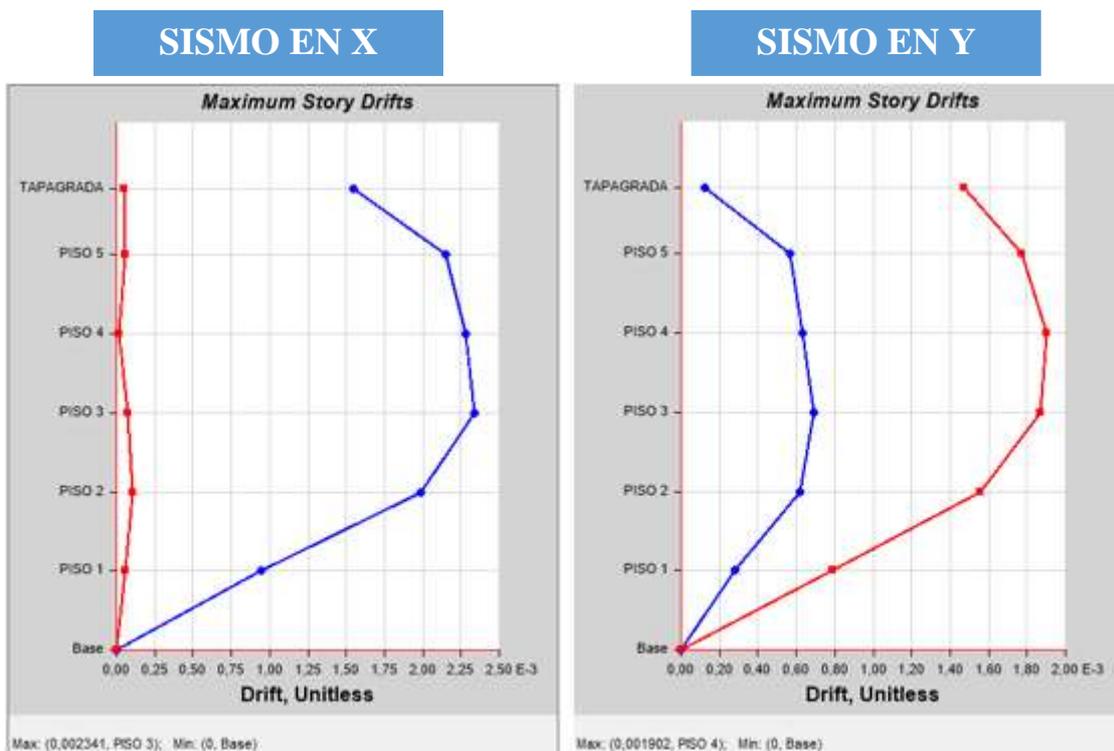
ΔM = Deriva máxima inelástica

ΔE = Deriva elástica obtenida en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R = Factor de reducción de resistencia sísmica

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

Gráfica 35: Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y para la edificación de 5 pisos



Fuente: Etabs 2016. V16

Gráfica 36: Valores de las Derivas elásticas estáticas en X y Y para sus diferentes niveles. Edificación de 5 pisos.

| Story Drifts | | | |
|--------------|-----------------|-----------|--------------|
| 1 | de 12 | ▶▶ | Reload Apply |
| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift |
| TAPAGRADA | csismicaX 1 | X | 0,001546 |
| TAPAGRADA | csismicaY 1 | Y | 0,001474 |
| PISO 5 | csismicaX 1 | X | 0,002154 |
| PISO 5 | csismicaY 1 | Y | 0,001771 |
| PISO 4 | csismicaX 1 | X | 0,002283 |
| PISO 4 | csismicaY 1 | Y | 0,001902 |
| PISO 3 | csismicaX 1 | X | 0,002341 |
| PISO 3 | csismicaY 1 | Y | 0,001869 |
| PISO 2 | csismicaX 1 | X | 0,001987 |
| PISO 2 | csismicaY 1 | Y | 0,001555 |
| PISO 1 | csismicaX 1 | X | 0,000944 |
| PISO 1 | csismicaY 1 | Y | 0,000787 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 41: Tabla Resumen de las Derivas elásticas estáticas

| EDIFICACIÓN 5 PISOS | | |
|---------------------|---------------|----------|
| Nivel | Caso de Carga | |
| | Sx | Sy |
| Tapagrada | 0,001546 | 0,001474 |
| Piso 5 | 0,002154 | 0,001771 |
| Piso 4 | 0,002283 | 0,001902 |
| Piso 3 | 0,002341 | 0,001869 |
| Piso 2 | 0,001987 | 0,001555 |
| Piso 1 | 0,000944 | 0,000787 |
| EDIFICACIÓN 3 PISOS | | |
| Nivel | Caso de Carga | |
| | Sx | Sy |
| Tapagrada | 0,001284 | 0,00149 |
| Piso 3 | 0,002160 | 0,002168 |
| Piso 2 | 0,003146 | 0,002926 |
| Piso 1 | 0,002352 | 0,002303 |
| EDIFICACIÓN 2 PISOS | | |
| Nivel | Caso de Carga | |
| | Sx | Sy |
| Tapagrada | 0,000623 | 0,000575 |
| Piso 2 | 0,001068 | 0,001017 |
| Piso 1 | 0,001176 | 0,001133 |

Elaboración: Verónica Rosero

Tabla 42: Derivas de piso elásticas e inelásticas estáticas para cada una de las estructuras

| EDIFICACIÓN 5 PISOS | | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| ESPECTRO | SISMO X | | SISMO Y | |
| | ΔE | ΔM | ΔE | ΔM |
| NEC 15 | 0,002341 | 2,05% | 0,001902 | 1,14% |
| DETERMINÍSTICO | 0,001546 | 0,927% | 0,001474 | 0,8844 |

| EDIFICACIÓN 3 PISOS | | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| ESPECTRO | SISMO X | | SISMO Y | |
| | ΔE | ΔM | ΔE | ΔM |
| NEC 15 - | 0,003146 | 1,89% | 0,002926 | 1,76% |
| DETERMINÍSTICO | 0,003146 | 1,89% | 0,002926 | 1,76% |
| EDIFICACIÓN 2 PISOS | | | | |
| ESPECTRO | SISMO X | | SISMO Y | |
| | ΔE | ΔM | ΔE | ΔM |
| NEC 15 | 0,002341 | 2,05% | 0,001133 | 0,679% |
| DETERMINÍSTICO | 0,001176 | 0,71% | 0,001133 | 0,679% |

Elaboración: Verónica Rosero

La tabla 41, indica que las derivas de piso inelásticas para las estructuras se encuentran dentro del rango establecido por la NEC.

4.2.10. Análisis dinámico

Validación del análisis dinámico

El valor del cortante dinámico total en la base de la estructura obtenido por cualquier método de análisis dinámico debe cumplir que:

$$V \text{ dinámico} \geq 80\% V \text{ estático (estructuras regulares)}$$

$$V \text{ dinámico} \geq 85\% V \text{ estático (estructuras irregulares)}$$

Los valores del cortante dinámico y estático correspondientes al espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico, para el sentido X y Y obtenidos en Etabs, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 43: Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15 para estructura de 5 pisos.

| Story Response | | | | |
|----------------|-------------|----------|------------|------------|
| Story | Elevation m | Location | X-Dir tonf | Y-Dir tonf |
| TAPAGRADA | 17,5 | Top | 7,9835 | 4,4259 |
| | | Bottom | 7,9835 | 4,4259 |
| PISO 5 | 15 | Top | 60,5023 | 18,4193 |
| | | Bottom | 61,1935 | 18,6551 |
| PISO 4 | 12 | Top | 116,5456 | 32,59 |
| | | Bottom | 117,0616 | 32,7529 |
| PISO 3 | 9 | Top | 155,634 | 43,211 |
| | | Bottom | 156,0046 | 43,3339 |
| PISO 2 | 6 | Top | 180,7348 | 50,7465 |
| | | Bottom | 180,9172 | 50,8091 |
| PISO 1 | 3 | Top | 193,0274 | 55,761 |
| | | Bottom | 193,0274 | 55,761 |
| Base | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 44: Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico.

| Story Response | | | | |
|----------------|-------------|----------|------------|------------|
| Story | Elevation m | Location | X-Dir tonf | Y-Dir tonf |
| TAPAGRADA | 17,5 | Top | 33,2969 | 37,6009 |
| | | Bottom | 33,2969 | 37,6009 |
| PISO 5 | 15 | Top | 259,5305 | 220,7251 |
| | | Bottom | 262,6749 | 223,7691 |
| PISO 4 | 12 | Top | 504,5505 | 432,7863 |
| | | Bottom | 506,8302 | 434,9122 |
| PISO 3 | 9 | Top | 673,6111 | 578,6945 |
| | | Bottom | 675,1818 | 580,1041 |
| PISO 2 | 6 | Top | 781,927 | 671,0486 |
| | | Bottom | 782,7131 | 671,7837 |
| PISO 1 | 3 | Top | 832,1681 | 715,828 |
| | | Bottom | 832,1681 | 715,828 |
| Base | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 45: Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15 para estructura de 3 pisos.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|------------|------------|
| Elevation m | Location | X-Dir tonf | Y-Dir tonf |
| 10,98 | Top | 17,6428 | 9,6924 |
| | Bottom | 17,6428 | 9,6924 |
| 8,28 | Top | 46,2648 | 25,7495 |
| | Bottom | 46,6601 | 25,9691 |
| 5,58 | Top | 68,0505 | 38,5155 |
| | Bottom | 68,3142 | 38,6604 |
| 2,7 | Top | 78,3516 | 44,4758 |
| | Bottom | 78,4186 | 44,521 |
| 0 | Top | 0 | 0 |
| | Bottom | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 46: Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|------------|------------|
| Elevation m | Location | X-Dir tonf | Y-Dir tonf |
| 10,98 | Top | 106,968 | 115,5931 |
| | Bottom | 106,968 | 115,5931 |
| 8,28 | Top | 282,1229 | 311,5846 |
| | Bottom | 284,5591 | 314,2088 |
| 5,58 | Top | 414,9385 | 464,1193 |
| | Bottom | 416,5721 | 465,8714 |
| 2,7 | Top | 477,4733 | 537,3261 |
| | Bottom | 477,8702 | 537,8974 |
| 0 | Top | 0 | 0 |
| | Bottom | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 47: Valores del Cortante dinámico para el Espectro de la NEC15 para estructura de 2 pisos.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|------------|------------|
| Elevation m | Location | X-Dir tonf | Y-Dir tonf |
| 7,8 | Top | 5,0697 | 1,5208 |
| | Bottom | 5,0697 | 1,5208 |
| 5,2 | Top | 9,6706 | 2,9027 |
| | Bottom | 9,6706 | 2,9027 |
| 2,6 | Top | 11,9974 | 3,6035 |
| | Bottom | 11,9974 | 3,6035 |
| 0 | Top | 0 | 0 |
| | Bottom | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 48: Valores del Cortante dinámico para el Espectro determinístico.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|------------|------------|
| Elevation m | Location | X-Dir tonf | Y-Dir tonf |
| 7,8 | Top | 40,9827 | 40,9635 |
| | Bottom | 40,9827 | 40,9635 |
| 5,2 | Top | 79,2971 | 79,3448 |
| | Bottom | 79,2971 | 79,3448 |
| 2,6 | Top | 98,2683 | 98,398 |
| | Bottom | 98,2683 | 98,398 |
| 0 | Top | 0 | 0 |
| | Bottom | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 49: La tabla indica los valores de cortantes estáticos y dinámicos máximos, en el sentido X y Y para las tres estructuras modeladas.

| EDIFICACION 5 PISOS | | | | | | |
|---------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| ESPECTROS | SISMO X | | | SISMO Y | | |
| | V Estático | V Dinámico | V Din /V Est | V Estático | V Dinámico | V Din /V Est |
| NEC 15 | 229,44 | 193,03 | 84,13 | 229,44 | 55,76 | 24,30 |
| DETERMINISTICO | 229,44 | 832,17 | 362,70 | 229,44 | 715,83 | 311,99 |
| EDIFICACION 3 PISOS | | | | | | |
| ESPECTROS | SISMO X | | | SISMO Y | | |
| | V Estático | V Dinámico | V Din /V Est | V Estático | V Dinámico | V Din /V Est |
| NEC 15 | 107,52 | 78,41 | 72,93 | 107,52 | 44,52 | 41,41 |
| DETERMINISTICO | 107,52 | 477,87 | 444,45 | 107,52 | 537,89 | 500,27 |
| EDIFICACION 2 PISOS | | | | | | |
| ESPECTROS | SISMO X | SISMO Y | | | | |
| | V Estático | V Dinámico | V Din /V Est | V Estático | V Dinámico | V Din /V Est |
| NEC 15 | 13,93 | 11,99 | 84,13 | 13,93 | 3,60 | 24,30 |
| DETERMINISTICO | 13,93 | 98,27 | 705,46 | 13,93 | 98,39 | 705,46 |

Elaboración: Verónica Rosero

Derivas de piso

Se obtuvieron las derivas elásticas dinámicas para el espectro X y Y con los espectros ingresados, es decir el espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico.

Tabla 50: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15.

| Story Response | | | | |
|----------------|----------------|----------|----------|----------|
| Story | Elevation m | Location | X-Dir | Y-Dir |
| TAPAGRADA | 17,5 | Top | 0,001485 | 0,00065 |
| PISO 5 | 15 | Top | 0,002016 | 0,000558 |
| PISO 4 | 12 | Top | 0,00222 | 0,000605 |
| PISO 3 | 9 | Top | 0,002244 | 0,000604 |
| PISO 2 | 6 | Top | 0,001878 | 0,000512 |
| PISO 1 | 3 | Top | 0,000872 | 0,000252 |
| Base | 0 | Top | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 51: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico.

| Story Response | | | | |
|----------------|----------------|----------|----------|----------|
| Story | Elevation m | Location | X-Dir | Y-Dir |
| TAPAGRADA | 17,5 | Top | 0,006376 | 0,006751 |
| PISO 5 | 15 | Top | 0,010079 | 0,007144 |
| PISO 4 | 12 | Top | 0,010864 | 0,007643 |
| PISO 3 | 9 | Top | 0,010961 | 0,00746 |
| PISO 2 | 6 | Top | 0,009155 | 0,006128 |
| PISO 1 | 3 | Top | 0,004158 | 0,002972 |
| Base | 0 | Top | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 52: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|----------|----------|
| Elevation m | Location | X-Dir | Y-Dir |
| 10,98 | Top | 0,001191 | 0,000846 |
| 8,28 | Top | 0,001937 | 0,001486 |
| 5,58 | Top | 0,002966 | 0,002248 |
| 2,7 | Top | 0,002204 | 0,001515 |
| 0 | Top | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 53: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro determinístico.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|----------|----------|
| Elevation m | Location | X-Dir | Y-Dir |
| 10,98 | Top | 0,007524 | 0,007786 |
| 8,28 | Top | 0,011669 | 0,012266 |
| 5,58 | Top | 0,017969 | 0,018279 |
| 2,7 | Top | 0,013369 | 0,013466 |
| 0 | Top | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 54: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|----------|----------|
| Elevation m | Location | X-Dir | Y-Dir |
| 7,8 | Top | 0,000482 | 0,000138 |
| 5,2 | Top | 0,000869 | 0,000255 |
| 2,6 | Top | 0,001038 | 0,000295 |
| 0 | Top | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 55: Derivas elásticas dinámicas para el Espectro de la NEC15.

| Story Response | | | |
|----------------|----------|----------|----------|
| Elevation m | Location | X-Dir | Y-Dir |
| 7,8 | Top | 0,003934 | 0,003729 |
| 5,2 | Top | 0,007126 | 0,00697 |
| 2,6 | Top | 0,008509 | 0,008022 |
| 0 | Top | 0 | 0 |

Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 56: Derivas de piso elásticas dinámicas con cada espectro ingresado en el sentido X y Y, para cada una de las estructuras

| EDIFICACION 5 PISOS | | | |
|---------------------|------------|-------------------------|------------|
| ESPECTRO NEC 15 | | ESPECTRO DETERMINISTICO | |
| ESPECTRO X | ESPECTRO Y | ESPECTRO X | ESPECTRO Y |
| ΔE | ΔE | ΔE | ΔE |
| 0,2244 | 0,00065 | 0,01096 | 0,00746 |
| EDIFICACION 3 PISOS | | | |
| ESPECTRO NEC 15 | | ESPECTRO DETERMINISTICO | |
| ESPECTRO X | ESPECTRO Y | ESPECTRO X | ESPECTRO Y |
| ΔE | ΔE | ΔE | ΔE |
| 0,002204 | 0,002248 | 0,01797 | 0,01828 |
| | | | |
| EDIFICACION 5 PISOS | | | |
| ESPECTRO NEC 15 | | ESPECTRO DETERMINISTICO | |
| ESPECTRO X | ESPECTRO Y | ESPECTRO X | ESPECTRO Y |
| ΔE | ΔE | ΔE | ΔE |
| 0,001038 | 0,000295 | 0,008509 | 0,008022 |

Elaboración: Verónica Rosero

Se puede notar que existe una variación entre las derivas elásticas del espectro de la NEC 15 y el espectro determinístico, indicando que el comportamiento estructural es afectado para cada espectro ingresado.

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 cantón Ambato Sector La Matriz”. El espectro determinístico supera al espectro de la NEC-15 en un período de 0.25 seg a 0.40 seg en donde la aceleración máxima del modelo es de 1.32 g, con respecto a la norma, por lo cual el comportamiento de las estructuras del sector se ve afectado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✚ La fallas geológicas corticales consideradas son Falla Huachi, Falla Ambato, Falla Totoras y Falla Samanga afectan el área de estudio, la falla con mayor magnitud Falla de Samanga con $M_w = 6,9$ mientras que la falla de subducción en la placa de nazca podría generar una M_w de 8,9 debido a que estas fallas poseen mayor longitud de ruptura superficial.
- ✚ El sector La Matriz tiene estructuras comprendidas entre 1 y 5 pisos de altura.
- ✚ Las respuestas de aceleración espectral dependerán de la distancia de las estructuras al epicentro de las fallas corticales y para fallas de subducción dependerán de la profundidad a la que se libere la energía para producir un sismo.
- ✚ Se determinó que para cada una de las fallas corticales empleadas el modelo de Akkar y Bommer es el 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 la falla Ambato.
- ✚ El espectro que generó la mayor respuesta fue el de la falla Ambato debido a que esta falla presenta la menor distancia perpendicular a la zona de estudio de 1,05 Km.
- ✚ Del espectro específico se podrán tener aceleraciones de hasta 1.32 g en un intervalo de 0.23 a 0.45 segundos siendo éstos valores mayores en comparación a los obtenidos con el espectro de la NEC 2015, por lo que las estructuras comprendidas en el rango de T se recomienda ser calculadas para aceleraciones mayores a las obtenidas con el espectro de la NEC 2015 en dicho rango.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✚ Para la construcción nuevas estructuras en la zona de estudio se recomienda realizar un diseño sismo resistente en base a la NEC-15 pero verificando su desempeño con un Espectro Específico.
- ✚ Para la ciudad de Ambato debido que ha sido afectada por diferentes desastres naturales, es importante que cuente con un mapa de zonificación sísmica donde se distingan las diversas zonas de alto peligro sísmico, ya que evitaría futuros daños en las estructuras frente a un desastre.
- ✚ Es necesario realizar más estudios de este tipo debido a la cantidad de fallas geológicas que atraviesan la ciudad de Ambato ya que no hay estudios sobre este tema en la ciudad.
- ✚ Las ecuaciones de atenuación son importantes para la obtención de espectros, por lo mismo es importante seguir actualizándolas para mejorar sus modelos y de esta manera los resultados serán más confiables.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias

- [1] P. Quinde y R. Eduardo, «Scielo Analytics,» 04 Abril 2016. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001.
- [2] O. Ing Ortiz, «Repositorio Digital Senescyt,» 2012-2103. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>.
- [3] D. Castillo, «Repositorio Institucional de la UTPL,» Diciembre 2013. [En línea]. Disponible:

http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8324/1/Castillo_Jaramillo_Diego_Israel.pdf
f.

- [4] N. E. d. I. C. SE, «Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda,» Diciembre 2014. [En línea]. Disponible: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>.
- [5] E. d. G. d. C. y. I. T. (GECYT), «EcuRed,» [En línea]. Disponible: https://www.ecured.cu/Cintur%C3%B3n_de_fuego_del_Pac%C3%ADfico.
- [6] Redigital, «Redigital,» [En línea]. Disponible: <http://redigital.ec/2016/04/18/terremoto-en-ecuador-que-es-el-cinturon-de-fuego-del-pacifico/>.
- [7] Servicio Geológico Mexicano, «gob.mx,» 22 Marzo 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>.
- [8] INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS - MINISTERIO DEL INTERIOR, OBRAS PÚBLICAS Y VIVIENDA, «Inpres,» [En línea]. Disponible: <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>.
- [9] Z. Dr Aguilar, «ResearchGate,» 18 Enero 2016. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_DISENO.
- [10] Norma Ecuatoriana de la Construcción, «Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda,» 2014 Diciembre. [En línea]. Disponible: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>.
- [11] Global Ground Motion Prediction Equations Programs, «Pacific Earthquake Engineering Research Center,» [En línea]. Disponible: <http://peer.berkeley.edu/globalgmpe/>.
- [12] «-m. p. e. f. t. a. h. c. o. P. P. a. 5.-d. P. a. s. p. b. 0. s. a. 1. s. E. S. v. 2. n. 1. p. 9.-1. 2. D. Boore y G. Atkinson.
- [13] «. e. f. t. p. o. P. P. a. s. a. i. E. t. M. r. a. t. M. E. S. R. L. v. 8. n. 2. p. 1.-2. 2. S. Akkar y J. Bommer.

- [14] “. n. a. r. f. s. g. m. i. J. b. o. r. d. B. o. t. S. S. o. A. v. 9. n. 3. p. 8.-8. 2. T. Kanno. [En línea].
- [15] “. g. m. a. r. f. s. z. e. S. R. L. v. 6. n. 1. p. 5.-7. 1. R. Youngs y otros. [En línea].
- [16] “. r. o. s. g. m. i. J. u. s. c. b. o. p. p. B. o. t. S. S. o. A. v. 9. n. 3. p. 8.-9. 2. J. Zhao. [En línea]. Disponible: C:\Users\Alex\Documents\TESIS\traducidos.
- [17] W. Donald y K. Coopersmith, «Berkeley Seismology Lab,» Agosto 1994. [En línea]. Disponible: <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf>.
- [18] P. Guaraca, D. Pantoja, W. Zambrano y J. Berru, «Repositorio de la UTMACH,» 2017. [En línea]. Disponible: [file:///C:/Users/Alex/Downloads/138-1-219-1-10-20170615%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Alex/Downloads/138-1-219-1-10-20170615%20(2).pdf).
- [19] J. Aponte, «Repositorio Pontificia Universidad Javeriana,» Enero 2011. [En línea]. Disponible: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1267/ing07.pdf?sequence=1>.
- [20] K. Bablu, K. Mehshwari y M. Pradeep, «Springer Link,» Marzo 2016. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40891-016-0047-5>.
- [21] J. y. A. E, «Mecánica de suelos,» Mexico, Limusa, 1976, pp. 112-119.
- [22] J. Carmona, «REPOSITORIO DE LA UNIIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA,» 2014. [En línea]. Disponible: http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2572/1/SPT_factor_CN_%C3%A1ngulo_%C3%98_diferentes_correlaciones.pdf.
- [23] La Hora, «La Hora,» 19 Abril 2002. [En línea]. Disponible: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>.
- [24] El telégrafo, «El telégrafo,» 24 Agosto 2014. [En línea]. Disponible: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-centro/1/ecuador-se-asienta-sobre-10-fallas-geologicas>.

- [25] El Comercio, «El Comercio,» 4 Marzo 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.elcomercio.com/actualidad/mundo/ecuador-hay-decenas-fallas-sismicas.html>.
- [26] E. p. nacional, «Instituto Geofísico,» 5 Agosto 2013. [En línea]. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>.
- [27] A. Lavenu, «SciELO,» Octubre/Diciembre 2006. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222006000400006.
- [28] El Universo, «El Universo,» 17 Abril 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/17/nota/5531580/sismos-mas-potentes-que-han-afectado-ecuador>.
- [29] El Comercio, «El Comercio,» 18 Abril 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.elcomercio.com/datos/terremotos-ecuador-sismos-data-emergencias.html>.
- [30] I. GEOFISICO, «IGEPN,» [En línea]. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-catalogo-homogenizado> .
- [31] A. Bolaños y O. Monroy, Espectros de peligro sísmico uniforme, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2004.
- [32] E. A. J. Peña, «Estimación del peligro sísmico en la zona Andina de Chile Central,» 23 Diciembre 2008. [En línea]. Disponible: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/jorquera_e/sources/jorquera_e.pdf. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [33] C. Ortiz, «Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador,» 15 Marzo 2013. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [34] El Comercio, «El Comercio,» 26 Agosto 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador-asentado-tres-sistemas-fallas-1.html>.

ANEXOS

A. Fotografías



Fotografía 1. Equipo SPT



Fotografía 2. Extracción de limpieza



Fotografía 3. Nivel de profundidad



Fotografía 4. Peso del suelo



Fotografía 5. Tamización del suelo

B. Tablas

Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período

| Período | b_{lin} | b₁ | b₂ |
|----------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| PGA | -0.36 | -0.64 | -0.14 |
| 0.01 | -0.36 | -0.64 | -0.14 |
| 0.02 | -0.34 | -0.63 | -0.12 |
| 0.03 | -0.33 | -0.62 | -0.11 |
| 0.05 | -0.29 | -0.64 | -0.11 |
| 0.075 | -0.23 | -0.64 | -0.11 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 0.1 | -0.25 | -0.60 | -0.13 |
| 0.15 | -0.28 | -0.53 | -0.18 |
| 0.2 | -0.31 | -0.52 | -0.19 |
| 0.25 | -0.39 | -0.52 | -0.16 |
| 0.3 | -0.44 | -0.52 | -0.14 |
| 0.4 | -0.50 | -0.51 | -0.10 |
| 0.5 | -0.60 | -0.50 | -0.06 |
| 0.75 | -0.69 | -0.47 | 0.00 |
| 1 | -0.70 | -0.44 | 0.00 |
| 1.5 | -0.72 | -0.40 | 0.00 |
| 2 | -0.73 | -0.38 | 0.00 |
| 3 | -0.74 | -0.34 | 0.00 |
| 4 | -0.75 | -0.31 | 0.00 |
| 5 | -0.75 | -0.29 | 0.00 |
| 7.5 | -0.69 | -0.25 | 0.00 |
| 10 | -0.65 | -0.22 | 0.00 |

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

| Período | c1 | c2 | c3 | H |
|---------|---------|---------|----------|------|
| PGA | -0.6605 | 0.1197 | -0.01151 | 1.35 |
| 0.01 | -0.6622 | 0.12 | -0.01151 | 1.35 |
| 0.02 | -0.666 | 0.1228 | -0.01151 | 1.35 |
| 0.03 | -0.6901 | 0.1283 | -0.01151 | 1.35 |
| 0.05 | -0.717 | 0.1317 | -0.01151 | 1.35 |
| 0.075 | -0.7205 | 0.1237 | -0.01151 | 1.55 |
| 0.1 | -0.7081 | 0.1117 | -0.01151 | 1.68 |
| 0.15 | -0.6961 | 0.09884 | -0.01113 | 1.86 |
| 0.2 | -0.583 | 0.04273 | -0.00952 | 1.98 |
| 0.25 | -0.5726 | 0.02977 | -0.00837 | 2.07 |
| 0.3 | -0.5543 | 0.01955 | -0.0075 | 2.14 |
| 0.4 | -0.6443 | 0.04394 | -0.00626 | 2.24 |
| 0.5 | -0.6914 | 0.0608 | -0.0054 | 2.32 |

| | | | | |
|------|----------|----------|----------|------|
| 0.75 | -0.7408 | 0.07518 | -0.00409 | 2.46 |
| 1 | -0.8183 | 0.1027 | -0.00334 | 2.54 |
| 1.5 | -0.8303 | 0.09793 | -0.00255 | 2.66 |
| 2 | -0.8285 | 0.09432 | -0.00217 | 2.73 |
| 3 | -0.7844 | 0.07282 | -0.00191 | 2.83 |
| 4 | -0.6854 | 0.03758 | -0.00191 | 2.89 |
| 5 | -0.5096 | -0.02391 | -0.00191 | 2.93 |
| 7.5 | -0.3724 | -0.06568 | -0.00191 | 3 |
| 10 | -0.09824 | -0.138 | -0.00191 | 3.04 |

Fuente: Boore y Atkinson 2008

Coeficientes de escala de magnitud

| Período | e1 | e2 | e3 | e4 | e5 | e6 | e7 | Mh |
|---------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|------|
| PGA | -0.53804 | -0.5035 | -0.75472 | -0.5097 | 0.28805 | -0.10164 | 0 | 6.75 |
| 0.01 | -0.52883 | -0.49429 | -0.74551 | -0.49966 | 0.28897 | -0.10019 | 0 | 6.75 |
| 0.02 | -0.52192 | -0.48508 | -0.73906 | -0.48895 | 0.25144 | -0.11006 | 0 | 6.75 |
| 0.03 | -0.45285 | -0.41831 | -0.66722 | -0.42229 | 0.17976 | -0.12858 | 0 | 6.75 |
| 0.05 | -0.28476 | -0.25022 | -0.48462 | -0.26092 | 0.06369 | -0.15752 | 0 | 6.75 |
| 0.075 | 0.00767 | 0.04912 | -0.20578 | 0.02706 | 0.0117 | -0.17051 | 0 | 6.75 |
| 0.1 | 0.20109 | 0.23102 | 0.03058 | 0.22193 | 0.04697 | -0.15948 | 0 | 6.75 |
| 0.15 | 0.46128 | 0.48661 | 0.30185 | 0.49328 | 0.1799 | -0.14539 | 0 | 6.75 |
| 0.2 | 0.5718 | 0.59253 | 0.4086 | 0.61472 | 0.52729 | -0.12964 | 0.00102 | 6.75 |
| 0.25 | 0.51884 | 0.53496 | 0.3388 | 0.57747 | 0.6088 | -0.13843 | 0.08607 | 6.75 |
| 0.3 | 0.43825 | 0.44516 | 0.25356 | 0.5199 | 0.64472 | -0.15694 | 0.10601 | 6.75 |
| 0.4 | 0.3922 | 0.40602 | 0.21398 | 0.4608 | 0.7861 | -0.07843 | 0.02262 | 6.75 |
| 0.5 | 0.18957 | 0.19878 | 0.00967 | 0.26337 | 0.76837 | -0.09054 | 0 | 6.75 |
| 0.75 | -0.21338 | -0.19496 | -0.49176 | -0.10813 | 0.75179 | -0.14053 | 0.10302 | 6.75 |
| 1 | -0.46896 | -0.43443 | -0.78465 | -0.3933 | 0.6788 | -0.18257 | 0.05393 | 6.75 |
| 1.5 | -0.86271 | -0.79593 | -1.20902 | -0.88085 | 0.70689 | -0.2595 | 0.19082 | 6.75 |
| 2 | -1.22652 | -1.15514 | -1.57697 | -1.27669 | 0.77989 | -0.29657 | 0.29888 | 6.75 |
| 3 | -1.82979 | -1.7469 | -2.22584 | -1.91814 | 0.77966 | -0.45384 | 0.67466 | 6.75 |

| | | | | | | | | |
|-----|----------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|------|
| 4 | -2.24656 | -2.15906 | -2.58228 | -2.38168 | 1.24961 | -0.35874 | 0.79508 | 6.75 |
| 5 | -1.28408 | -1.2127 | -1.50904 | -1.41093 | 0.14271 | -0.39006 | 0 | 8.5 |
| 7.5 | -1.43145 | -1.31632 | -1.81022 | -1.59217 | 0.52407 | -0.37578 | 0 | 8.5 |
| 10 | -2.15446 | -2.16137 | -2.53323 | -2.14635 | 0.40387 | -0.48492 | 0 | 8.5 |

Fuente: Boore y Atkinson 2008

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

Espectral

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

| | | | | | | |
|------|----------|---------|----------|----------|---------|---------|
| 1.15 | -6.9618 | 2.75857 | -0.1889 | -1.66588 | 0.11447 | 5.08902 |
| 1.2 | -6.99236 | 2.73427 | -0.18491 | -1.5912 | 0.10265 | 5.03274 |
| 1.25 | -6.74613 | 2.62375 | -0.17392 | -1.52886 | 0.09129 | 5.08347 |
| 1.3 | -6.51719 | 2.51869 | -0.1633 | -1.46527 | 0.08005 | 5.14423 |
| 1.35 | -6.55821 | 2.52238 | -0.16307 | -1.48223 | 0.08173 | 5.29006 |
| 1.4 | -6.61945 | 2.52611 | -0.16274 | -1.48257 | 0.08213 | 5.3349 |
| 1.45 | -6.62737 | 2.49858 | -0.1591 | -1.4331 | 0.07577 | 5.19412 |
| 1.5 | -6.71787 | 2.49486 | -0.15689 | -1.35301 | 0.06379 | 5.1575 |
| 1.55 | -6.80776 | 2.50291 | -0.15629 | -1.31227 | 0.05697 | 5.27441 |
| 1.6 | -6.83632 | 2.51009 | -0.15676 | -1.3326 | 0.0587 | 5.54539 |
| 1.65 | -6.88684 | 2.54048 | -0.15995 | -1.40931 | 0.0686 | 5.93828 |
| 1.7 | -6.946 | 2.57151 | -0.16294 | -1.47676 | 0.07672 | 6.36599 |
| 1.75 | -7.09166 | 2.62938 | -0.16794 | -1.54037 | 0.08428 | 6.82292 |
| 1.8 | -7.22818 | 2.66824 | -0.17057 | -1.54273 | 0.08325 | 7.11603 |
| 1.85 | -7.29772 | 2.67565 | -0.17004 | -1.50936 | 0.07663 | 7.31928 |
| 1.9 | -7.35522 | 2.67749 | -0.16934 | -1.46988 | 0.07065 | 7.25988 |
| 1.95 | -7.40716 | 2.68206 | -0.16906 | -1.43816 | 0.06525 | 7.25344 |
| 2 | -7.50404 | 2.71004 | -0.1713 | -1.44395 | 0.06602 | 7.26059 |
| 2.05 | -7.55598 | 2.72737 | -0.17291 | -1.45794 | 0.06774 | 7.4032 |
| 2.1 | -7.53463 | 2.71709 | -0.17221 | -1.46662 | 0.0694 | 7.46168 |
| 2.15 | -7.50811 | 2.71035 | -0.17212 | -1.49679 | 0.07429 | 7.51273 |
| 2.2 | -8.09168 | 2.91159 | -0.1892 | -1.55644 | 0.08428 | 7.77062 |
| 2.25 | -8.11057 | 2.92087 | -0.19044 | -1.59537 | 0.09052 | 7.87702 |
| 2.3 | -8.16272 | 2.93325 | -0.19155 | -1.60461 | 0.09284 | 7.91753 |
| 2.35 | -7.94704 | 2.85328 | -0.18539 | -1.57428 | 0.09077 | 7.61956 |
| 2.4 | -7.96679 | 2.85363 | -0.18561 | -1.57833 | 0.09288 | 7.59643 |
| 2.45 | -7.97878 | 2.849 | -0.18527 | -1.57728 | 0.09428 | 7.50338 |
| 2.5 | -7.88403 | 2.81817 | -0.1832 | -1.60381 | 0.09887 | 7.53947 |
| 2.55 | -7.68101 | 2.7572 | -0.17905 | -1.65212 | 0.1068 | 7.61893 |
| 2.6 | -7.72574 | 2.82043 | -0.18717 | -1.88782 | 0.14049 | 8.12248 |
| 2.65 | -7.53288 | 2.74824 | -0.18142 | -1.89525 | 0.14356 | 7.92236 |
| 2.7 | -7.41587 | 2.69012 | -0.17632 | -1.87041 | 0.14283 | 7.49999 |
| 2.75 | -7.34541 | 2.65352 | -0.17313 | -1.86079 | 0.1434 | 7.26668 |

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

Fuente: Akkar y Bommer 2010

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

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

| | | | | | | |
|------|---------|---------|----------|----------|--------|--------|
| 0.85 | 0.3352 | 0.1848 | -0.03786 | 0.02867 | 0.2917 | 0.1543 |
| 0.9 | 0.34849 | 0.19061 | -0.02884 | 0.02475 | 0.2915 | 0.1521 |
| 0.95 | 0.35919 | 0.19411 | -0.02209 | 0.02502 | 0.2912 | 0.1484 |
| 1 | 0.36619 | 0.19519 | -0.02269 | 0.02121 | 0.2895 | 0.1483 |
| 1.05 | 0.37278 | 0.19461 | -0.02613 | 0.01115 | 0.2888 | 0.1465 |
| 1.1 | 0.37756 | 0.19423 | -0.02655 | 0.0014 | 0.2896 | 0.1427 |
| 1.15 | 0.38149 | 0.19402 | -0.02088 | 0.00148 | 0.2871 | 0.1435 |
| 1.2 | 0.3812 | 0.19309 | -0.01623 | 0.00413 | 0.2878 | 0.1439 |
| 1.25 | 0.38782 | 0.19392 | -0.01826 | 0.00413 | 0.2863 | 0.1453 |
| 1.3 | 0.38862 | 0.19273 | -0.01902 | -0.00369 | 0.2869 | 0.1427 |
| 1.35 | 0.38677 | 0.19082 | -0.01842 | -0.00897 | 0.2885 | 0.1428 |
| 1.4 | 0.38625 | 0.19285 | -0.01607 | -0.00876 | 0.2875 | 0.1458 |
| 1.45 | 0.38285 | 0.19161 | -0.01288 | -0.00564 | 0.2857 | 0.1477 |
| 1.5 | 0.37867 | 0.18812 | -0.01208 | -0.00215 | 0.2839 | 0.1468 |
| 1.55 | 0.37267 | 0.18568 | -0.00845 | -0.00047 | 0.2845 | 0.145 |
| 1.6 | 0.36952 | 0.18149 | -0.00533 | -0.00006 | 0.2844 | 0.1457 |
| 1.65 | 0.36531 | 0.17617 | -0.00852 | -0.00301 | 0.2841 | 0.1503 |
| 1.7 | 0.35936 | 0.17301 | -0.01204 | -0.00744 | 0.284 | 0.1537 |
| 1.75 | 0.35284 | 0.16945 | -0.01386 | -0.01387 | 0.284 | 0.1558 |
| 1.8 | 0.34775 | 0.16743 | -0.01402 | -0.01492 | 0.2834 | 0.1582 |
| 1.85 | 0.34561 | 0.1673 | -0.01526 | -0.01192 | 0.2828 | 0.1592 |
| 1.9 | 0.34142 | 0.16325 | -0.01563 | -0.00703 | 0.2826 | 0.1611 |
| 1.95 | 0.3372 | 0.16171 | -0.01848 | -0.00351 | 0.2832 | 0.1642 |
| 2 | 0.33298 | 0.15839 | -0.02258 | -0.00486 | 0.2835 | 0.1657 |
| 2.05 | 0.3301 | 0.15496 | -0.02626 | -0.00731 | 0.2836 | 0.1665 |
| 2.1 | 0.32645 | 0.15337 | -0.0292 | -0.00871 | 0.2832 | 0.1663 |
| 2.15 | 0.32439 | 0.15264 | -0.03484 | -0.01225 | 0.283 | 0.1661 |
| 2.2 | 0.31354 | 0.1443 | -0.03985 | -0.01927 | 0.283 | 0.1627 |
| 2.25 | 0.30997 | 0.1443 | -0.04155 | -0.02322 | 0.283 | 0.1627 |
| 2.3 | 0.30826 | 0.14412 | -0.04238 | -0.02626 | 0.2829 | 0.1633 |
| 2.35 | 0.32071 | 0.14321 | -0.04963 | -0.02342 | 0.2815 | 0.1632 |
| 2.4 | 0.31801 | 0.14301 | -0.0491 | -0.0257 | 0.2826 | 0.1645 |
| 2.45 | 0.31401 | 0.14324 | -0.04812 | -0.02643 | 0.2825 | 0.1665 |

| | | | | | | |
|------|---------|---------|----------|----------|--------|--------|
| 2.5 | 0.31104 | 0.14332 | -0.0471 | -0.02769 | 0.2818 | 0.1681 |
| 2.55 | 0.30875 | 0.14343 | -0.04607 | -0.02819 | 0.2818 | 0.1688 |
| 2.6 | 0.31122 | 0.14255 | -0.05106 | -0.02966 | 0.2838 | 0.1741 |
| 2.65 | 0.30935 | 0.14223 | -0.05024 | -0.0293 | 0.2845 | 0.1759 |
| 2.7 | 0.30688 | 0.14074 | -0.04887 | -0.02963 | 0.2854 | 0.1772 |
| 2.75 | 0.30635 | 0.14052 | -0.04743 | -0.02919 | 0.2862 | 0.1783 |
| 2.8 | 0.30534 | 0.13923 | -0.04731 | -0.02751 | 0.2867 | 0.1794 |
| 2.85 | 0.30508 | 0.13933 | -0.04522 | -0.02776 | 0.2869 | 0.1788 |
| 2.9 | 0.30362 | 0.13776 | -0.04203 | -0.02615 | 0.2874 | 0.1784 |
| 2.95 | 0.29987 | 0.13584 | -0.03863 | -0.02487 | 0.2872 | 0.1783 |
| 3 | 0.29772 | 0.13198 | -0.03855 | -0.02469 | 0.2876 | 0.1785 |

Fuente: Akkar y Bommer 2010

Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

| Período | A | b | c | d | e | SR | SI | Ss | SsL |
|---------|-------|----------|--------|-------|---------|--------|--------|-------|--------|
| 0.00 | 1.101 | -0.00564 | 0.0055 | 1.080 | 0.01412 | 0.251 | 0 | 2.607 | -0.528 |
| 0.05 | 1.076 | -0.00671 | 0.0075 | 1.06 | 0.01463 | 0.251 | 0 | 2.764 | -0.551 |
| 0.10 | 1.118 | -0.00787 | 0.009 | 1.083 | 0.01423 | 0.24 | 0 | 2.156 | -0.42 |
| 0.15 | 1.134 | -0.00722 | 0.01 | 1.053 | 0.01509 | 0.251 | 0 | 2.161 | -0.431 |
| 0.20 | 1.147 | -0.00659 | 0.012 | 1.014 | 0.01462 | 0.26 | 0 | 1.901 | -0.372 |
| 0.25 | 1.149 | -0.0059 | 0.014 | 0.966 | 0.01459 | 0.0269 | 0 | 1.814 | -0.36 |
| 0.30 | 1.163 | -0.0052 | 0.015 | 0.934 | 0.01458 | 0.259 | 0 | 2.181 | -0.45 |
| 0.40 | 1.2 | -0.00422 | 0.01 | 0.959 | 0.01257 | 0.248 | -0.041 | 2.432 | -0.506 |
| 0.50 | 1.25 | -0.00338 | 0.006 | 1.008 | 0.01114 | 0.247 | -0.053 | 2.629 | -0.554 |
| 0.60 | 1.293 | -0.00282 | 0.003 | 1.088 | 0.01019 | 0.233 | -0.103 | 2.702 | -0.575 |
| 0.70 | 1.336 | -0.00258 | 0.0025 | 1.084 | 0.00979 | 0.22 | -0.146 | 2.654 | -0.572 |
| 0.80 | 1.386 | -0.00242 | 0.0022 | 1.088 | 0.00944 | 0.232 | -0.164 | 2.48 | -0.54 |
| 0.90 | 1.433 | -0.00232 | 0.002 | 1.109 | 0.00972 | 0.22 | -0.206 | 2.332 | -0.522 |
| 1.00 | 1.479 | -0.0022 | 0.002 | 1.115 | 0.01005 | 0.211 | -0.239 | 2.233 | -0.509 |
| 1.25 | 1.551 | -0.00207 | 0.002 | 1.083 | 0.01003 | 0.251 | -0.256 | 2.029 | -0.469 |
| 1.50 | 1.621 | -0.00224 | 0.002 | 1.091 | 0.00928 | 0.248 | -0.306 | 1.589 | -0.379 |

| | | | | | | | | | |
|------|-------|----------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|
| 2.00 | 1.694 | -0.00201 | 0.0025 | 1.055 | 0.00833 | 0.263 | -0.32 | 0.966 | -0.248 |
| 2.50 | 1.748 | -0.00187 | 0.0028 | 1.052 | 0.00776 | 0.262 | -0.337 | 0.789 | -0.221 |
| 3.00 | 1.759 | -0.00147 | 0.0032 | 1.025 | 0.00644 | 0.307 | -0.331 | 1.037 | -0.263 |
| 4.00 | 1.826 | -0.00195 | 0.004 | 1.044 | 0.0059 | 0.353 | -0.39 | 0.561 | -0.169 |
| 5.00 | 1.825 | -0.00237 | 0.005 | 1.065 | 0.0051 | 0.248 | -0.498 | 0.225 | -0.12 |

Fuente: Zhao 2006

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

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

Fuente: Zhao 2006

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

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

Fuente: Youngs 1997

Coefficientes de la regresión para eventos interplaca

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

Fuente: Atkinson y Boore 20003