



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Tema:

**“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS
HUACHI”**

AUTOR: Fabricio Paúl Cobos Torres

TUTOR: Ing. Mg. Christian Medina

Ambato – Ecuador

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Christian Medina, certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, es de autoría del Sr. Fabricio Paúl Cobos Torres, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, enero del 2017

Ing. Mg. Christian Medina

AUTORÍA

Yo, Fabricio Paúl Cobos Torres con C.I: 180485474-1, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, es de mi completa autoría.

Ambato, enero del 2017

Fabricio Paúl Cobos Torres

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, enero del 2017

Autor

Fabricio Paúl Cobos Torres

180485474-1

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, del egresado Fabricio Paúl Cobos Torres, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, enero del 2017

Para constancia firman.

Ing. Mg. Maritza Ureña

Ing. Mg. Juan Garcés

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza, guiarme en la vida que me ha dado.

A mi padre ya que por él sigo esta carrera.

A mi madre que es mi apoyo incondicional, por apoyarme en todas las metas que me he propuesto.

A mi hermano por confiar en mí y vencer los obstáculos que se presentan.

A mi familia por apoyarme en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A Dios por lo fe que le tengo y saber que en él todo se puede.

A mi padre porque me enseñó lo que uno se propone lo puede conseguir.

A mi madre por estar en todos los momentos de mi vida, guiarme por el camino correcto, aconsejarme en todas las dificultades que se me han presentado, su amor incondicional, ser el pilar en mi vida y que en ella siempre podre confiar.

A mi hermano que me apoyara en todo momento y contar con él.

A mi familia por apoyarme y no desmayar en todas las adversidades de la vida.

A mi tutor Ing. Mg. Christian Medina por su asesoría y tiempo en la realización de este trabajo.

Al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional por la información proporcionada para el alcance de esta investigación.

ÍNDICE

A. PÁGINAS PRELIMINARES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.....	I
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XIV

B. TEXTO

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivos General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
FUNDAMENTACIÓN.....	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1.1 Tectónica de Placas.....	4
2.1.2 Peligro Sísmico.....	8
2.2 HIPÓTESIS.....	14
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	14
2.3.1 Variable Dependiente.....	14
2.3.2 Variable Independiente.....	14

CAPÍTULO III	15
METODOLOGÍA.....	15
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	15
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	16
3.3.1 Variable Independiente.....	16
3.3.2 Variable Dependiente.....	16
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	17
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	18
CAPÍTULO IV.....	19
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	19
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	19
4.1.1 Régimen Tectónico.....	19
4.1.2 Selección de Fallas Geológicas.....	22
4.1.3 Características del Suelo.....	25
4.1.3.1 Ensayo de Penetración Estándar.....	30
4.1.4 Velocidad media de la onda de cortante V_{s30}	35
4.1.5 Ecuaciones de atenuación para cortical intraplaca.....	38
4.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008).....	38
4.1.5.2 Modelo Akkar y Bommer (2010).....	42
4.1.5.3 Modelo Kanno (2006).....	43
4.1.6 Ecuaciones de atenuación para subducción.....	44
4.1.6.1 Modelo Youngs (1997).....	44
4.1.6.2 Modelo Zhao (2006).....	45
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	46
4.2.1 Magnitud de las fallas.....	46
4.2.3 Cálculo de Espectros.....	47
4.2.3.1 espectros calculados con el Modelo de Boore y Atkinson.....	47
4.2.3.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer.....	48
4.2.3.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno.....	49
4.2.3.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs.....	50
4.2.3.5 Espectros calculados con el Modelo de Zhao.....	51
4.2.4 Espectros con los modelos para una falla.....	51

4.2.5 Espectros con la NEC-15.....	53
4.2.6 Espectros de todos los modelos con la NEC-15.....	55
4.2.7 Espectros crítico comparado con la NEC-15.....	56
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	59
CAPÍTULO V.....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1 CONCLUSIONES.....	60
5.2 RECOMENDACIONES.....	61
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	62
1. BIBLIOGRAFÍA.....	62
2. ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS

Tabla 1. Mapa de Zonificación Sísmica en Ecuador.....	13
Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente.....	16
Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente.....	16
Tabla 4. Plan de recolección de información.....	17
Tabla 5. Intensidades sentidas en la ciudad de Ambato.....	21
Tabla 6. Fallas Geológicas con la longitud.....	24
Tabla 7. Clasificación de suelos.....	25
Tabla 8. Clasificación de suelos para Laboratorio FICM.....	26
Tabla 9. Clasificación de suelos para FICM.....	26
Tabla 10. Clasificación de suelos para Parqueadero FICM.....	28
Tabla 11. Clasificación de suelos para pista UTA.....	29
Tabla 12. Clasificación de los Perfiles de Suelo.....	31
Tabla 13. Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM.....	32
Tabla 14. Ensayo de Penetración Estándar – FICM.....	33
Tabla 15. Ensayo de Penetración Estándar – Parqueadero FICM.....	34
Tabla 16. Ensayo de Penetración Estándar – Pista UTA.....	35
Tabla 17. Valores Vs30.....	37
Tabla 18. Valores para espectro de aceleración crítico.....	56
Tabla 19. Valores para Período de Vibración.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Placas Tectónicas.....	4
Figura 2. Zona de subducción.....	5
Figura 3. Zona de colisión.....	5
Figura 4. Zona de falla transformante.....	6
Figura 5. Hipocentro y Epicentro.....	7
Figura 6. Falla Normal.....	7
Figura 7. Falla Inversa.....	8
Figura 8. Falla Transcurrente.....	8
Figura 9. Mapa de Zonificación Sísmica en Ecuador.....	10
Figura 10. Límites de placa y velocidades de movimiento.....	20
Figura 11. Fallas Geológicas del Ecuador.....	22
Figura 12. Fallas Geológicas Tungurahua.....	23
Figura 13. Fallas Geológicas Ambato.....	23
Figura 14. Fallas Geológicas en el área de estudio.....	24
Figura 15. Valores de Sigma.....	43
Figura 16. Espectro de aceleración modelo Boore y Atkinson.....	48
Figura 17. Espectro de aceleración modelo Akkar y Bommer.....	49
Figura 18. Espectro de aceleración modelo Kanno.....	49
Figura 19. Espectro de aceleración modelo Youngs.....	50
Figura 20. Espectro de aceleración modelo Zhao.....	51
Figura 21. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Huachi.....	51
Figura 22. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer para la falla de Ambato.....	52
Figura 23. Espectros de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer para la falla de Totoras.....	52
Figura 24. Espectros de aceleración modelo Youngs, Kanno para la falla de Nazca.....	53
Figura 25. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Huachi.....	53
Figura 26. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Ambato.....	54

Figura 27. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Totoras.....	54
Figura 28. Espectro de aceleración modelo Youngs, Kanno, NEC-15.....	55
Figura 29. Todos los espectros comparados con la NEC-15.....	55
Figura 30. Espectro crítico comparado con la NEC-15.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....	65
Fotografía 1. Martinete.....	65
Fotografía 2. Trípode	65
Fotografía 3. Motor	65
Fotografía 4. Hincando martinete.....	66
Fotografía 5. Suelo obtenido.....	66
Fotografía 6. Medir muestra de suelo.....	66
Fotografía 7. Pesando suelo.....	67
Fotografía 8. Pesando suelo grueso.....	67
Fotografía 9. Pesando muestra primer metro.....	67
ANEXO B.....	68
B-1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período.....	68
B-2. Coeficientes 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 p_{ga4nl}).....	69
B-3. Coeficientes de escala de magnitud.....	70
ANEXO C.....	71
C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración espectral.....	71
ANEXO D.....	76
D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de $p_{ga} 5\%$	76
ANEXO E.....	77
E-1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo.....	77
ANEXO F.....	78
F-1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria.....	78
F-2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción.....	79

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: "ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI"

Autor: Fabricio Paúl Cobos Torres

Tutor: Ing. Mg. Christian Medina

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto de investigación se calculó el período de vibración para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato, lo que corresponde a una aceleración de gravedad S_a (g), tomada del espectro específico, para compararlo con el espectro de aceleración de la NEC-15. Para determinar este proceso se realizaron los siguientes pasos: establecer el régimen tectónico en base al área de estudio, seleccionar las fallas geológicas más importantes que afectan al área de estudio, por medio del ensayo de penetración estándar se calcula la velocidad media de la onda de cortante V_{s30} para el tipo de perfil, en base a la longitud se calcula la magnitud de momento de cada falla, por medio de parámetros como distancia al epicentro, profundidad focal se determina las ecuaciones de atenuación obteniendo espectros de aceleración, mediante una envolvente de todos los espectros de aceleración se obtiene un espectro específico el que se compara con el espectro de la norma.

El valor de la aceleración de gravedad con respecto al periodo de vibración calculado es mayor que el de la norma, lo que resulta en un subdimensionamiento al estimar la carga sísmica con la norma.

ABSTRACT

In the present research project the period of vibration for the structures of the Technical University of Ambato was calculated, which corresponds to an acceleration of gravity S_a (g), taken from the specific spectrum, to compare it with the acceleration spectrum of the NEC -fifteen. In order to determine this process, the following steps were performed: establishing the tectonic regime based on the study area, selecting the most important geological faults that affect the study area, using the standard penetration test, the average wave velocity Shear V_{s30} for the profile type, based on the length is calculated the moment magnitude of each fault, by means of parameters such as distance to the epicenter, focal depth is determined the attenuation equations obtaining acceleration spectra, by means of an envelope of all The acceleration spectra yields a specific spectrum which is compared to the spectrum of the norm.

The value of the acceleration of gravity with respect to the period of vibration calculated is greater than that of the norm, which results in an undersizing when estimating the seismic load with the norm.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“Estudio de Peligro Sísmico Determinista para las Estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi”.

1.2 ANTECEDENTES

Según Alvarado y Valdebenito consideran: “Los estudios de microzonificación sísmica y estudios geológicos y geotécnicos forman parte fundamental para los suelos que presentan similar respuesta dinámica” [1]

Según el Ing. Diego Quizanga en su tesis de magister considera: “En el norte de Quito el espectro crítico está asociado al segmento de falla Ilumbisila Bota, se obtiene aceleraciones con valores altos en la ordenada, de igual manera las aceleraciones encontradas en el sur son valores altos si se los compara con el espectro de la normativa”. “Los espectros críticos obtenidos tienen una forma similar al espectro normativo, excepto el espectro para perfil tipo E que tiene un V_{s30} a 200 m/s, la normativa indica que para el perfil tipo E el V_{s30} son menores a 180 m/s y para estos valores las ecuaciones de atenuación no son aplicables”. [2]

Según el Dr. Aguiar considera: “Se debe incrementar los factores de aceleraciones espectrales elásticas debido a las ondas sísmicas en caso de producirse un sismo debido a las fallas ciegas”. [3]

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción considera: “Ecuador tiene 6 zonas sísmicas, donde su amenaza sísmica va desde intermedia hasta muy alta, el litoral ecuatoriano presenta una amenaza sísmica muy alta, Ambato se encuentra en la quinta

zona con un valor de Z de 0.40, esto se refleja en un mapa de zonificación sísmica para diseño que proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años” [4]

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

1.3 JUSTIFICACIÓN

En base a la tectónica de placas por movimiento y colisión da como resultado el cinturón de fuego, se identifica por concentrar zonas de subducción más importantes del mundo, lo que provoca actividad sísmica y volcánica. Abarca países de entre los cuales se encuentra Ecuador, todos los países que rodean el cinturón su seguridad sísmica corre peligro de no tener una normativa para cumplir los requisitos mínimos de construcción. Los sismos de gran magnitud han destruido ciudades de países que rodean el cinturón de fuego, El mayor terremoto registrado en la historia fue en Chile, su magnitud alcanzó los 9.5 Mw. [5]

Ecuador está localizado dentro de una zona sísmica muy activa de la tierra, el cual se denomina cinturón de fuego, abarca la Placa de Nazca y la Sudamericana. Existe un mapa de zonas sísmicas donde se diferencia las zonas de alto peligro sísmico con las menos afectadas. La subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana son las principales fuentes de energía sísmica en Ecuador. En base a este régimen tectónico de fallas local superficiales que produce sismos de gran magnitud en el territorio ecuatoriano. [4] [6]

Ambato es una zona de alto peligro sísmico por las fallas geológicas que abarca su área, según lo detectado por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, en el cual existen suelos vulnerables. Ambato en la parte sur no cuenta con un estudio de las fallas geológicas, con lo cual este trabajo determinará con qué tipo de suelo cuenta,

magnitud máxima del área de estudio de las fallas seleccionadas, para reducir el peligro sísmico de edificaciones y obtener seguridad sísmica. [7]

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

Realizar el estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Seleccionar las fallas más importantes que abarca el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Calcular la magnitud máxima de las fallas seleccionadas.
- Comparar el espectro obtenido del análisis de peligro sísmico de la NEC.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Tectónica de Placas

Los terremotos están relacionados con la estructura interna de nuestro planeta. La tectónica de placas considera que la litósfera está dividida en varios segmentos de roca rígida, denominados placas, existen varias grandes placas tectónicas, las placas flotan sobre el manto basáltico y a este fenómeno se lo considera deriva continental. Placas porque la superficie de la tierra está dividida en placas que se mueven y tectónica que se procede del término construir, lo que se considera un ciclo de creación y destrucción. [8]

El concepto básico de la tectónica de placas es simple: El aire caliente asciende por encima del aire frío y las corrientes de agua caliente flotan por encima de las de agua fría. [8]

Figura 1. Placas Tectónicas



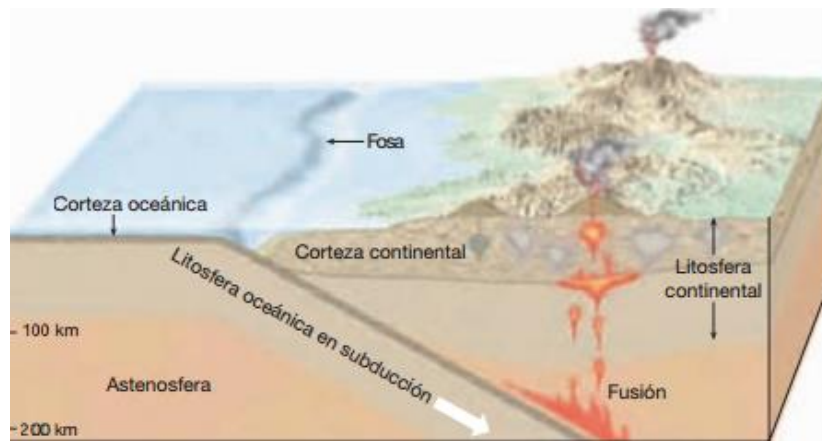
Fuente: Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

Tipos de regímenes tectónicos:

En la corteza terrestre existen diferentes tipos de zonas, las cuales son:

La corteza se destruye progresivamente en las zonas de subducción donde unas placas se hunden debajo de otras, es decir una placa oceánica se introduce debajo de una continental y pasan a fundirse con el manto. [8]

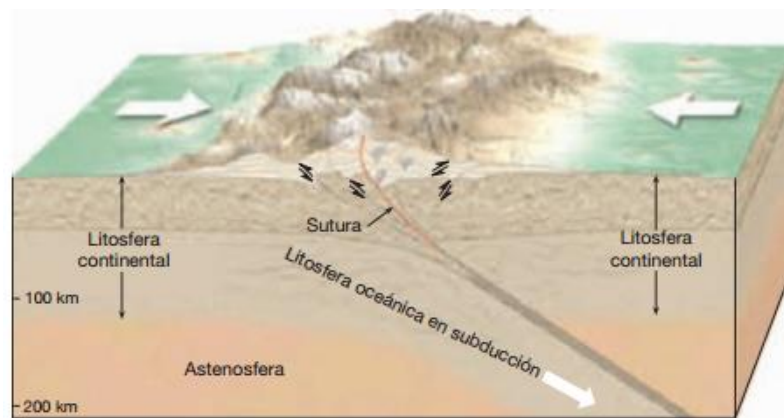
Figura 2. Zona de subducción



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

Cuando el choque se da entre placas continentales se produce una gran deformación, se la considera como zonas de colisión. [8]

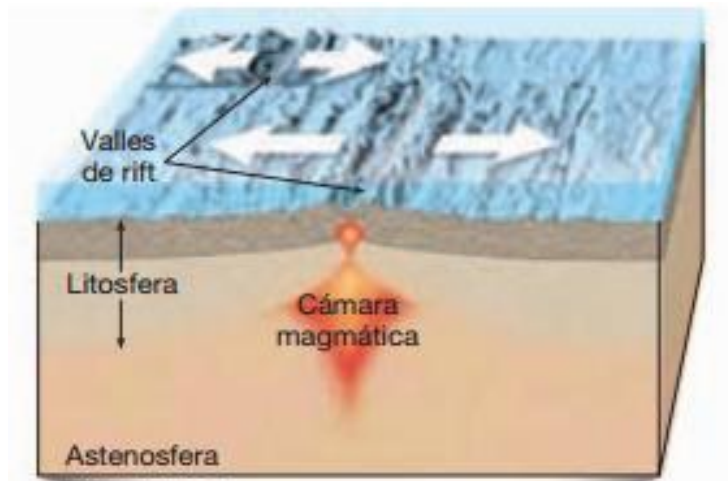
Figura 3. Zona de colisión



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

La falla transformante se manifiesta cuando el movimiento es lateral y no existe ni creación ni destrucción de material cortical. [8]

Figura 4. Zona de falla transformante



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

Tipos de terremotos:

Un terremoto es un movimiento o vibración repentina causada por la liberación de energía por la corteza terrestre, que se propaga en forma de ondas sísmicas, cuanto mayor es su magnitud mayor es su energía liberada. Se puede distinguir tres tipos principales de terremotos: [8]

Terremotos Tectónicos

El movimiento de las placas tectónicas, ya sea por subducción, colisión o transformante, propician una liberación de energía por medio de un movimiento sísmico. Esto conlleva movimientos en la corteza terrestre y la aparición de fallas o terremotos. Este tipo de terremoto es considerado como uno de los más devastadores por su brusquedad y violencia, así como por su frecuencia e intensidad. [8]

Terremotos Volcánicos

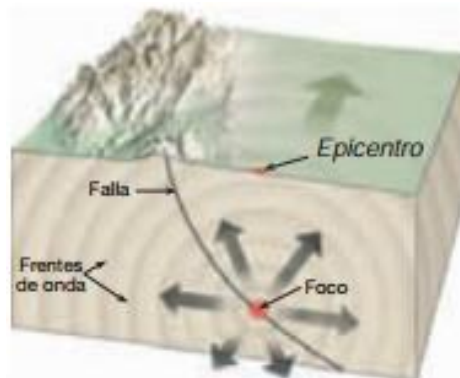
Este tipo de terremoto se genera por la actividad volcánica, los terremotos que surgen de esta forma suelen tener una intensidad y magnitud mucho menor y menos devastadora. [8]

Microsismos

Son leves vibraciones de la corteza terrestre, suelen tener una intensidad y magnitud menor. [8]

La corteza terrestre libera energía bruscamente produciendo un terremoto, el lugar donde se produce la ruptura sísmica se denomina hipocentro, y el lugar vertical hacia la superficie a este se denomina epicentro, desde el hipocentro se liberan ondas sísmicas las cuales el primer lugar en recibir las en la superficie es el epicentro. [8]

Figura 5. Hipocentro y Epicentro



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

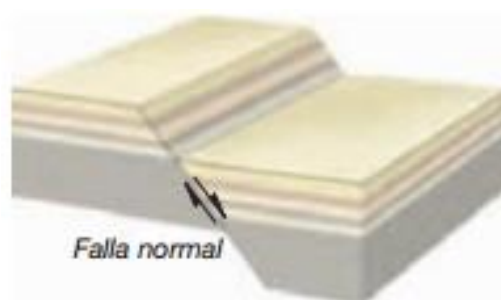
La **magnitud** es una medida cuantitativa de la cantidad de energía total liberada por un terremoto. [8]

Tipos de Falla

Cuando se puede observar una fractura en el terreno, se considera una falla que se formó por esfuerzos tectónicos o gravitatorios actuantes en la corteza, las fallas son desplazamientos que se forman por la fractura de las rocas superficiales de la tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas y pueden ser:

La **Falla Normal** se manifiesta cuando el bloque superior se desliza descendiendo en la dirección del plano de falla. [8]

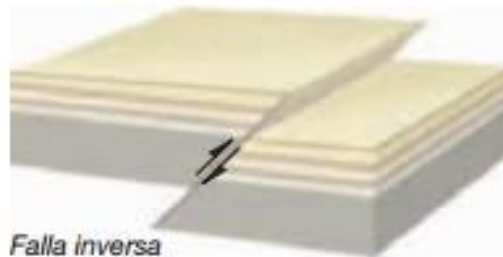
Figura 6. Falla Normal



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

La **Falla Inversa** se manifiesta cuando el bloque superior se desliza ascendiendo en la dirección del plano de falla. [8]

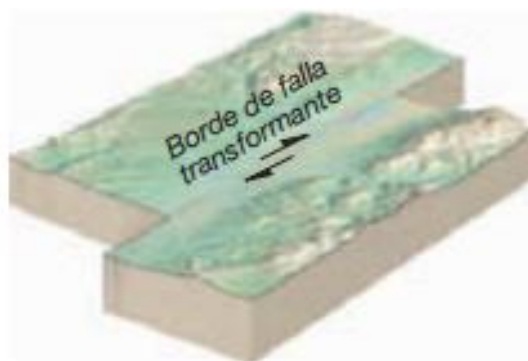
Figura 7. Falla Inversa



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

La **Falla de Transcurrente** se manifiesta cuando un bloque se desliza lateralmente respecto al otro siguiendo la dirección del plano de falla. [8]

Figura 8. Falla Transcurrente



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

2.1.2 Peligro Sísmico

Es la probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [4]

Los tipos de peligro sísmico son:

Peligro Sísmico Probabilístico

El peligro sísmico probabilístico permite identificar, cuantificar y combinar de una manera racional, el tamaño, ubicación y tiempo de ocurrencia de los sismos para proporcionar una evaluación más completa de la amenaza sísmica. [10]

Peligro Sísmico Determinista

Consiste en asumir un escenario sísmico sobre el cual se basa la evaluación del peligro del movimiento sísmico en un lugar determinado, donde los pasos a seguir son: [8]

- a) Identificación de todas fuentes sísmicas capaces de producir sismos significativos en el área de estudio.
- b) Distancia de la fuente sísmica al sitio para cada fuente, se toma la menor distancia entre la fuente y el lugar de estudio. La distancia puede ser epicentral o hipocentral, dependerá de la ley de atenuación a utilizar.
- c) Seleccionar el sismo que produzca mayor movimiento expresado en magnitud.
- d) Determinación del peligro, el movimiento sísmico en el área de estudio por la fuente sísmica predominante producirá un sismo de magnitud alta, para lo cual se utilizará las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE`s) validadas por el Global Earthquake Model (GEM). [10]

Zonificación Sísmica en Ecuador

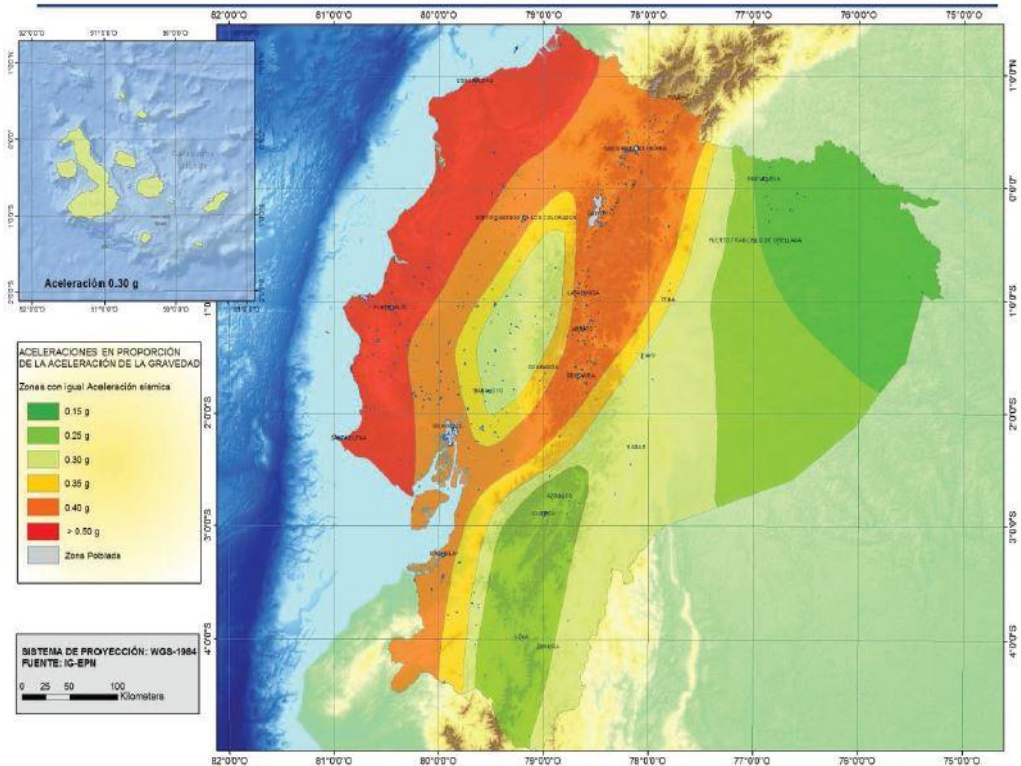
El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [4]

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: [4]

- La evaluación de los principales eventos históricos acompañada de un estudio moderno de re-evaluación de la magnitud y localización de dichos eventos.
- 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 sismo genéticas y

sus parámetros sismológicos (rumbo, buzamiento, magnitud mínima de homogeneidad, tasa media de actividad sísmica, magnitud máxima probable y tasas de recurrencia). [4]

Figura 9. Mapa de Zonificación Sísmica en Ecuador



Fuente: Peligro Sísmico NEC 2015

GMPEs

El objetivo del proyecto GMPE, es la selección de una serie de ecuaciones predeterminadas para diferentes regiones tectónicas del planeta de los cientos de ecuaciones disponibles. [9]

Los modelos propuestos se los obtiene a partir de las aceleraciones y/o velocidades espectrales se formulan en función de la magnitud y distancia, para el rango de frecuencias de interés. Generalmente en los modelos interviene también el tipo de suelo en el emplazamiento, que se incluye a través de un factor S que lo identifica, según la clasificación adoptada. Una diferencia esencial entre los distintos modelos es la zona fuente de los datos, que condiciona su aplicación a zonas de características afines. Además, hay variaciones en las escalas de magnitud y distancia introducidas,

así como en los rangos de validez del modelo atendiendo a estos parámetros. Por todo ello, para realizar una correcta aplicación, es importante examinar previamente las características principales de cada modelo y extraer la información necesaria para el posterior cálculo de espectros. [12]

Dónde se escogerá las siguientes:

Sismos Intraplaca (Fallamiento Cortical)

➤ **Boore y Atkinson (2008)**

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

Donde:

F_{M,D,S}: Coeficientes

M: Magnitud de momento

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

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

➤ **Akkar y Bommer (2010)**

$$\begin{aligned} \log y = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R^2 j b + b^2 c} + b_7S_s + b_8S_A \\ & + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon \sigma \end{aligned} \quad (2)$$

Dónde:

b: Coeficientes

F_N: Falla normal

F_R: Falla inversa

M: Magnitud de momento

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

S_A: Suelo rígido

S_s: Suelo suave

➤ **Kanno et al. (2006)**

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a_1M_w + b_1X - \log(X + d_1 * 10^{e_1M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (3)$$

Si $D > 30$ Km:

$$\text{Log pre} = a_2M_w + b_2X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2 \quad (4)$$

Dónde:

D: Profundidad Focal

a, b, c, d: Coeficientes

M_w: Magnitud de momento

X: Distancia de la fuente

Sismos Subducción

➤ **Youngs et al. (1997)**

$$\begin{aligned} \text{Ln } y = & -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \\ & * \text{Ln}(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Z_t \end{aligned} \quad (5)$$

Dónde:

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficientes

R: Distancia fuente a sitio

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

Z_t: Tipo de falla

➤ **Zhao (2006)**

$$\begin{aligned} \log y = & aM_w + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL \log(x) \\ & + Ck \end{aligned} \quad (6)$$

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b, e, Ck: Coeficientes

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal

hc: Constante

Ck: Clase de sitio

Magnitud de Momento

La magnitud de momento se obtendrá por medio de Wells – Coppersmith nos dice: Los análisis probabilísticos como deterministas, requieren una evaluación del futuro potencial del terremoto en una región. Es necesario estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían ser generados por una falla particular o una fuente de terremoto. El futuro potencial de terremoto de un fallo comúnmente se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, ya que están relacionados con la magnitud del terremoto. [11]

Tabla 1. Mapa de Zonificación Sísmica en Ecuador

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

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

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

Fuente: Wells – Coppersmith

El análisis de riesgo sísmico, tanto probabilista y determinista, requieren una evaluación del potencial futuro de un sismo en una región. Es necesario para estimar el tamaño de los sismos más grandes que podrían ser generados por un fallo en particular o fuente del sismo. Los sismos más grandes posibles a lo largo de fallas individuales se han producido durante el periodo histórico. El sismo se evalúa a partir de las estimaciones de los parámetros de ruptura de fallas que son a su vez, en relación con la magnitud del sismo. [11]

2.2 HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi?

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi.

2.3.2 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

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

Exploratorio porque el peligro sísmico para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi no se ha realizado, la metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro propuesto por la NEC-15.

De laboratorio ya que se realizará ensayos que permitan determinar el tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT. Se utilizará el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato. Para ello es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y las GMPE`s que se va a utilizar.

Muestra:

Por ser un trabajo experimental se tomará lo que recomienda la NEC-15, lo mínimo recomendado debe ser 3 perforaciones para el estudio de suelos.

Los GMPE`s que se utilizarán son:

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

determinado sitio, durante un período de tiempo.		- Distancia desde el punto sísmico hasta el punto de estudio	-¿La distancia que existe tiene relevancia en la amenaza producida?	- Experimental -Bibliográfica
--	--	--	---	-------------------------------------

Fuente: Paúl Cobos

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 4. Plan de recolección de información

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	- Para evaluar el peligro en el campus Huachi mediante la determinación de espectros de respuesta 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?	- Fabricio Paúl Cobos Torres.
5. ¿Dónde?	- Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
6. ¿Cómo?	- Investigación bibliográfica - Ensayos de laboratorio - Norma NEC-15

Fuente: Paúl Cobos

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El proceso a seguir será de la siguiente manera:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio.
- Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador.
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells – Coppersmith. [11]
- Identificación del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Estimar la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs).
- Comparación de espectro de respuesta analizada con los de la NEC-15.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Régimen Tectónico

La Universidad Técnica de Ambato se encuentra en la ciudad de Ambato ubicada sobre los 2580 msnm, se encuentra en la región interandina del Ecuador. La ciudad está ubicada en la provincia de Tungurahua en una región sísmica y volcánica. [13]

La ocurrencia de los sismos en la ciudad de Ambato puede tener dos fuentes diferentes que son la tectónica (cortical y subducción) y la volcánica. [13]

Los sismos de origen tectónico pueden alcanzar magnitudes M_w de hasta 9.5, los sismos de origen volcánico generan magnitudes M_w menores a 3. El terremoto de Ambato o Pelileo del 5 de agosto de 1949 tuvo una magnitud calculada en función de las intensidades generadas de 6.8. [13]

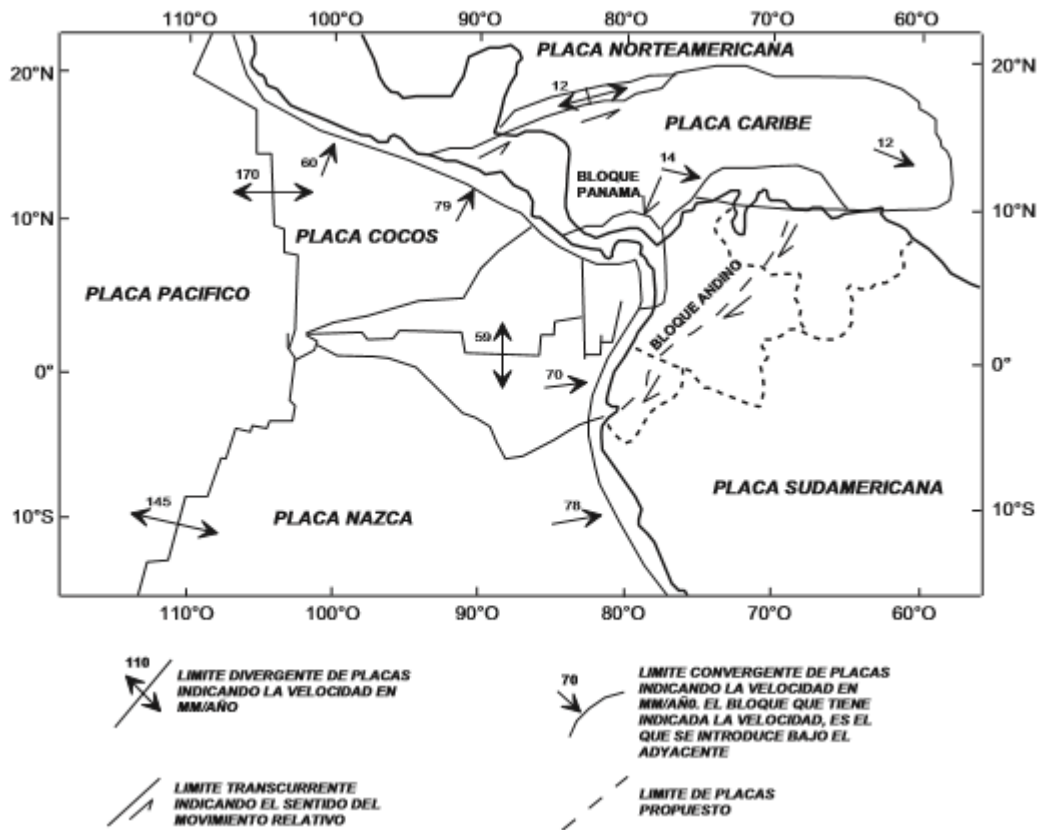
El Ecuador tiene tres tipos de regímenes tectónicos que son: Cortical, subducción interplaca y subducción intraplaca. [13]

Una parte del territorio continental se encuentra sobre una micro placa denominada “Bloque Andino” que fue descrita por Pegginton (1981). Esta micro placa está controlada por la interacción de las placas Sudamericana, Nazca, Cocos y Caribe. [13]

La placa oceánica de Nazca esta subduciendo a la placa sudamericana con dirección $N83^\circ E$ (Kendric et al 2003), y el bloque andino se desplaza con dirección $N35^\circ E$ (Kendric et al 2003; Nocquet el 2009). [13]

La figura 4.1 muestra los límites de placas propuestos por Ego et al en 1995. Se puede observar las velocidades de convergencia entre placas en mm/año. La placa de Nazca converge bajo la placa Sudamericana a una velocidad de 7 cm por año.

Figura 10. Límites de placa y velocidades de movimiento



Fuente: Ego 1995

El estudio de la convergencia entre placas es de gran importancia para la evaluación del peligro sísmico en la ciudad de Ambato ya que son una fuente sísmica de eventos que podrían afectar a la ciudad. [13]

Entre los sismos de mayor intensidad que fueron sentidos en la ciudad de Ambato fueron:

El sismo del 5 de agosto de 1949 fue registrado en la provincia de Tungurahua, su epicentro fue en Pelileo, ubicada en una falla al sur del Nido sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 Km nororiente de Pelileo, que alcanzó una magnitud de Mw 6.8. [13]

El más reciente sismo del 16 de abril de 2016 fue registrado en la provincia de Manabí, su hipocentro se ubicó frente a pedernales, fue resultado del desplazamiento de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, teniendo como resultado la subducción, que alcanzó una magnitud de Mw 7.8. [13]

El mismo fenómeno de subducción se originó en los sismos de: 31 de enero de 1906 (Mw 8.8), que es el más grande registrado en Ecuador, 14 de mayo de 1942 (Mw 7.8), 19 de enero de 1958 (Mw 7.8), 12 de diciembre de 1979 (Mw 8.1). [13]

Tabla 5. Intensidades sentidas en la ciudad de Ambato

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

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

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

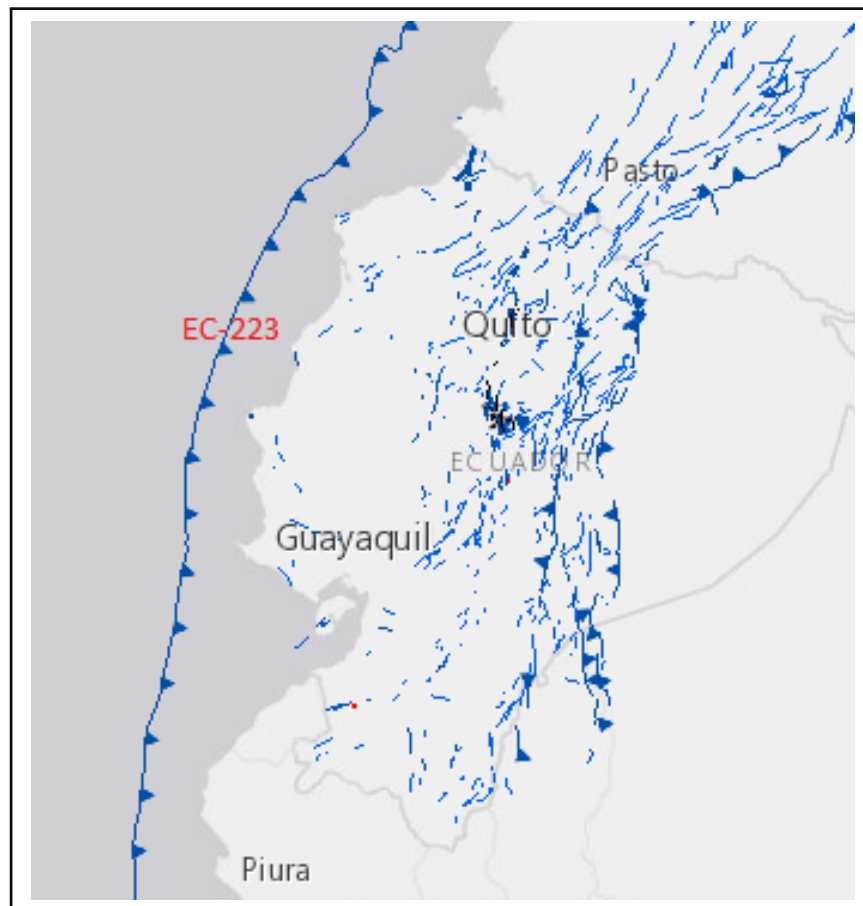
Es importante recordar que la intensidad se mide por el grado de daños a las construcciones, la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo. Ya que eventos históricos no han sido registrados mediante instrumentos.

No se han determinado si estas fallas sean el anuncio de un gran sismo, pero si se puede señalar que están dando una liberación de energía. No existen pruebas ni estudios que demuestren que por estas fallas geológicas se hayan producido sismos de gran magnitud. Los movimientos originados solo se los ha detectado con los equipos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvieron su epicentro en Pisayambo-Píllaro provincia de Tungurahua. [13]

Por esta razón la ciudad de Ambato necesita de registros en acelerógrafos para el monitoreo tectónico.

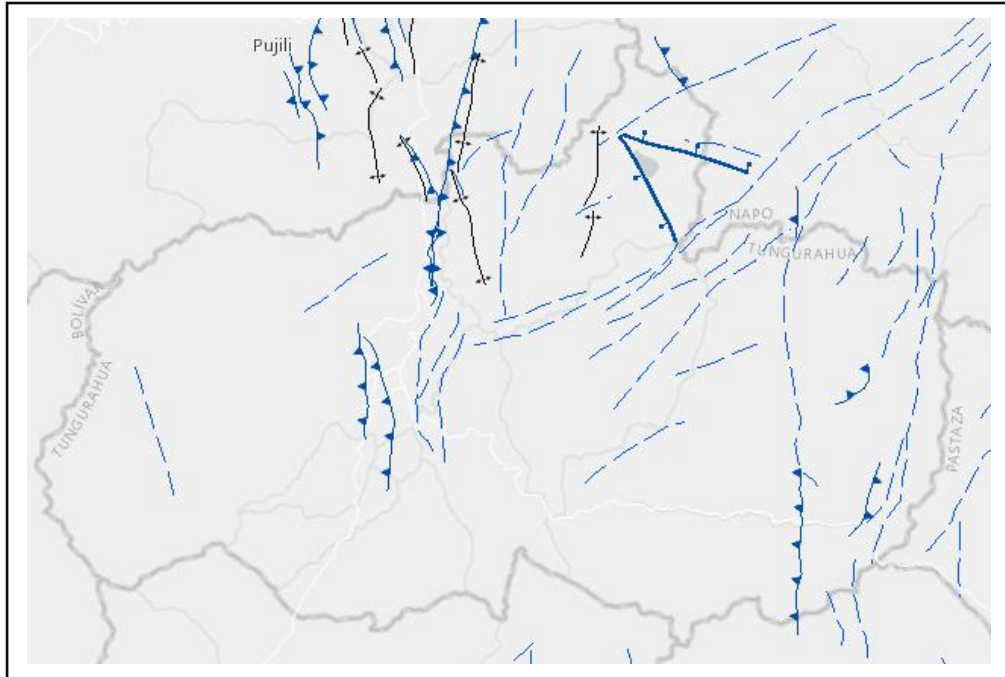
4.1.2 Selección de Fallas Geológicas

Figura 11. Fallas Geológicas del Ecuador



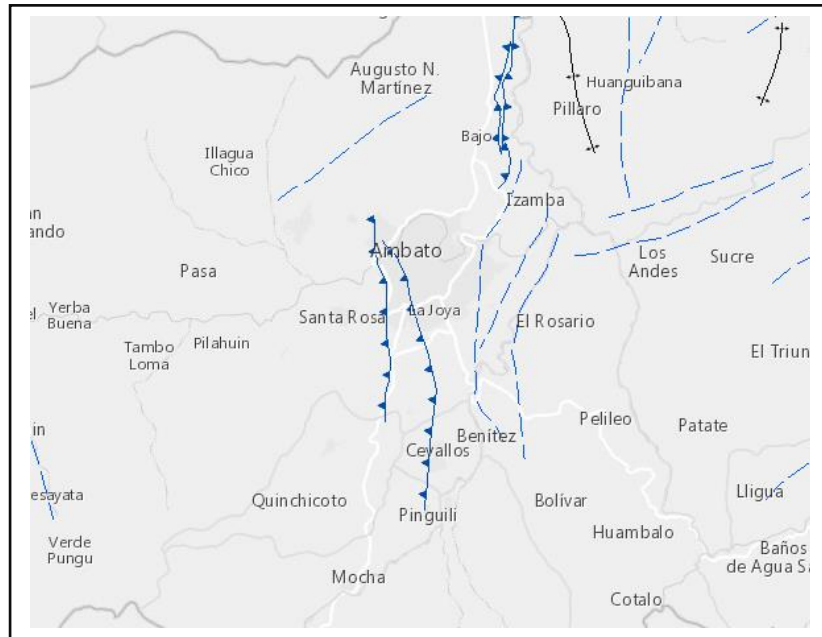
Fuente: NeoTec – Ecuador

Figura 12. Fallas Geológicas Tungurahua



Fuente: NeoTec - Ecuador

Figura 13. Fallas Geológicas Ambato



Fuente: NeoTec – Ecuador

Figura 14. Fallas Geológicas en el área de estudio



Fuente: NeoTec - Ecuador

En el siguiente cuadro se especifica las fallas seleccionadas con su respectiva longitud y distancia desde la fuente al sitio de estudio: [2]

Tabla 6. Fallas Geológicas con la longitud

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA (KM)
EC-223	Placa de Nazca	Subducción	1540.91	291.5
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	12.08	1.8
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	16.35	0.5
EC-345	Totoras	Transcurrente Inversa Ciega	17.5	3.6

Fuente: NeoTec - Ecuador

4.1.3 Características del Suelo

Tabla 7. Clasificación de suelos

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 ^{II}	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM
		ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Areña 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 ^{III}	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
				Areña 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)	Areña 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
			Areña arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC	
	SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite líquido	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 ORGANICOS			Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P _t		

Fuente: SUCS

En las siguientes tablas se determinará la granulometría, respectivamente se establecerá el tipo de suelo por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 8. Clasificación de suelos para Laboratorio FICM

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO			
# 4	22.2	2.79	97.21
# 200	625.4	78.65	21.35
Fuente	147.6	18.56	
Total	795.2	100	
SEGUNDO METRO			
# 4	57.9	6.81	93.19
# 200	610.0	71.73	28.27
Fuente	182.5	21.46	
Total	850.4	100	
TERCER METRO			
# 4	47.3	4.51	95.49
# 200	827.7	78.91	21.09
Fuente	173.9	16.58	
Total	1048.9	100	

Elaboración: Paúl Cobos

De la anterior tabla se determina que en todos los metros 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 consiguiente, el tipo de suelo es arena.

Tabla 9. Clasificación de suelos para FICM

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO			
# 4	24.2	4.45	95.55
# 200	425.7	78.30	21.7
Fuente	93.8	17.25	
Total	543.7	100	
SEGUNDO METRO			
# 4	5.8	1.32	98.68

# 200	399.9	90.80	9.2
Fuente	34.7	7.88	
Total	440.4	100	
TERCER METRO			
# 4	8.4	1.02	98.98
# 200	698.5	84.96	15.04
Fuente	115.3	14.02	
Total	822.2	100	
CUARTO METRO			
# 4	64.3	10.20	89.8
# 200	453.6	71.93	28.07
Fuente	112.7	17.87	
Total	630.6	100	
QUINTO METRO			
# 4	35.5	8.21	91.79
# 200	351.3	81.28	18.72
Fuente	45.4	10.50	
Total	432.2	100	
SEXTO METRO			
# 4	40.6	10.70	89.3
# 200	309.7	81.61	18.39
Fuente	29.2	7.69	
Total	379.5	100	

Elaboración: Paúl Cobos

De la anterior tabla se determina que en todos los metros 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 consiguiente, el tipo de suelo es arena.

Tabla 10. Clasificación de suelos para Parqueadero FICM

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO			
# 4	23.5	4.38	95.62
# 200	420.2	78.33	21.67
Fuente	92.7	17.28	
Total	536.4		
SEGUNDO METRO			
# 4	5.1	1.16	98.84
# 200	397.4	90.77	9.23
Fuente	35.3	8.06	
Total	437.8	100	
TERCER METRO			
# 4	7.32	0.88	99.12
# 200	706.5	84.89	15.11
Fuente	118.4	14.23	
Total	832.22	100	
CUARTO METRO			
# 4	65.4	8.80	91.2
# 200	566.3	76.18	23.82
Fuente	111.7	15.02	
Total	743.4	100	
QUINTO METRO			
# 4	37.1	8.53	91.47
# 200	350.5	80.57	19.43
Fuente	47.4	10.90	
Total	435	100	
SEXTO METRO			
# 4	41.3	10.74	89.26
# 200	312.6	81.32	18.68
Fuente	30.5	7.93	
Total	384.4	100	

Elaboración: Paúl Cobos

De la anterior tabla se determina que en todos los metros 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 consiguiente, el tipo de suelo es arena.

Tabla 11. Clasificación de suelos para pista UTA

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	% PASA
PRIMER METRO			
# 4	25.3	3.08	96.92
# 200	643.7	78.36	21.64
Fuente	152.5	18.56	
Total	821.5	100	
SEGUNDO METRO			
# 4	58.3	6.57	93.43
# 200	635.8	71.66	28.34
Fuente	193.1	21.77	
Total	887.2	100	
TERCER METRO			
# 4	52.3	4.85	95.15
# 200	845.7	78.35	21.65
Fuente	181.4	16.81	
Total	1079.4	100	
CUARTO METRO			
# 4	55.3	4.95	95.05
# 200	870.8	77.99	22.01
Fuente	190.5	17.06	
Total	1116.6	100	

Elaboración: Paúl Cobos

De la anterior tabla se determina que en todos los metros 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 consiguiente, el tipo de suelo es arena.

4.1.3.1 Ensayo de Penetración Estándar

Para este procedimiento se lleva a cabo lo indicado en la norma INEN 689, donde explica los pasos para realizar el ensayo de penetración estándar: [14]

- Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzando en caída libre desde una altura de 75 +- cm sobre la cabeza de golpe. [14]
- Debe usarse un cabo de manila para el izaje del martinete, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo debe enrollarse máximo dos veces. [14]
- La barra de acero debe estar completamente vertical para asegurar la energía de los golpes. [14]
- Se inicia el ensayo contando el número de golpes para penetrar 15 cm en dos intervalos el muestreador, lo determina resistencia a la penetración de dicho suelo. [14]
- Si al realizarlo sobrepasa los 50 golpes, sin haber penetrado la totalidad de cada intervalo, se anotará el número de golpes y la longitud de penetración del muestreador. [14]
- Antes de extraer el muestreador a la superficie se debe girar por lo menos dos revoluciones, para cortar la muestra, posteriormente se extrae y se mide la longitud de la muestra obtenida, desechando la parte superior ya que no es representativa. [14]
- La muestra se describe en la norma INEN 693, se lo cierra herméticamente para su envío a laboratorio. [14]
- Se debe etiquetar las muestras adecuadamente con todos los datos necesarios para realizar los ensayos requeridos. [14]

Tabla 12. Clasificación de los Perfiles de Suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 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 $> S_u \geq 50$ 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 2015

Dónde:

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

Vs30: Velocidad media de la onda de cortante

Tabla 13. Ensayo de Penetración Estándar – Laboratorio FICM

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	NSPT (medio)	Tipo de Perfil
55	Limpieza	16	37	D
70	6			
85	7			
100	9			
155	Limpieza	57		
170	40			
185	33			
200	24			
255	Limpieza			
270	Rechazo			
285				
300				

Elaboración: Paúl Cobos

Tabla 14. Ensayo de Penetración Estándar – FICM

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	NSPT (medio)	Tipo de Perfil
55	Limpieza	18	30	D
70	10			
85	7			
100	11			
155	Limpieza	51		
170	19			
185	22			
200	29			
255	Limpieza	32		
270	17			
285	18			
300	14			
355	Limpieza	19		
370	5			
385	9			
400	10			
455	Limpieza	32		
470	30			
485	17			
500	15			
555	Limpieza			
570	Rechazo			
585				
600				

Elaboración: Paúl Cobos

Tabla 15. Ensayo de Penetración Estándar – Parqueadero FICM

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)		Tipo de Perfil
55	Limpieza	18	32	D
70	12			
85	7			
100	11			
155	Limpieza	54		
170	17			
185	25			
200	29			
255	Limpieza	34		
270	14			
285	18			
300	16			
355	Limpieza	19		
370	4			
385	10			
400	9			
455	Limpieza	33		
470	31			
485	16			
500	17			
555	Limpieza			
570	Rechazo			
585				
600				

Elaboración: Paúl Cobos

Tabla 16. Ensayo de Penetración Estándar – Pista UTA

Profundidad (cm)	NSPT (parcial)	NSPT (total)	NSPT (medio)	Tipo de Perfil
55	Limpieza	23	24	D
70	8			
85	12			
100	11			
155	Limpieza	21		
170	9			
185	8			
200	13			
255	Limpieza	27		
270	7			
285	12			
300	15			
355	Limpieza	Rechazo		
370	Rechazo			
385				
400				

Elaboración: Paúl Cobos

En los cuadros anteriores se procedió a sumar los dos últimos números de cada metro perforado, con estos valores se tomó un promedio de cada suelo ensayado, mediante los rangos que especifica la NEC-15 en el capítulo de Peligro Sísmico, en la Tabla 4 de este estudio (NEC-15) especifica los rangos para cada tipo de perfil de suelo, donde el número de golpes $50 > N \geq 15$ pertenece al tipo de perfil D, por consiguiente, se asume que el suelo es de tipo D. [4]

4.1.4 Velocidad media de la onda de cortante Vs30

La velocidad media de la onda de cortante de las capas de suelo ubicadas desde la superficie hasta 30 metros debajo de ella, es un parámetro importante a nivel mundial,

ya que dentro de esta profundidad afecta en mayor medida el comportamiento de las estructuras sobre él. [4]

Para este estudio se especificó que por medio del ensayo SPT se obtendrá los valores VS30 para el área de estudio.

La relación de Vs y NSPT dentro del estudio de Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (Vs) y otros parámetros geotécnicos para los suelos de Madrid por Pérez, Muñoz, Carbó y Ruiz nos indica: [15]

Para establecer la correlación entre Vs y NSPT mediante la técnica ReMi en el área urbana de Madrid, realizaron un análisis estadístico entre los 500 valores de NSPT y Vs a profundidades ensayadas en los sondeos. De esta forma obtuvieron una relación empírica para todo tipo de suelo capaz de predecir el valor de Vs. [15]

$$V_s = 62.6 * NSPT^{0.52}$$

Al resolver esta ecuación para el número del golpe promedio para cada punto de esta investigación, el valor calculado se encuentra fuera del rango establecido por 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. [4]

Por lo que en el estudio determinan cada grupo de suelo litológicamente con una ecuación, en esta investigación se determinó que el tipo de suelo es arena, por lo consiguiente la ecuación es:

$$V_s = 98.69 * NSPT^{0.321}$$

Dónde:

NSPT= Numero de golpes del ensayo de penetración estándar

Laboratorio FICM

$$V_s = 98.69 * 37^{0.321}$$

$$V_s = 314.53 \text{ m/s}$$

FICM

$$V_s = 98.69 * 30^{0.321}$$

$$V_s = 294.06 \text{ m/s}$$

Parqueadero FICM

$$V_s = 98.69 * 31^{0.321}$$

$$V_s = 297.17 \text{ m/s}$$

Pista UTA

$$V_s = 98.69 * 24^{0.321}$$

$$V_s = 273.73 \text{ m/s}$$

Con la ecuación anteriormente mencionada, se verifica que todos los resultados se encuentran dentro del rango para el perfil de suelo tipo D, por lo que se la tuvo los resultados esperados.

Tabla 17. Valores Vs30

Sitio	NSPT	Tipo de Perfil	Vs30 (m/s)	Vs30 m/s promedio
Laboratorio FICM	37	D	314.53	294.87
FICM	30	D	294.06	
Parqueadero FICM	31	D	297.17	
Pista UTA	24	D	273.73	

Elaboración: Paúl Cobos

La Tabla 9 indica los valores obtenidos del Vs30 mediante una ecuación empírica, en la Tabla 4 la clasificación de suelos podemos corroborar los valores de Vs30 para cada perfil de suelo, donde nos indica que para el perfil D $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$, se

comprueba que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango como lo especifica la NEC-15.

4.1.5 Ecuaciones de atenuación para cortical intraplaca

Sismos corticales superficiales con una profundidad ≤ 30 km.

4.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008)

Las ecuaciones derivaron del proyecto de atenuación de PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), utilizando una extensa base de datos de miles de registros compilados de terremotos en sitios tectónicos activos en todo el mundo. Estas ecuaciones representan una actualización de las GMPE publicadas por Boore y sus colegas en 1997. Boore 1997 se basó en un conjunto limitado de datos en comparación con el de Boore y Atkinson 2008. La cantidad de datos utilizados en el análisis de regresión se basa especialmente en la magnitud y los rangos de distancia para el análisis de peligro sísmico. [16]

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

La función de distancia está dada por:

$$FD(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref})$$

Dónde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \tag{4.1}$$

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) $M \leq Mh$

$$FM(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e5(m - Mh) + e6(M - Mh)^2 \quad (4.2)$$

b) $M > Mh$

c) $FM(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e7(M - Mh)$ (4.3)

Dónde U, SS, NS, y RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, normal, inversa, Mh esta magnitud es para la forma de la escala de magnitud, es un coeficiente que se debe establecer durante el análisis. [16]

La ecuación de amplificación del sitio está dada por: [16]

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

Dónde FLIN y FNL son los términos lineales y no lineales respectivamente. [16]

$$FLIN = b \text{ lin } \ln(Vs30/Vref) \quad (4.5)$$

Dónde b lin es un coeficiente dependiente del periodo, y Vref es la velocidad de referencia especificada (=760m/s). Estos coeficientes fueron descritos por (Choi y Stewart 2005), están empíricamente basados. [16]

El término no lineal viene dado por:

a) $pga4nl \leq a1$

$$FNL = b \text{ nl } \ln(pga_{low}/0.1) \quad (4.6)$$

b) $a1 < pga4nl \leq a2$

$$FNL = b \, nl \ln((pga_low)/0.1) + c[\ln(pga4nl/a1)]^2 + d[\ln(pga4nl/a1)]^3 \quad (4.7)$$

c) $a2 < pga4nl$

d) $FNL = b \, nl \ln(pga4nl/0.1)$ (4.8)

Dónde $a1(=0.03g)$ y $a2(=0.09g)$ se les asignan niveles para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente, $pga_low(=0.06)$ es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales, $pga4nl$ es la predicción de PGA en g para $V_{ref}= 760m/s$, dada por la ecuación principal con $F_s= 0$ y $\varepsilon=0$. Las tres ecuaciones para no lineal del suelo responden (Ecuaciones 4.6 – 4.8). [16]

Los coeficientes c y d en la ecuación 4.7 vienen dados por: [16]

$$c = (3\Delta y - b \, nl\Delta x) / \Delta x^2 \quad (4.9)$$

$$d = (2\Delta y - b \, nl\Delta x) / \Delta x^3 \quad (4.10)$$

$$\Delta x = \ln(a2/a1) \quad (4.11)$$

$$\Delta y = bnl \ln(a2/pga_low) \quad (4.12)$$

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

a) $V_{s30} \leq V1$

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

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

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

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 $180 \leq V_{s30} \leq 1300 \text{ m/s}$, no deben ser aplicados para sitios de roca muy dura. [16]

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para: [16]

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

4.1.5.2 Modelo Akkar y Bommer (2010)

Este documento se basa en Akkar y Bommer (2007a), siguieron con trazar curvas de atenuación para los valores medianos de PGA y ordenadas espectrales medianas para un número de escenarios de magnitud-distancia, compararon los valores obtenidos con otras ecuaciones como los modelos de Nueva generación de Atenuación (NGA), Stafford, Strasser y Bommer 2008-2010. [17]

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log \sqrt{R^2j_b + b^2_6} + b_7SS + b_8SA \\ & + b_9FN + b_{10}FR + \epsilon\sigma \end{aligned}$$

Para esta ecuación y está en cm/s^2 .

Categorías:

Suelo blando: SS= 1; SA= 1; $V_{s30} < 360\text{m/s}$.

Suelo rígido: SS= 1; SA= 1;

Roca: SS= 0; SA= 0; $V_{s30} > 750\text{m/s}$.

Categorías mecanismo de falla:

Falla normal: FN= 1; FR= 1

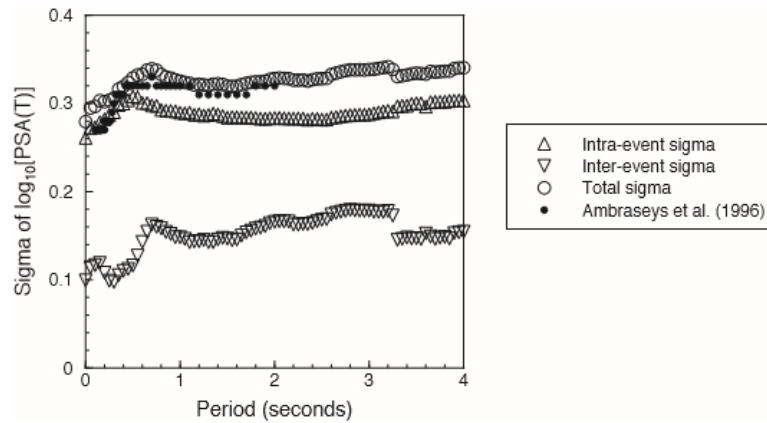
Falla inversa: FN= 1; FR= 1

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. [17]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \tag{4.17}$$

Figura 15. Valores de Sigma



Fuente: Akkar y Bommer 2010

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para:

- $M = 5 - 7.6$

4.1.5.3 Modelo Kanno (2006)

Tras el terremoto de Kobe de 1995, el gobierno japonés por prevenir futuros desastres, instaló estaciones de observación de movimiento fuerte, incluyendo K-NET (Kinoshita 1998). En 2005 la sede de Earthquake Research Promotion publicó mapas nacionales de peligros sísmicos en un sitio web. Estos mapas indican solo la intensidad sísmica para Japón. Relaciones empíricas de atenuación para los espectros de respuesta como Kobayashi y Midorikawa 1982, Annaka 1997, existen para Japón. En este estudio registra movimientos de tierras fuertes japoneses entre 1963 y 2003. [18]

Si $D \leq 30$ Km:

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

Si $D > 30$ Km:

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

Para este estudio se toma como una falla cortical se utilizará la primera ecuación, por no tener una profundidad focal menor a 30 km. [18]

Dónde \ddot{u} está en cm/sec^2 . $e_1 = 0.5$.

Se usará distancias de X para suelos poco profundos de:

- 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:

- Para eventos poco profundos la profundidad focal debe estar entre 0 y 30 km
 - Para eventos profundos la profundidad focal debe estar entre 30 y 180 km
- [18]

4.1.6 Ecuaciones de atenuación para 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.

4.1.6.1 Modelo Youngs (1997)

Este documento presenta relaciones de atenuación para terremotos de zonas de subducción. Se consideran dos tipos de terremotos de zonas de subducción, terremotos de interplaca e intraplaca. Los terremotos de interplaca de zona de subducción son eventos de empuje de ángulo superficial que se producen en la interfaz entre las placas de subducción y de superposición. Los terremotos de intraplaca de la zona de la subducción ocurren dentro de la placa oceánica. [19]

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

Dónde y está en g.

Categorías:

- Suelo profundo $Z_{ds}= 1$; $Z_r= 0$; $Z_{ss}= 0$; profundidad hasta lecho recoso es mayor de 20m. [19]
- Suelo poco profundo $Z_{ss}= 1$; $Z_{ds}= 0$; $Z_r= 0$; profundidad hasta la roca madre es menor de 20m. [19]

Interplaca $Z_t=0$; Intraplaca $Z_t= 1$ [19]

Limitaciones del Modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para: [19]

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

4.1.6.2 Modelo Zhao (2006)

Japón se encuentra en una zona sísmica activa, debido a que las ondas sísmicas, esperan que los movimientos de tierra generados por terremotos sean diferentes incluso, 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. [20]

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

Dónde y está en (cm/s²)

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

$\delta h = 1$ cuando $h \geq h_c$ y 0 en caso contrario [20]

$SR = 0.251$; $SI = 0.0$; $S_s = 2.607$; $SSL = -0.528$ [20]

Usar $h_c = 15$ km [20]

Profundidades focales [20]

Evento Cortical: $h = 0 - 25$ km

Eventos interplaca: $h = 10 - 50$ km

Eventos intraplaca: $h = 15 - 162$ km

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

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

El parámetro tectónico SI se aplica a los eventos de interplaca y es 0 para los demás eventos. [20]

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. [20]

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Magnitud de las fallas

Por medio de la ecuación de Wells y Coppersmith se obtiene la siguiente magnitud momento M_w : [11]

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

Dónde:

a, b: Coeficientes

SRL: Longitud de rotura superficial (km)

Se tomará las longitudes de la Tabla 4.2 para ésta ecuación.

Falla Placa de Nazca	⇒	Mw: 8.9
Falla Huachi	⇒	Mw: 6.3
Falla Ambato	⇒	Mw: 6.5
Falla Totoras	⇒	Mw: 6.5

4.2.3 Cálculo de Espectros

Uno de los objetivos de esta investigación es la evaluación del peligro sísmico para el área de estudio mediante la obtención de espectros de respuesta asociados al Sistema de fallas seleccionadas.

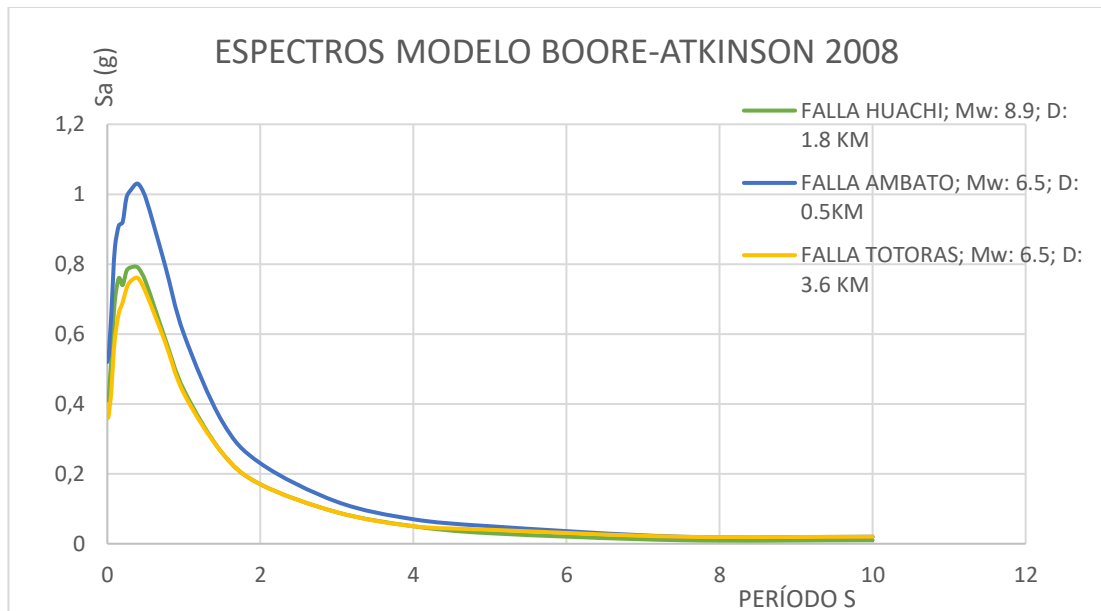
El concepto espectro de respuesta es una herramienta importante en la dinámica estructural, se utiliza en el área de diseño sismorresistente. Esta teoría fue propuesta por Biot en el año de 1932, dónde define espectro como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés. [2]

En esta investigación se comparará los espectros de aceleración con los modelos anteriormente mencionados con los de la NEC-15.

4.2.3.1 Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson

El siguiente gráfico representa el espectro obtenido con Boore y Atkinson para las fallas intraplaca (cortical). Se usó para todas las ecuaciones $V_{s30} = 294.87$ m/s.

Figura 16. Espectro de aceleración modelo Boore y Atkinson



Elaboración: Paúl Cobos

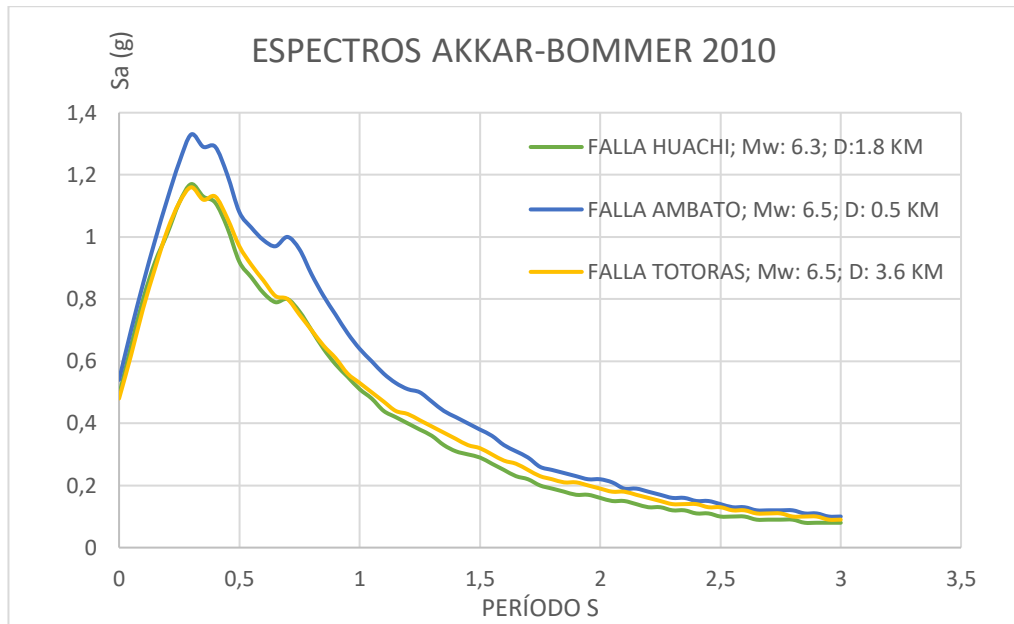
De la figura se puede concluir que, ante las mismas condiciones de suelo, el espectro que presenta una mayor respuesta en aceleración en el eje de la ordenada es la Falla de Ambato, acorde mayor sea la distancia al sitio de falla ira disminuyendo la aceleración como la falla de Totoras.

En las siguientes figuras se podrá observar cómo van variando las aceleraciones dependiendo de longitud, momento de magnitud y distancia, de las fallas seleccionando. Hay que recordar que las fallas seleccionadas son las más cercanas al área de estudio. El valor de $V_{s30} = 294.87$ m/s se utilizó en todas las ecuaciones de atenuación de esta investigación.

4.2.3.2 Espectros calculados con el Modelo de Akkar y Bommer

Continuando con la investigación de la anterior figura se obtiene los espectros por medio de este modelo.

Figura 17. Espectro de aceleración modelo Akkar y Bommer

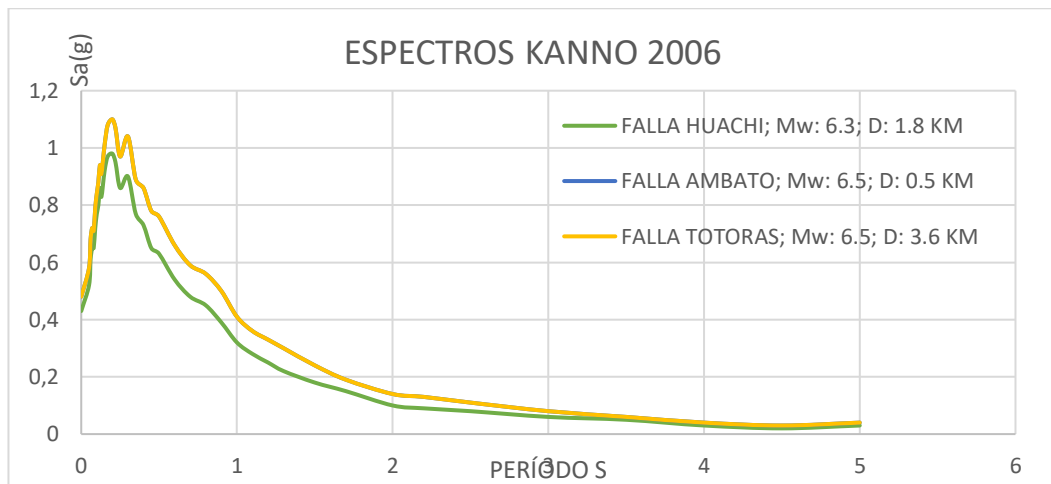


Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que por medio de este modelo la falla de Ambato sigue siendo el espectro de aceleración de mayor respuesta en el eje de la ordenada.

4.2.3.3 Espectros calculados con el Modelo de Kanno

Figura 18. Espectro de aceleración modelo Kanno



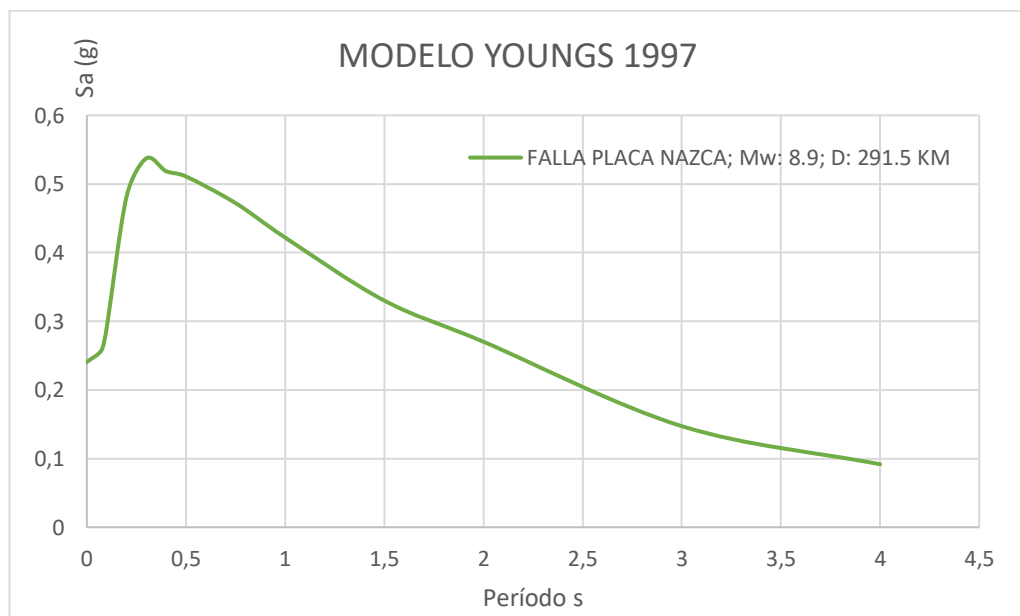
Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que los espectros de respuesta de las fallas Huachi y Ambato tienen la similar aceleración por medio de este modelo de ecuación.

4.2.3.4 Espectros calculados con el Modelo de Youngs

Continuando con la investigación se observará los espectros de aceleración para subducción.

Figura 19. Espectro de aceleración modelo Youngs

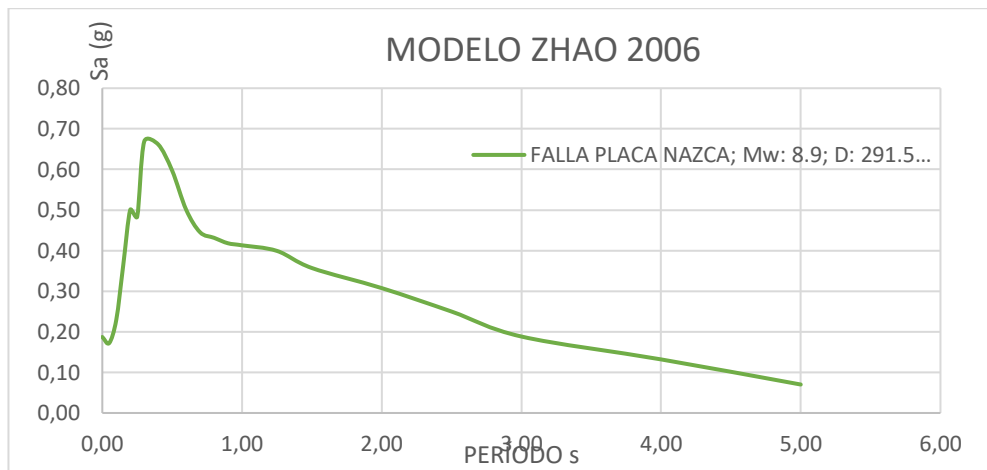


Elaboración: Paúl Cobos

Como se observa en la figura anterior solo existe un espectro de aceleración, ya que en este estudio solo se tomó una falla de subducción, la placa de nazca, se la podrá comparar más adelante con el espectro de la NEC-15.

4.2.3.5 Espectros calculados con el Modelo de Zhao

Figura 20. Espectro de aceleración modelo Zhao



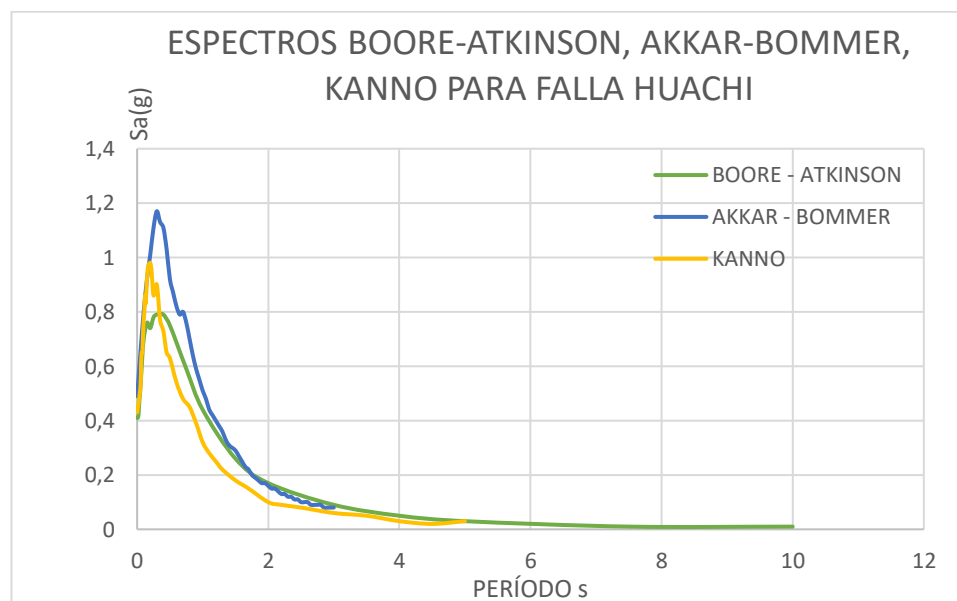
Elaboración: Paúl Cobos

De igual manera en este grafico se observa un espectro de aceleración por medio de este modelo.

4.2.4 Espectros con los modelos para una falla

Mediante las ecuaciones de atenuación de cada modelo se calcula los espectros de aceleración para los diferentes tipos de fallas que presenta esta investigación.

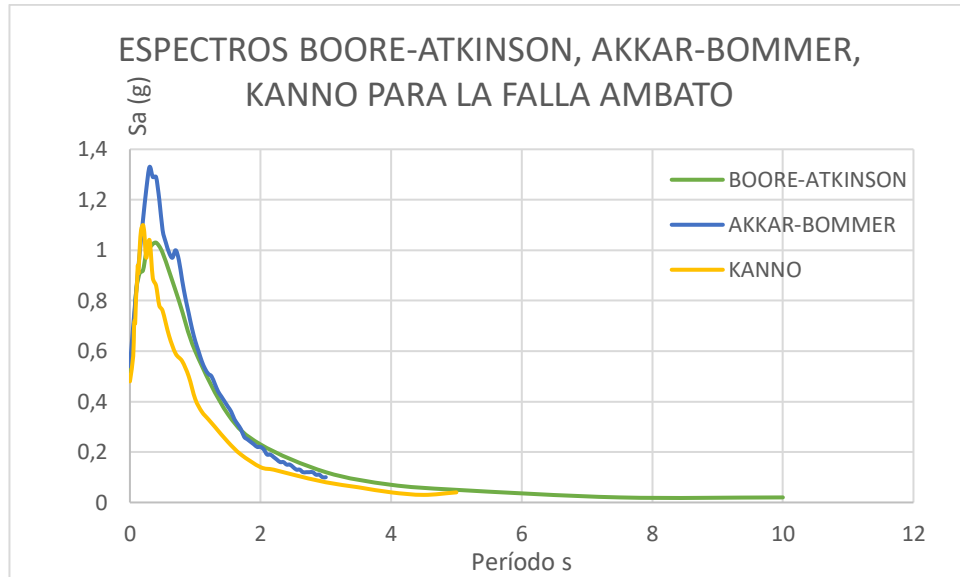
Figura 21. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson, Akkar-Bommer, Kanno para la falla de Huachi



Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que el modelo de Akkar y Bommer presenta la mayor respuesta en el eje de la ordenada para la falla de Huachi.

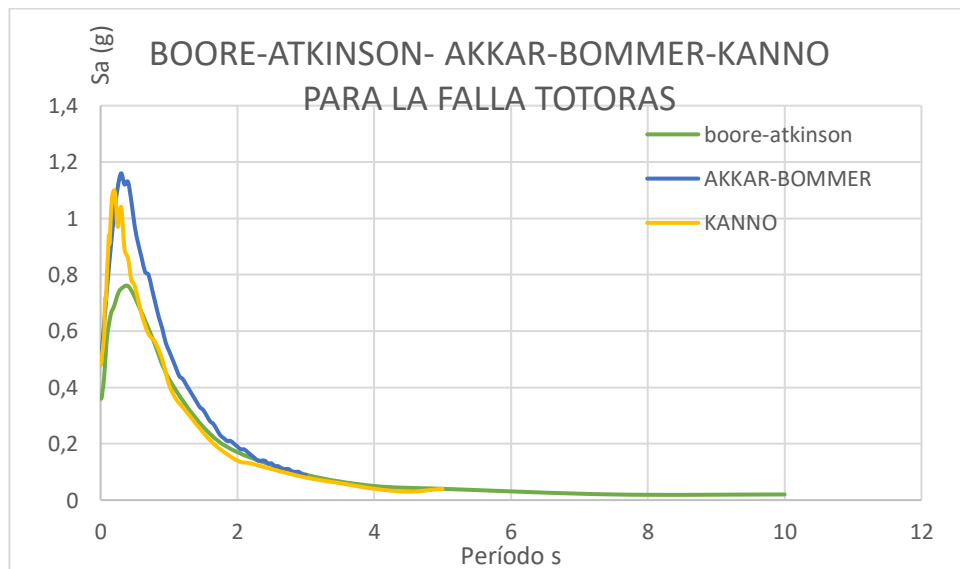
Figura 22. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer para la falla de Ambato



Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que el modelo de Akkar y Bommer sigue siendo el espectro de mayor respuesta.

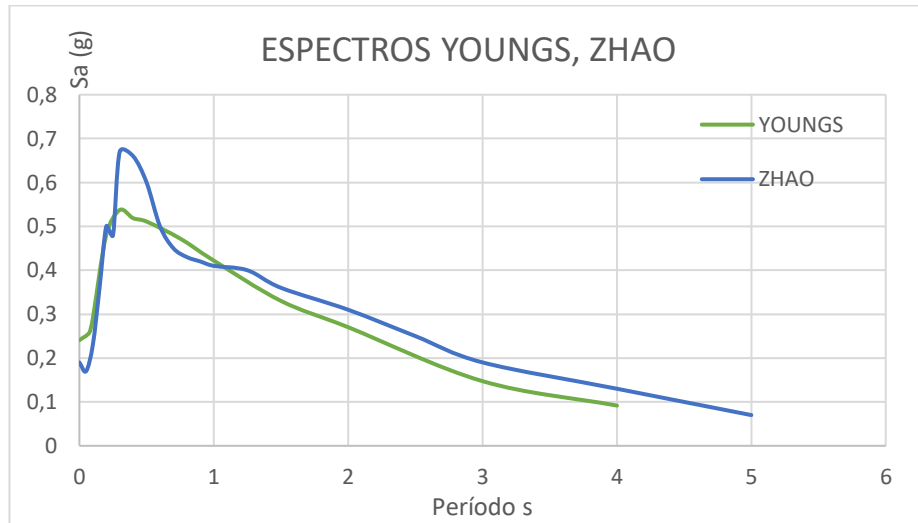
Figura 23. Espectros de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer para la falla de Totoras



Elaboración: Paúl Cobos

El modelo de Akkar y Bommer sigue siendo el espectro de mayor respuesta para esta falla.

Figura 24. Espectros de aceleración modelo Youngs, Kanno para la falla de Nazca



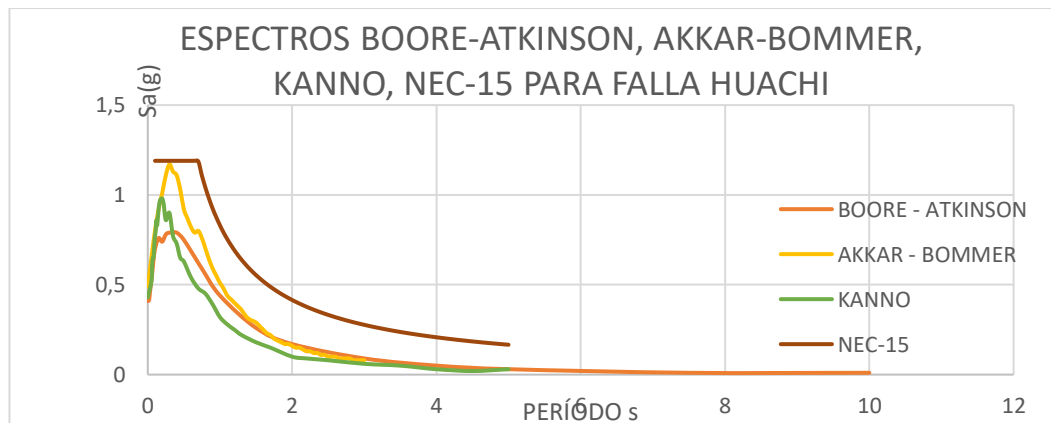
Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que la mayor respuesta de espectro de aceleración es el modelo de Youngs.

4.2.5 Espectros con la NEC-15

Para realizar la comparación de los espectros de este estudio con el de la NEC-15 se debe considerar los rangos para el suelo del perfil D que tiene valores de $360 \text{ m/s} < V_s \leq 180 \text{ m/s}$, el valor obtenido es de $V_s = 294.87 \text{ m/s}$.

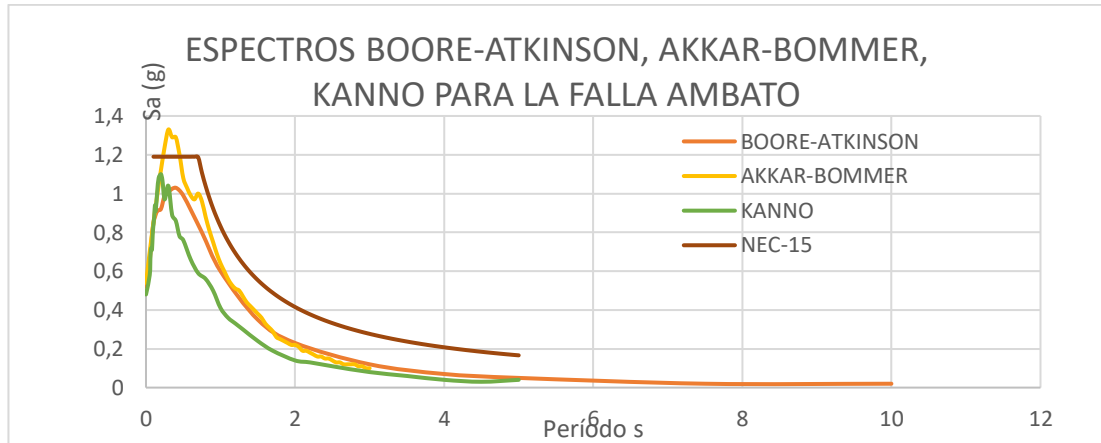
Figura 25. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Huachi



Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que los espectros calculados no superan al espectro de la norma.

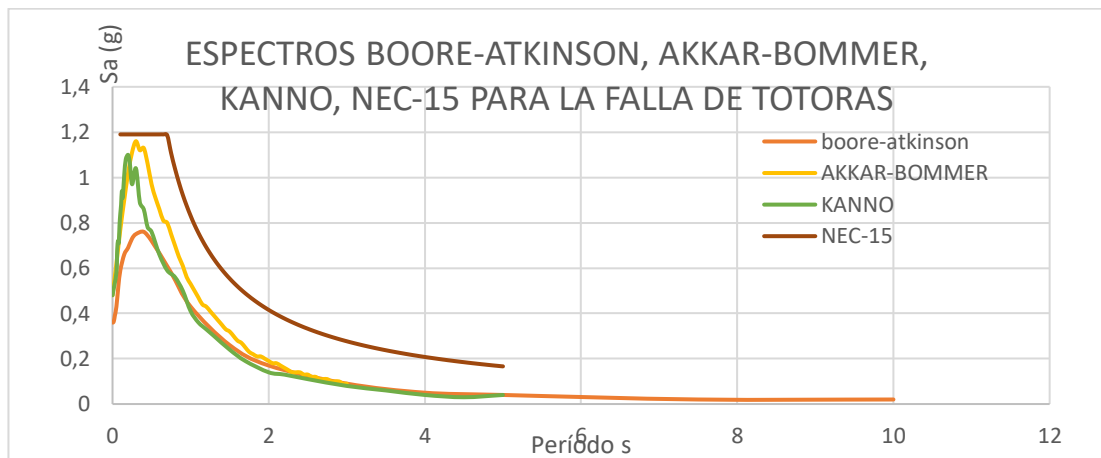
Figura 26. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Ambato



Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que el modelo de Akkar y Bommer supera al espectro de aceleración de la norma en el eje de la ordena.

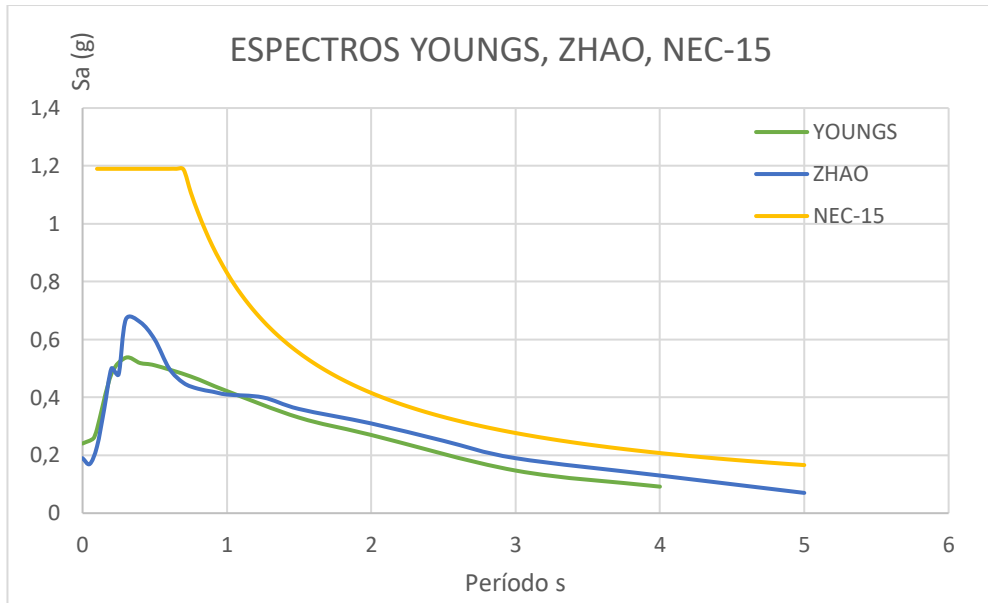
Figura 27. Espectro de aceleración modelo Boore-Atkinson y Akkar-Bommer, NEC-15 para la falla de Totoras



Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que el espectro de aceleración de la norma esta por encima de los modelos calculados.

Figura 28. Espectro de aceleración modelo Youngs, Kanno, NEC-15

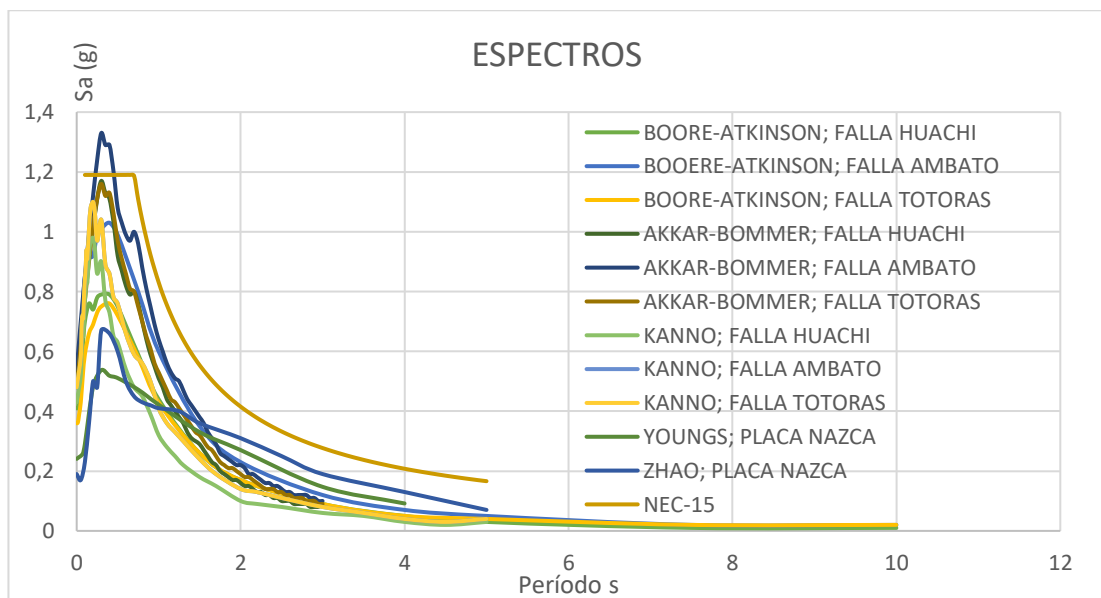


Elaboración: Paúl Cobos

De la figura se puede concluir que los modelos para subducción se encuentran por debajo del espectro de aceleración de la norma.

4.2.6 Espectros de todos los modelos con la NEC-15

Figura 29. Todos los espectros comparados con la NEC-15



Elaboración: Paúl Cobos

La figura presenta todos los espectros de aceleración de todos los modelos para todas las fallas seleccionadas, con lo que en el eje de la ordenada el espectro calculado supera al de la norma.

4.2.7 Espectro crítico comparado con la NEC-15

En la siguiente tabla se refleja los valores para la envolvente del espectro de aceleración obtenidos por medio de la tabla 4.20.

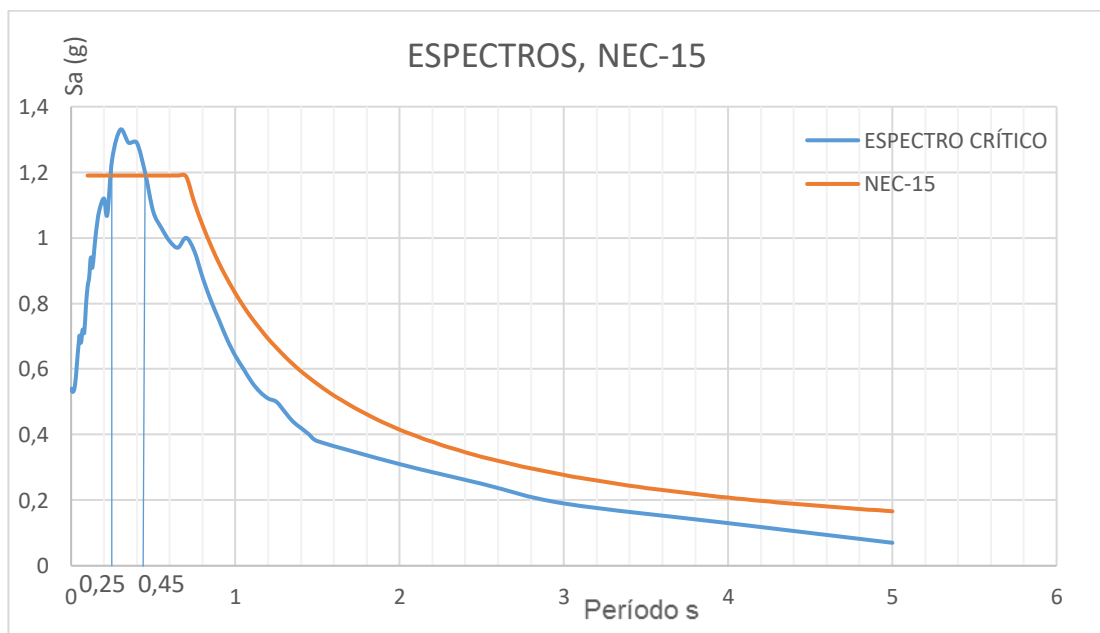
Tabla 18. Valores para espectro de aceleración crítico

T (seg)	Sa (g)
0	0,54
0,01	0,53
0,02	0,54
0,03	0,58
0,05	0,7
0,06	0,68
0,07	0,72
0,08	0,71
0,09	0,79
0,1	0,85
0,11	0,88
0,12	0,94
0,13	0,91
0,15	1,01
0,17	1,08
0,2	1,12
0,22	1,07
0,25	1,24
0,3	1,33
0,35	1,29
0,4	1,29
0,45	1,2
0,5	1,08
0,55	1,03
0,6	0,99
0,65	0,97
0,7	1
0,75	0,96

0,8	0,88
0,85	0,81
0,9	0,75
0,95	0,69
1	0,64
1,05	0,6
1,1	0,56
1,15	0,53
1,2	0,51
1,25	0,5
1,3	0,47
1,35	0,44
1,4	0,42
1,45	0,4
1,5	0,38
2	0,31
2,5	0,25
3	0,19
4	0,13
5	0,07

Elaboración: Paúl Cobos

Figura 30. Espectro crítico comparado con la NEC-15



Elaboración: Paúl Cobos

Para el período estimado de las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi se tomó una altura promedio de 10 m.

Dónde:

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

T: Período de vibración

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio

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

Tabla 19. Valores para Período de Vibración

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

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico

$$T = 0.055 * 10^{0.9}$$

$$T = 0.44 \text{ seg}$$

El período de vibración para las estructuras es de 0.44 seg, lo que corresponde a una aceleración expresada como fracción de la aceleración de la gravedad $S_a (g) = 1.22$, tomada del espectro específico determinado en la presente investigación. Por lo tanto, se puede mencionar que este valor sobrepasa al valor de aceleración del espectro calculado con la NEC-15, lo cual resulta en un subdimensionamiento al estimar la carga sísmica de acuerdo con la norma.

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 de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi" se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculado mediante las ecuaciones de atenuación en un intervalo de período de vibración de 0.25 a 0.45 genera aceleraciones mayores y supera al espectro de la norma.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La falla geológica cortical de mayor magnitud de momento calculada es la de Ambato y Totoras Mw: 6.5, por su longitud, siendo la mayor respuesta la falla de Ambato por tener menor distancia a su epicentro, y la placa de nazca tiene una Mw: 8.9 por su mayor longitud.
- En la figura 26 se aprecia el espectro de aceleración de Akkar y Bommer para la falla de Ambato que sobrepasa al espectro de aceleración de la NEC-15.
- Del espectro crítico se podría tener aceleraciones de hasta 1.33 g en un intervalo de 0.25 a 0.45 segundos, lo que resulta en valores más altos comparado con la NEC-15.
- En el intervalo calculado las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato deberán ser calculados con una aceleración mayor a la de la NEC-15.
- La respuesta espectral de aceleración variará en base a la distancia del epicentro, y para la falla de subducción dependerá la profundidad a la que se libere la energía para producir un sismo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es importante que Ambato cuente con un mapa de microzonificación de suelos de acuerdo a la NEC-15, además de un mapa de isoaceleraciones V_s30 para Peligro Sísmico.
- Se recomienda seguir actualizándose en las ecuaciones de atenuación, ya que constantemente van mejorando sus modelos y obteniendo mejores resultados.
- Se recomienda seguir realizando estudios de este tipo ya que Ambato no cuenta con estudios enfocados en este tema, y sería de gran ayuda para futuros acontecimientos.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1] Alvarado, D. Valdebenito (2015). Microzonificación Sísmica en Zonas de geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Universidad Austral de Chile. En línea. Disponible: <http://rina.cl/rina/wp-content/uploads/2015/11/Achisina-Microzonificaci%C2%A2n-Valdivia-01-Oct-2014.pdf>

[2] Quizanga, D. (2015). Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiri7ac8eDNAhUIFR4KHcfMDU0QFggvMAc&url=http%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15000%2F11856%2F1%2FCD-6563.pdf&usg=AFQjCNHtomV5lx5RKzGy04bwTFpPWJJWLg&bvm=bv.126130881,d.dmo>

[3] Aguiar, R. Microzonificación Sísmica del centro norte de Quito. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible: <http://ia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/03/Microzonificaci%C3%B3n.pdf>

[4] Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015

[5] Araos, O. (2011). El Cinturón de Fuego del Pacífico. En línea. Disponible: <http://www.araosguzman.org/2011/06/cinturon-fuego-pacifico-oscar-araos.html>

[6] Chaguay, L. (2011). Riesgo sísmico y riesgo estructural de la zona el tablón. En línea. Disponible: http://ecuadorgoldproduction.com/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=69

[7] La Hora. (2002). Ambato necesita identificar zonas de alto riesgo. En línea. Disponible: http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1000077460/-1/Ambato_necesita_identificar_zonas_de_alto_riesgo.html#.V1Ctn-SB62k

[8] Vidal, F. Los Terremotos y sus Causas. En línea. Disponible: [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/\\$File/ETA-C1.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/$File/ETA-C1.pdf)

[9] GMPE, Movimientos del suelo ecuación de predicción. En línea. Disponible: <https://www.globalquakemodel.org/what/>

[10] Aguilar, Z. Análisis de Peligro Sísmico y Estimado del movimiento Sísmico de diseño. En línea. Disponible: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/proy5.pdf>

[11] Wells, Coppersmith. (Agosto, 1994). Nuevas relaciones empíricas entre la magnitud, longitud de rotura, ancho de rotura, ruptura de la zona, y desplazamiento de la superficie. En línea. Disponible: <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf>

[12] Benito, B., Cabañas, L. Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta. En línea. Disponible: http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf

[13] En línea. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/>

[14] NTE INEN 0689. En línea. Disponible: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0689.1982.pdf>

[15] Pérez. S. (2011). Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y otros parámetros geotécnicos para los suelos de Madrid. En línea. Disponible: file:///C:/Users/paluc/Desktop/TRABAJO%20EXPERIMENTAL/VS/Correlaciones%20empíricas%20Vs_aranzadi_2013.pdf

[16] Boore, D., Atkinson, M. Ecuaciones de predicción del movimiento del suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0,01 seg y 10,0 seg. En línea. Disponible:

[file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar\\$DIA0.598/Boore%20y%20Atkinson%202008.pdf](file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar$DIA0.598/Boore%20y%20Atkinson%202008.pdf)

[17] Akkar, S., Bommer, J.J. (2010). Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y Oriente Medio. En línea. Disponible:

[file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar\\$DIA0.916/Akkar_&_Bommer_2010.pdf](file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar$DIA0.916/Akkar_&_Bommer_2010.pdf)

[18] Kanno, T., Narita, A., Morikawa, N., Fujiwara, H., Fukushima, Y. (2006). Una nueva relación de atenuación para el movimiento del suelo fuerte en Japón basado en datos registrados. En línea. Disponible:

[file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar\\$DIA0.915/Kanno%20et%20al%202006.pdf](file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar$DIA0.915/Kanno%20et%20al%202006.pdf)

[19] Young, R. R., Chiou, S.-J., Silva, W.J., y Humphrey, J.R. (1997). Relaciones fuertes de atenuación de movimiento en tierra para los terremotos de la zona de subducción. En línea. Disponible:

[file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar\\$DIA0.758/youngsetal1997.PDF](file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar$DIA0.758/youngsetal1997.PDF)

[20] Zhao, J. X. Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H. K., Somerville, P. G., Fukushima, Y., Fukushima, Y. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante. En línea. Disponible:

[file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar\\$DIA0.368/ZHAO%202006.pdf](file:///C:/Users/paluc/AppData/Local/Temp/Rar$DIA0.368/ZHAO%202006.pdf)

2. ANEXOS

ANEXO A



Fotografía 1. Martinete



Fotografía 2. Trípode



Fotografía 3. Motor



Fotografía 4. Hincando martinete



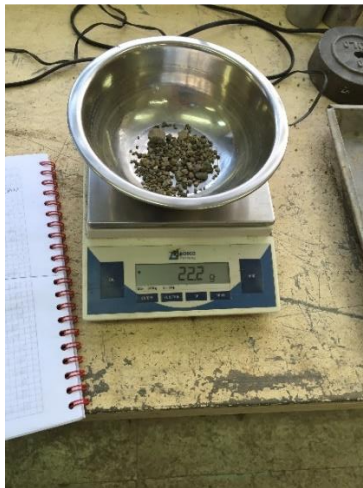
Fotografía 5. Suelo obtenido



Fotografía 6. Medir muestra de suelo



Fotografía 7. Pesando suelo



Fotografía 8. Pesando suelo grueso



Fotografía 9. Pesando muestra primer metro

ANEXO B

B-1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período

PERIODO	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	-0,6	-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	-0,5	-0,51	-0,1
0,5	-0,6	-0,5	-0,06
0,75	-0,69	-0,47	0
1	-0,7	-0,44	0
1,5	-0,72	-0,4	0
2	-0,73	-0,38	0
3	-0,74	-0,34	0
4	-0,75	-0,31	0
5	-0,75	-0,291	0
7,5	-0,692	-0,247	0
10	-0,65	-0,215	0

Fuente: Modelo Boore y Atkinson 2008

B-2. Coeficientes 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)

PERIODO	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: Modelo Boore y Atkinson 2008

B-3. Coeficientes de escala de magnitud

PERIODO	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	0,4708	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: Modelo Boore y Atkinson 2008

ANEXO C

C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración espectral

T	b1	b2	b3	b4	b5	b6	
0	1,04159	0,91333	-0,0814	-2,9273	0,2812	7,86638	
0,05	2,11528	0,72571	-0,0735	-3,332	0,33534	7,74734	
0,1	2,11994	0,75179	-0,0745	-3,1054	0,30253	8,21405	
0,15	1,64489	0,83683	-0,0754	-2,7585	0,2549	8,31786	
0,2	0,92065	0,96815	-0,079	-2,4926	0,2179	8,21914	
0,25	0,13978	1,13068	-0,0876	-2,3382	0,20089	7,20688	
0,3	-	0,84006	1,37439	-0,1035	-2,1912	0,18139	6,54299
0,35	-	1,32207	1,47055	-0,1087	-2,1299	0,17485	6,24751
0,4	-1,7032	1,55930	-0,1139	-2,1272	0,17137	6,57173	
0,45	-	1,97201	1,61645	-0,1174	-2,1662	0,177	6,78082
0,5	-	2,76925	1,83268	-0,132	-2,1297	0,16877	7,17423
0,55	-	3,51672	2,02523	-0,145	-2,0421	0,15617	6,76170
0,6	-	3,92759	2,08471	-0,1465	-1,8814	0,13621	6,10103
0,65	-4,4949	2,21154	-0,1552	-1,7903	0,12916	5,19135	
0,7	-	4,62925	2,21764	-0,1549	-1,798	0,13495	4,46323
0,75	-	4,95053	2,29142	-0,1598	-1,8132	0,1392	4,27945
0,8	-	5,32863	2,38389	-0,1657	-1,7727	0,13273	4,37011
0,85	-	5,75799	2,50635	-0,1748	-1,7707	0,13096	4,62192
0,9	-	5,82689	2,50287	-0,1737	-1,763	0,13059	4,65393
0,95	-	5,90592	2,51405	-0,1742	-1,7985	0,13535	4,84540
1	-	6,17066	2,58558	-0,1794	-1,8072	0,13599	4,97596
1,05	-	6,60337	2,69584	-0,1865	-1,7384	0,12485	5,04489
1,1	-	6,90379	2,77044	-0,1917	-1,7111	0,12227	5,00975
1,15	-6,9618	2,75857	-0,1889	-1,6659	0,11447	5,08902	
1,2	-	6,99236	2,73427	-0,1849	-1,5912	0,10265	5,03274

	-					
1,25	6,74613	2,62375	-0,1739	-1,5289	0,09129	5,08347
	-					
1,3	6,51719	2,51869	-0,1633	-1,4653	0,08005	5,14423
	-					
1,35	6,55821	2,52238	-0,1631	-1,4822	0,08173	5,29006
	-					
1,4	6,61945	2,52611	-0,1627	-1,4826	0,08213	5,33490
	-					
1,45	6,62737	2,49858	-0,1591	-1,4331	0,07577	5,19412
	-					
1,5	6,71787	2,49486	-0,1569	-1,353	0,06379	5,15750
	-					
1,55	6,80776	2,50291	-0,1563	-1,3123	0,05697	5,27441
	-					
1,6	6,83632	2,51009	-0,1568	-1,3326	0,0587	5,54539
	-					
1,65	6,88684	2,54048	-0,16	-1,4093	0,0686	5,93828
1,7	-6,946	2,57151	-0,1629	-1,4768	0,07672	6,36599
	-					
1,75	7,09166	2,62938	-0,1679	-1,5404	0,08428	6,82292
	-					
1,8	7,22818	2,66824	-0,1706	-1,5427	0,08325	7,11603
	-					
1,85	7,29772	2,67565	-0,17	-1,5094	0,07663	7,31928
	-					
1,9	7,35522	2,67749	-0,1693	-1,4699	0,07065	7,25988
	-					
1,95	7,40716	2,68206	-0,1691	-1,4382	0,06525	7,25344
	-					
2	7,50404	2,71004	-0,1713	-1,444	0,06602	7,26059
	-					
2,05	7,55598	2,72737	-0,1729	-1,4579	0,06774	7,40320
	-					
2,1	7,53463	2,71709	-0,1722	-1,4666	0,0694	7,46168
	-					
2,15	7,50811	2,71035	-0,1721	-1,4968	0,07429	7,51273
	-					
2,2	8,09168	2,91159	-0,1892	-1,5564	0,08428	7,77062
	-					
2,25	8,11057	2,92087	-0,1904	-1,5954	0,09052	7,87702
	-					
2,3	8,16272	2,93325	-0,1916	-1,6046	0,09284	7,91753
	-					
2,35	7,94704	2,85328	-0,1854	-1,5743	0,09077	7,61956
	-					
2,4	7,96679	2,85363	-0,1856	-1,5783	0,09288	7,59643
	-					
2,45	7,97878	2,84900	-0,1853	-1,5773	0,09428	7,50338

2,5	-	7,88403	2,81817	-0,1832	-1,6038	0,09887	7,53947
2,55	-	7,68101	2,75720	-0,1791	-1,6521	0,1068	7,61893
2,6	-	7,72574	2,82043	-0,1872	-1,8878	0,14049	8,12248
2,65	-	7,53288	2,74824	-0,1814	-1,8953	0,14356	7,92236
2,7	-	7,41587	2,69012	-0,1763	-1,8704	0,14283	7,49999
2,75	-	7,34541	2,65352	-0,1731	-1,8608	0,1434	7,26668
2,8	-	7,24561	2,61028	-0,1695	-1,8561	0,14444	7,11861
2,85	-	7,07107	2,56123	-0,1662	-1,9042	0,15127	7,36277
2,9	-	6,99332	2,52699	-0,163	-1,897	0,15039	7,45038
2,95	-	6,95669	2,51006	-0,1614	-1,9013	0,15081	7,60234
3	-	6,92924	2,45899	-0,1551	-1,768	0,13314	7,21950

Fuente: Akkar y Bommer 2010

C-1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración
espectral

b7	b8	b9	b10	σ_1	σ_2
0,08753	0,01527	-	0,08015	0,261	0,0994
0,04707	-0,0243	-	0,08649	0,272	0,1142
0,02667	-0,0006	-	0,0791	0,2728	0,1167
0,02578	0,01703	-	0,0784	0,2788	0,1192
0,06557	0,02105	-0,021	0,08438	0,2821	0,1081
0,0981	0,03919	-	0,08577	0,2871	0,099
0,12847	0,0434	-	0,09221	0,2902	0,0976
0,16213	0,06695	-	0,09003	0,2983	0,1054
0,21222	0,09201	-	0,09903	0,2998	0,1101
0,24121	0,11675	-0,052	0,09943	0,3037	0,1123
0,25944	0,13562	-	0,08579	0,3078	0,1163

0,26498	0,14446	-	0,06945	0,307	0,1274
0,27718	0,15156	0,0385	0,05932	0,3007	0,143
0,28574	0,15239	0,0342	0,05111	0,3004	0,1546
0,30348	0,15652	0,0415	0,04661	0,2978	0,1626
0,31516	0,16333	0,0405	0,04253	0,2973	0,1602
0,32153	0,17366	0,0395	0,03373	0,2927	0,1584
0,3352	0,1848	0,0379	0,02867	0,2917	0,1543
0,34849	0,19061	0,0288	0,02475	0,2915	0,1521
0,35919	0,19411	0,0221	0,02502	0,2912	0,1484
0,36619	0,19519	0,0227	0,02121	0,2895	0,1483
0,37278	0,19461	0,0261	0,01115	0,2888	0,1465
0,37756	0,19423	0,0266	0,0014	0,2896	0,1427
0,38149	0,19402	0,0209	0,00148	0,2871	0,1435
0,3812	0,19309	0,0162	0,00413	0,2878	0,1439
0,38782	0,19392	0,0183	0,00413	0,2863	0,1453
0,38862	0,19273	-0,019	-0,0037	0,2869	0,1427
0,38677	0,19082	0,0184	-0,009	0,2885	0,1428
0,38625	0,19285	0,0161	-0,0088	0,2875	0,1458
0,38285	0,19161	0,0129	-0,0056	0,2857	0,1477
0,37867	0,18812	0,0121	-0,0022	0,2839	0,1468
0,37267	0,18568	0,0085	-0,0005	0,2845	0,145
0,36952	0,18149	0,0053	-6E-05	0,2844	0,1457
0,36531	0,17617	0,0085	-0,003	0,2841	0,1503
0,35936	0,17301	-0,012	-0,0074	0,284	0,1537
0,35284	0,16945	0,0139	-0,0139	0,284	0,1558
0,34775	0,16743	-0,014	-0,0149	0,2834	0,1582

0,34561	0,1673	-	0,0153	-0,0119	0,2828	0,1592
0,34142	0,16325	-	0,0156	-0,007	0,2826	0,1611
0,3372	0,16171	-	0,0185	-0,0035	0,2832	0,1642
0,33298	0,15839	-	0,0226	-0,0049	0,2835	0,1657
0,3301	0,15496	-	0,0263	-0,0073	0,2836	0,1665
0,32645	0,15337	-	0,0292	-0,0087	0,2832	0,1663
0,32439	0,15264	-	0,0348	-0,0123	0,283	0,1661
0,31354	0,1443	-	0,0399	-0,0193	0,283	0,1627
0,30997	0,1443	-	0,0416	-0,0232	0,283	0,1627
0,30826	0,14412	-	0,0424	-0,0263	0,2829	0,1633
0,32071	0,14321	-	0,0496	-0,0234	0,2815	0,1632
0,31801	0,14301	-	0,0491	-0,0257	0,2826	0,1645
0,31401	0,14324	-	0,0481	-0,0264	0,2825	0,1665
0,31104	0,14332	-	0,0471	-0,0277	0,2818	0,1681
0,30875	0,14343	-	0,0461	-0,0282	0,2818	0,1688
0,31122	0,14255	-	0,0511	-0,0297	0,2838	0,1741
0,30935	0,14223	-	0,0502	-0,0293	0,2845	0,1759
0,30688	0,14074	-	0,0489	-0,0296	0,2854	0,1772
0,30635	0,14052	-	0,0474	-0,0292	0,2862	0,1783
0,30534	0,13923	-	0,0473	-0,0275	0,2867	0,1794
0,30508	0,13933	-	0,0452	-0,0278	0,2869	0,1788
0,30362	0,13776	-	-0,042	-0,0262	0,2874	0,1784
0,29987	0,13584	-	0,0386	-0,0249	0,2872	0,1783
0,29772	0,13198	-	0,0386	-0,0247	0,2876	0,1785

Fuente: Akkar y Bommer 2010

Anexo D

D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%

PERIODO	a1	b1	c1	d1	ϵ_1	p	q
0	0,56	-0,0031	0,26	0,0055	0,37	-0,55	1,35
0,05	0,54	-0,0035	0,48	0,0061	0,37	-0,32	0,80
0,06	0,54	-0,0037	0,57	0,0065	0,38	-0,26	0,65
0,07	0,53	-0,0039	0,67	0,0066	0,38	-0,24	0,60
0,08	0,52	-0,004	0,75	0,0069	0,39	-0,26	0,64
0,09	0,52	-0,0041	0,8	0,0071	0,4	-0,29	0,72
0,1	0,52	-0,0041	0,85	0,0073	0,4	-0,32	0,78
0,11	0,5	-0,004	0,96	0,0061	0,4	-0,35	0,84
0,12	0,51	-0,004	0,93	0,0062	0,4	-0,39	0,94
0,13	0,51	-0,0039	0,91	0,0062	0,4	-0,43	1,04
0,15	0,52	-0,0038	0,89	0,006	0,41	-0,53	1,28
0,17	0,53	-0,0037	0,84	0,0056	0,41	-0,61	1,47
0,2	0,54	-0,0034	0,76	0,0053	0,4	-0,68	1,65
0,22	0,54	-0,0032	0,73	0,0048	0,4	-0,72	1,74
0,25	0,54	-0,0029	0,66	0,0044	0,4	-0,75	1,82
0,3	0,56	-0,0026	0,51	0,0039	0,39	-0,80	1,96
0,35	0,56	-0,0024	0,42	0,0036	0,4	-0,85	2,09
0,4	0,58	-0,0021	0,26	0,0033	0,4	-0,87	2,13
0,45	0,59	-0,0019	0,13	0,003	0,41	-0,89	2,18
0,5	0,59	-0,0016	0,04	0,0022	0,41	-0,91	2,25
0,6	0,62	-0,0014	-0,22	0,0025	0,41	-0,92	2,30
0,7	0,63	-0,0012	-0,37	0,0022	0,41	-0,96	2,41
0,8	0,65	-0,0011	-0,54	0,002	0,41	-0,98	2,46
0,9	0,68	-0,0009	-0,8	0,0019	0,41	-0,97	2,44
1	0,71	-0,0009	-1,04	0,0021	0,41	-0,93	2,32
1,1	0,72	-0,0007	-1,19	0,0018	0,41	-0,92	2,30
1,2	0,73	-0,0006	-1,32	0,0014	0,41	-0,91	2,26
1,3	0,74	-0,0006	-1,44	0,0014	0,41	-0,88	2,20
1,5	0,77	-0,0005	-1,7	0,0017	0,4	-0,85	2,12
1,7	0,79	-0,0005	-1,89	0,0019	0,39	-0,83	2,06
2	0,8	-0,0004	-2,08	0,002	0,39	-0,78	1,92
2,2	0,82	-0,0004	-2,24	0,0022	0,38	-0,76	1,88
2,5	0,84	-0,0003	-2,46	0,0023	0,38	-0,72	1,80
3	0,86	-0,0002	-2,72	0,0021	0,38	-0,68	1,70
3,5	0,9	-0,0003	-2,99	0,0032	0,37	-0,66	1,64
4	0,92	-0,0005	-3,21	0,0045	0,38	-0,62	1,54
4,5	0,94	-0,0007	-3,39	0,0064	0,38	-0,60	1,50
5	0,92	-0,0004	-3,35	0,003	0,38	-0,59	1,46

Fuente: Kanno 2006

Anexo E

E-1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal
(amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo

PERIODO	C1	C2	C3	C*4	C*5
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

Anexo F

F-1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

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

Fuente: Zhao 2006

F-2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción

CH	C1	C2	C3	C4	Ck	σ	τ	σT
0,293	1,111	1,344	1,355	1,420	1,355	0,604	0,398	0,723
0,939	1,684	1,793	1,747	1,814	1,747	0,640	0,444	0,779
1,499	2,061	2,135	2,031	2,082	2,031	0,694	0,490	0,849
1,462	1,916	2,168	2,052	2,113	2,052	0,702	0,460	0,839
1,280	1,669	2,085	2,001	2,030	2,001	0,692	0,423	0,811
1,121	1,468	1,942	1,941	1,937	1,941	0,682	0,391	0,786
0,852	1,172	1,683	1,808	1,770	1,808	0,670	0,379	0,770
0,365	0,655	1,127	1,482	1,397	1,482	0,659	0,390	0,766
-0,207	0,071	0,515	0,934	0,955	0,934	0,653	0,389	0,760
-0,705	-0,429	-0,003	0,394	0,559	0,394	0,653	0,401	0,766
-1,144	-0,866	-0,449	-0,111	0,188	-0,111	0,652	0,408	0,769
-1,609	-1,325	-0,928	-0,620	-0,246	-0,620	0,647	0,418	0,770
-2,023	-1,732	-1,349	-1,066	-0,643	-1,066	0,653	0,411	0,771
-2,451	-2,152	-1,776	-1,523	-1,084	-1,523	0,657	0,410	0,775
-3,243	-2,923	-2,542	-2,327	-1,936	-2,327	0,660	0,402	0,773
-3,888	-3,548	-3,169	-2,979	-2,661	-2,979	0,664	0,408	0,779
-4,783	-4,410	-4,039	-3,871	-3,640	-3,871	0,669	0,414	0,787
-5,444	-5,049	-4,698	-4,496	-4,341	-4,496	0,671	0,411	0,786
-5,839	-5,431	-5,089	-4,893	-4,758	-4,893	0,667	0,396	0,776
-6,598	-6,181	-5,882	-5,698	-5,588	-5,698	0,647	0,382	0,751
-6,752	-6,347	-6,051	-5,873	-5,798	-5,873	0,643	0,377	0,745

Fuente: Zhao 2006