



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

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

Tema:

**“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS
ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR LA FLORESTA
UBICADO EN LA AVENIDA ATAHUALPA, AVENIDA VICTOR HUGO,
ANTONIO CLAVIJO”**

AUTOR:

Lenin Santiago Carrillo Pérez

TUTOR:

Ing. Mg. Carlos Navarro

Ambato – Ecuador

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Carlos Navarro , certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR LA FLORESTA UBICADO EN LA AVENIDA ATAHUALPA, AVENIDA VICTOR HUGO, ANTONIO CLAVIJO”, es de autoría del Sr Lenin Santiago Carrillo Pérez, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, Enero del 2019

Ing. Mg. Carlos Navarro

AUTORÍA

Yo, Lenin Santiago Carrillo Pérez con C.I: 1804857744, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR LA FLORESTA UBICADO EN LA AVENIDA ATAHUALPA, AVENIDA VICTOR HUGO, ANTONIO CLAVIJO, es de mi completa autoría.

Ambato, Enero del 2019

Lenin Santiago Carrillo Pérez

DERECHOS DEL 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 2019

Autor

Lenin Santiago Carrillo Pérez

C.I: 1804857744

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR LA FLORESTA UBICADO EN LA AVENIDA ATAHUALPA, AVENIDA VICTOR HUGO, ANTONIO CLAVIJO”, del egresado Lenin Santiago Carrillo Pérez, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Enero del 2019

Para constancia firman.

Ing. Mg. Betsabeth Suquillo

Ing. Mg. Jorge Cevallos

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo y enseñanza durante todo el proceso para llegar a esta meta.

Santiago

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermano por su apoyo incondicional y proporcionarme los medios necesarios para culminar mi carrera profesional.

A la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica y a todos los profesores.

A los compañeros del grupo de trabajo que realizamos los ensayos para este proyecto experimental.

Santiago

ÍNDICE

A.-PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XV
ABSTRACT.....	XVI

B.- CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.1 Tectónica de placas.....	5
2.1.2 Peligrosidad Sísmica.....	12
2.1.3 Ecuaciones de predicción de Movimiento de suelo (GMPE's).....	19
2.2 HIPÓTESIS.....	23
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	23
2.3.1 Variable Dependiente.....	23
2.3.2 Variable Independiente.....	23

CAPITULO III	24
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	24
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	27
3.3.1 Variable Independiente.....	27
3.3.2 Variable Dependiente.....	27
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	28
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	29
CAPÍTULO IV	30
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	30
4.1.1 Régimen tectónico.....	30
4.1.2 Selección de fallas geológicas	31
4.1.3 Características del suelo	36
4.1.4 Velocidad de onda cortante Vs30	46
4.1.5 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical	51
4.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008).....	51
4.1.5.2 Modelo de Akkar y Bommer (2010).....	56
4.1.5.3 Modelo de Kanno (2006).....	57
4.1.6 Ecuaciones de atenuación para subducción.....	58
4.1.6.1 Youngs (1997)	58
4.1.6.2 Zhao (2006).....	59
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
4.2.1 Magnitud de la fallas	60
4.2.2 Cálculo de espectros.....	61
4.2.2.1 Espectros del modelo de Boore y Atkinson 2008.....	62
4.2.2.2 Espectros del modelo de Akkar y Bommer	63
4.2.2.3 Espectros del modelo de Kanno.....	64
4.2.2.4 Espectro del modelo Youngs	65
4.2.2.5 Espectro del modelo Zhao	66
4.2.3 Espectros con los modelos para una falla.....	66
4.2.4 Espectros para cada falla comparados con la NEC-15.....	69
4.2.5 Espectros de todos los modelos y NEC 2015	73

4.2.6 Espectro determinista comparado con el espectro de la NEC 2015	74
4.2.7 Comportamiento estructural de edificaciones tipo en el sitio de análisis	75
4.2.7.1 Reducción de los espectros.....	75
4.2.7.2 Cálculo de los períodos de vibración	80
4.2.7.3 Verificación del comportamiento estructural	83
4.2.7.4 Análisis dinámico.....	88
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	96
CAPÍTULO V	97
5.1 CONCLUSIONES.....	97
5.2 RECOMENDACIONES.....	98
C. MATERIALES DE REFERENCIA	98
1. BIBLIOGRAFÍA.....	98
2. ANEXOS	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Placas Tectónicas y límites de placas. Se muestran las placas principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana y Sudamericana, Pacífica y Antártica.....	5
Figura 2. Zonas divergentes. La figura muestra la separación de dos placas continentales las cuales se producen en dorsales oceánicas, dando origen al suelo oceánico.	6
Figura 3. Zona de Subducción. La figura muestra la placa oceánica introduciéndose debajo de la placa continental.....	7
Figura 4. Falla transformante. La figura muestra la separación de las placas Pacífica y la Norteamericana conocida como la falla de San Andrés	8
Figura 5. Falla normal. La figura muestra que el bloque de techo se desliza hacia abajo, mientras que el bloque de muro piso asciende, formando un ángulo de 60 grados.	9
Figura 6. Falla inversa. La figura muestra que el bloque de techo asciende, mientras que el bloque de piso se desliza hacia abajo, formando un ángulo de 45 grados	9
Figura 7. Falla de desgarre. La figura muestra que el primer bloque se desliza lateralmente respecto al otro bloque en dirección al plano de falla.....	10

Figura 8. Ecuador, zonas sísmicas. La figura muestra las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor de la zona Z	14
Figura 9. Curvas de peligro sísmico para Ambato. La figura muestra la curva de aceleración máxima esperada en el terreno (PGA).....	15
Figura 10. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. Representa el sismo de diseño, obtenido a partir de los valores de la aceleración y el período de la estructura.	16
Figura 11. Área de análisis. Comprendida entre la Av. Atahualpa, Av. Víctor Hugo y Antonio Clavijo.	25
Figura 12. Falla subducción EC-223. En la figura se muestran todas la fallas geológicas existentes en el Ecuador.	31
Figura 13. Fallas geológicas existentes en la provincia de Tungurahua.....	32
Figura 14. Fallas geológicas existentes en Ambato.....	33
Figura 15. Fallas geológicas adyacentes al sitio de análisis.....	34
Figura 16. Ubicación de los puntos donde se realizó los ensayos.....	42
Figura 17. Espectros de aceleración para cada falla, obtenidos con el modelo Boore y Atkinson 2008	62
Figura 18. Espectros de aceleración para cada falla, obtenidos con el modelo Akkar y Bommer.....	63
Figura 19. Espectros de aceleración para cada falla, obtenidos con el modelo de Kanno	64
Figura 20. Espectro del modelo de Youngs para la falla subducción.....	65
Figura 21. Espectro del modelo de Zhao para la falla subducción.....	66
Figura 22. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Huachi.	67
Figura 23. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Ambato.....	67
Figura 24. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Totoras.	68
Figura 25. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Samanga.	68

Figura 26. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo de Young y Zhao para la falla Subducción	69
Figura 27. Espectros de aceleración para la falla de Huachi y NEC -15	69
Figura 28. Espectros de aceleración para la falla de Ambato y NEC -15.....	70
Figura 29. Espectros de aceleración para la falla de Totoras y NEC -15	71
Figura 30. Espectros de aceleración para la falla de Samanga y NEC -15	71
Figura 31. Espectros de aceleración para la falla de subducción y NEC -15.....	72
Figura 32. Espectro de aceleración de todos los modelos, para todas las fallas y NEC 15	73
Figura 33. Espectro determinista y Espectro NEC 15	74
Figura 34. Vista en planta estructura de 2 pisos	77
Figura 35. Vista 3D estructura 2 pisos.....	77
Figura 36. Vista en planta estructura de 3 pisos	78
Figura 37. Vista 3D estructura 3 pisos.....	78
Figura 38. Vista en planta estructura de 5 pisos	79
Figura 39. Vista 3D estructura 5 pisos.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relaciones empíricas entre la magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de la superficie.	20
Tabla 2. Coordenadas del Área de análisis.....	26
Tabla 3. Operacionalización de la variable independiente.....	27
Tabla 4. Operacionalización de la variable dependiente.....	28
Tabla 5. Plan de recolección de información	28
Tabla 6. Fallas adyacentes al sitio	35
Tabla 7. Fallas adyacentes al sitio	36
Tabla 8. Granulometría suelo punto 1.....	37
Tabla 9. Granulometría suelo punto 2.....	38
Tabla 10. Granulometría suelo punto 3.....	39
Tabla 11. Granulometría suelo punto 4.....	39

Tabla 12. Granulometría suelo punto 5.....	40
Tabla 13. Coordenadas UTM de los puntos donde se realizó los ensayos	43
Tabla 14. Valores Nspt para el punto 1.....	43
Tabla 15. Valores Nspt para el punto 2.....	44
Tabla 16. Valores Nspt para el punto 3.....	44
Tabla 17. Valores Nspt para el punto 4.....	45
Tabla 18. Valores Nspt para el punto 5.....	45
Tabla 19. Clasificación de los suelos	47
Tabla 20. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 1	48
Tabla 21. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 2.....	48
Tabla 22. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 3.....	49
Tabla 23. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 4.....	49
Tabla 24. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 5.....	50
Tabla 25. Tabla resumen Vs30 promedio	50
Tabla 26. Clasificación del tipo de suelo – Modelo de Zhao	60
Tabla 27. Magnitud de momento para cada falla seleccionada.....	61
Tabla 28. Valores del espectro específico determinista	75
Tabla 29. Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros.....	76
Tabla 30. Secciones de los elementos estructurales.....	76
Tabla 31. Valores de Ct y α para el cálculo del período fundamental de vibración	81
Tabla 32. Valores del factor Z y coeficientes de amplificación del suelo tipo D.....	83
Tabla 33. Valores de T1 y T2 para las edificaciones tipo	84
Tabla 34. Participación modal de la masa estructura 2 pisos	85
Tabla 35. Participación modal de la masa estructura 3 pisos	85
Tabla 36. Participación modal de la masa estructura 5 pisos	86
Tabla 37. Modos de vibración para las tres estructuras tipo	86
Tabla 38. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa – Estructura 2 pisos	87
Tabla 39. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa – Estructura 3 pisos	87

Tabla 40. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa – Estructura 5 pisos	88
Tabla 41. Cortante basal estático – estructura de 2 pisos para los espectros NEC 15 y determinista	89
Tabla 42. Cortante basal dinámico – estructura de 2 pisos para el espectro NEC 15.....	89
Tabla 43. Cortante basal dinámico – estructura de 2 pisos para el espectro determinista	89
Tabla 44. Cortante basal estático – estructura de 3 pisos para los espectros NEC 15 y determinista	90
Tabla 45. Cortante basal dinámico – estructura de 3 pisos para el espectro NEC 15.....	90
Tabla 46. Cortante basal dinámico – estructura de 3 pisos para el espectro determinista	90
Tabla 47. Cortante basal estático – estructura de 5 pisos para los espectros NEC 15 y determinista	91
Tabla 48. Cortante basal dinámico – estructura de 5 pisos para el espectro NEC 15.....	91
Tabla 49. Cortante basal dinámico – estructura de 5 pisos para el espectro determinista	92
Tabla 50. Relación del cortante dinámico y estático	92
Tabla 51. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro NEC 15 – Estructura 2 pisos	93
Tabla 52. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro determinista – Estructura 2 pisos.....	94
Tabla 53. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro NEC 15 – Estructura 3 pisos	94
Tabla 54. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro determinista – Estructura 3 pisos.....	94
Tabla 55. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro NEC 15 – Estructura 5 pisos	95
Tabla 56. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro determinista – Estructura 5 pisos.....	95
Tabla 57. Derivas máximas inelásticas	96

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR LA FLORESTA UBICADO EN LA AVENIDA ATAHUALPA, AVENIDA VICTOR HUGO, ANTONIO CLAVIJO”

Autor: Lenin Santiago Carrillo Pérez

Tutor: Ing. Mg. Carlos Navarro

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se calculó el período fundamental de vibración para tres edificaciones tipo del sector la Floresta de la ciudad de Ambato, lo que corresponde a una aceleración en función de la gravedad S_a (g), tomada del espectro específico determinista, para compararlo con el espectro de aceleración de la NEC 2015. Para determinar el espectro determinista se siguieron los siguientes pasos: Identificar el régimen tectónico en el sitio de análisis, seleccionar las fallas geológicas con mayor longitud y más cercanas al sitio. Mediante el ensayo de penetración estándar (SPT) se calculó la velocidad media de onda cortante VS30. Se calculó la magnitud de momento para cada una de las fallas seleccionadas utilizando la metodología de Wells y Coppersmith, utilizando parámetros como la distancia al epicentro, hipocentro y profundidad focal. Por medio de las Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPEs) se obtiene espectros de aceleración y mediante una envolvente de aceleraciones máximas se obtiene el espectro determinista, el cual se compara con el espectro de respuesta de la NEC 2015.

ABSTRACT

In the present research work, the fundamental period of vibration was calculated for three buildings of the La Floresta sector of the city of Ambato, which corresponds to an acceleration based on the gravity S_a (g), taken from the specific deterministic spectrum, for compare it with the acceleration spectrum of the NEC 2015. To determine the deterministic spectrum the following steps were followed: Identify the tectonic regime at the analysis site, select the geological faults with greater length and closer to the site. By means of the standard penetration test (SPT), the average shear wave velocity V_{S30} was calculated. The moment magnitude was calculated for each of the faults selected using the Wells and Coppersmith methodology, using parameters such as distance to the epicenter, hypocenter and focal depth. By means of the Soil Motion Prediction Equations (GMPEs), acceleration spectra is obtained and by means of an envelope of maximum accelerations, the deterministic spectrum is obtained, which is compared with the response spectrum of the NEC 2015.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL CANTÓN AMBATO SECTOR LA FLORESTA UBICADO EN LA AVENIDA ATAHUALPA, AVENIDA VICTOR HUGO, ANTONIO CLAVIJO”

1.2. ANTECEDENTES

Los sismos en Ecuador provienen de dos grandes zonas tectónicas entre sí: la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. El terremoto de 1949 en Ambato, inicialmente siguió un cruce de varias fallas de noroeste a sureste en el Valle Interandino, que fueron creados por la subducción de la dorsal de Carnegie. Los estratos de roca agrietadas como la ruptura de fallas, envió poderosas ondas de choque. Hoy en día, esas amenazas geológicas existen en todo el país tanto de sismicidad interplaca como intraplaca. [1]

Según Alvarado y Valdebenito: Los estudios de microzonificación sísmica son de vital importancia debido a que de esta manera se puede dividir al territorio en áreas con características dinámicas similares y posteriormente generar una pauta para la correcta edificación sismo resistente, particularizando cada estructura según el tipo de suelo en que estará cimentada. [2]

Según Aguiar establece: Existen importantes estudios de microzonificación sísmica que se han realizado en el centro y norte de la ciudad de Quito, debido a que esta ciudad se encuentra asentada sobre un sistema de fallas ciegas activas constituyendo un gran peligro. Por este motivo se debe incrementar los factores de aceleraciones espectrales elásticas que pueden producirse en un sismo. Así mismo se han llevado a cabo estudios de refracción sísmica con la finalidad de determinar la velocidad de la onda de corte y los periodos de vibración del suelo. [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

Los sismos más grandes del planeta se producen a lo largo del Anillo de Fuego del Pacífico, aproximadamente un 90% de los sismos se generan en esta zona, en donde las placas tectónicas se encuentran en constante movimiento y liberando gran cantidad de energía, originando intensa actividad sísmica y volcánica. Ecuador forma parte del Anillo de Fuego del Pacífico por lo cual está expuesto a eventos sísmicos, y las edificaciones más propensas a sufrir daños son aquellas que no cumplan con los requisitos mínimos de diseño establecidos por la normativa vigente. [5]

Según estudios del Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional la ciudad de Ambato ha sido declarada la ciudad de más alto riesgo sísmico del país, por la presencia de fallas geológicas, de ahí se evidencia que existen suelos vulnerables y si hay edificaciones construidas sin guía profesional puede traer consecuencias graves. La ciudad de Ambato no cuenta con una investigación de fallas geológicas en su totalidad, con lo cual este trabajo determinará con qué tipo de suelo cuenta, magnitud máxima del área de estudio de las fallas seleccionadas, para poder disminuir el peligro sísmico y alcanzar seguridad en las estructuras. [6]

Con el fin de pronosticar la atenuación se han realizado ecuaciones que se han obtenido de los métodos de regresiones matemáticas que son métodos numéricos que buscan a partir de mediciones conocidas como magnitud y distancia focal del sitio considerado al epicentro o hipocentro. A las ecuaciones de atenuación se las conoce también como ecuaciones de predicción de movimientos fuertes. [7]

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio del peligro sísmico determinista para las estructuras del cantón Ambato sector la Floresta ubicado en la avenida Atahualpa, avenida Víctor Hugo, Antonio Clavijo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la estratigrafía predominante de la zona en estudio.
- Seleccionar las fallas activas que abarca el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Verificar el comportamiento estructural de tres edificaciones tipo del área de análisis, mediante la utilización del software ETABS.
- Comparar los resultados obtenidos de las estructuras diseñadas con el espectro de la NEC y el espectro determinista.

CAPÍTULO II

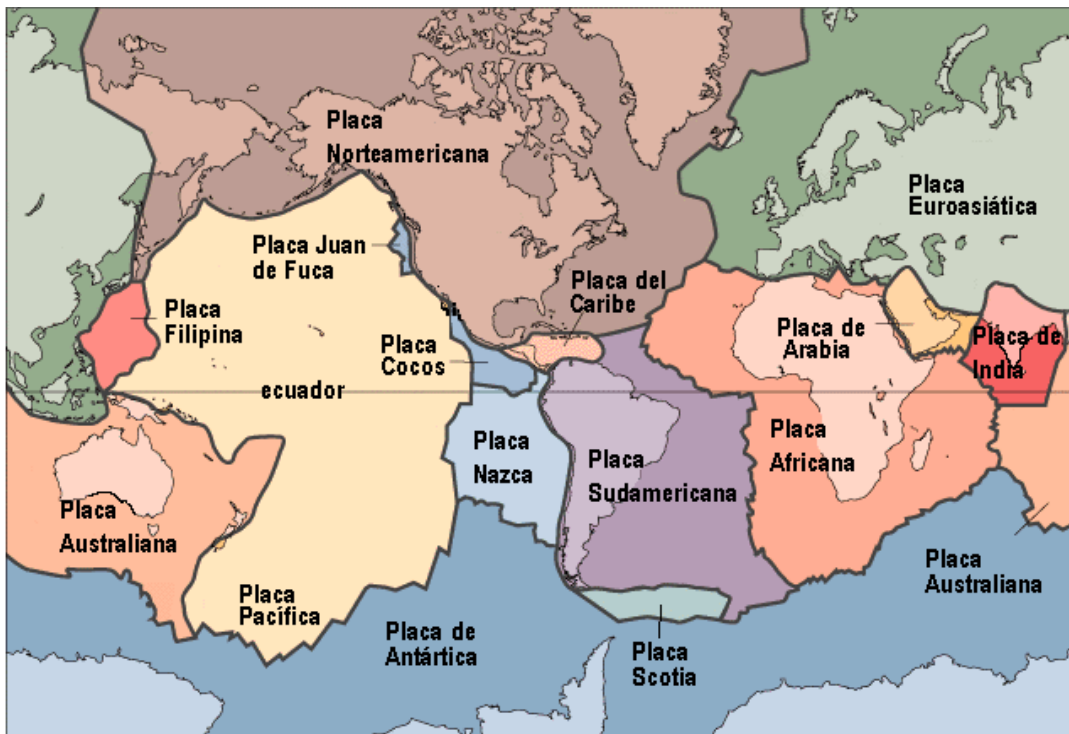
FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Tectónica de placas

La corteza terrestre está formada por seis grandes casquetes esféricos, y varios menores, que engranan entre sí como rompecabezas, a los que se conocen como placas tectónicas. Ejemplos de las primeras: La Sudamericana que abarca el continente y la mitad occidental del Atlántico Sur; la norteamericana que comprende el continente y la mitad occidental del Atlántico Norte. De las segundas: la placa del Caribe, Nazca, Cocos. [8]

Figura 1. Placas Tectónicas y límites de placas. Se muestran las placas principales: Africana, Euroasiática, Australiana, Norteamericana y Sudamericana, Pacífica y Antártica.



Fuente: Tolson, G. Instituto de Geología UNAM

Sus límites son dorsales oceánicas, fosas y arcos insulares, fallas de transformación. Esta teoría se basa sobre el concepto de que la Tierra no es rígida, sino que continentes y cuencas oceánicas derivan lentamente fracturándose y reuniéndose y quizás creciendo. [8]

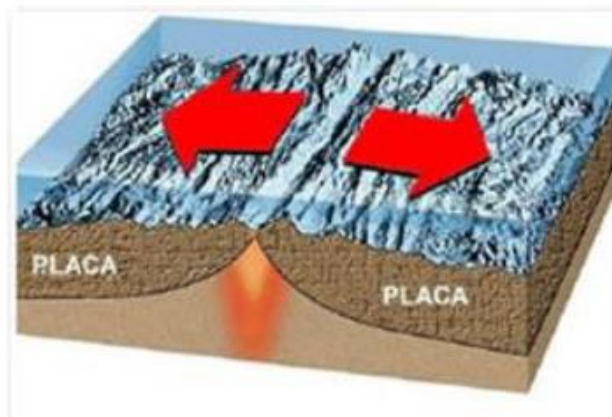
El movimiento relativo de las placas se manifiesta, sobre todo, en los bordes o límites de las placas y en ellos se produce una zona relativamente estrecha de deformación donde se concentra la actividad sísmica. El 90 % de los terremotos que ocurren a nivel global son de origen tectónico. [9]

Los límites de placa revelan el tipo de movimiento que se producen entre las placas y, consecuentemente, condiciona el tipo de actividad sísmica que se origina en ellos. Son fundamentalmente de tres tipos: [9]

- **Zonas divergentes o de expansión**

En esta zona las placas se separan dando lugar a nueva corteza y producen terremotos superficiales [9]

Figura 2. Zonas divergentes. La figura muestra la separación de dos placas continentales las cuales se producen en dorsales oceánicas, dando origen al suelo oceánico.

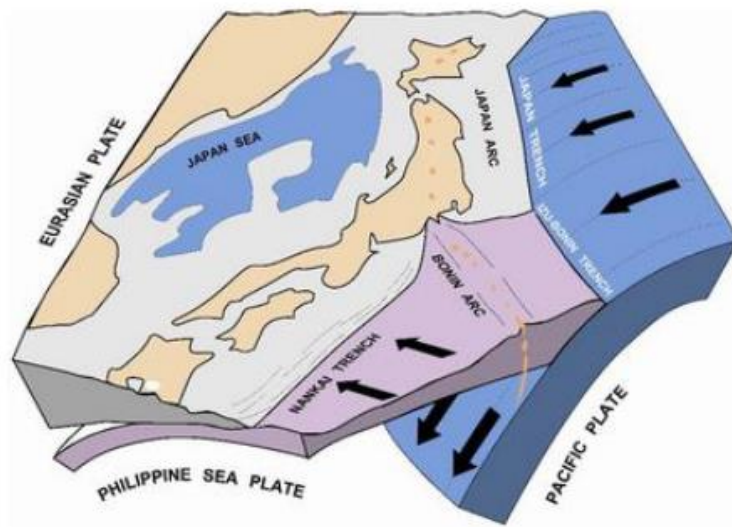


Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas.

- **Zonas convergentes**

Se denominan también zonas de subducción, donde una placa oceánica se introduce debajo de otra continental, y en las que se producen grandes terremotos superficiales (profundidad de 0 - 60 Km), intermedios (60 - 300 Km) y profundos (300 - 700 Km). Un ejemplo es la zona Sudamericana. [9]

Figura 3. Zona de Subducción. La figura muestra la placa oceánica introduciéndose debajo de la placa continental.

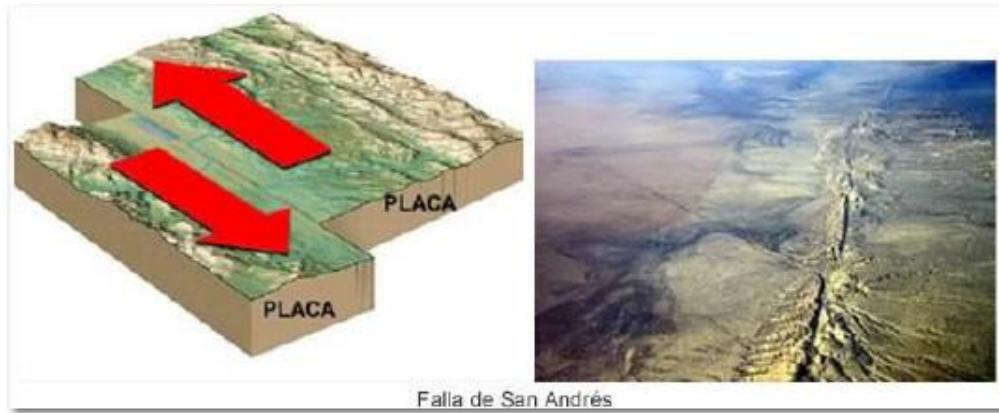


Fuente: CSEM. Centro Sismológico Euro-Mediterráneo

- **Zonas de fallas transformantes**

Donde el movimiento es lateral y no se produce ni destrucción ni creación de material cortical, producen terremotos de gran magnitud. Un ejemplo es la falla de San Andrés que separa las placas Pacífica y la de América del Norte. [9]

Figura 4. Falla transformante. La figura muestra la separación de las placas Pacífica y la Norteamericana conocida como la falla de San Andrés



Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas.

Fallas geológicas

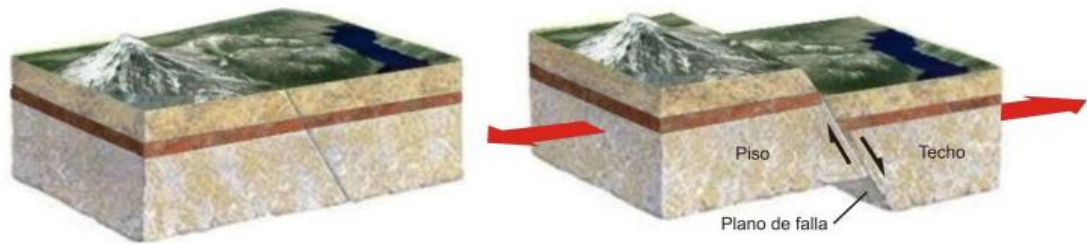
Una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de las rocas en el interior de la corteza terrestre esto sucede cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. El movimiento causante de esta dislocación puede tener varias direcciones: vertical, horizontal o una combinación entre ambas. [10]

Tipos de fallas

- **Falla normal**

Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla, y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. [10]

Figura 5. Falla normal. La figura muestra que el bloque de techo se desliza hacia abajo, mientras que el bloque de muro piso asciende, formando un ángulo de 60 grados.

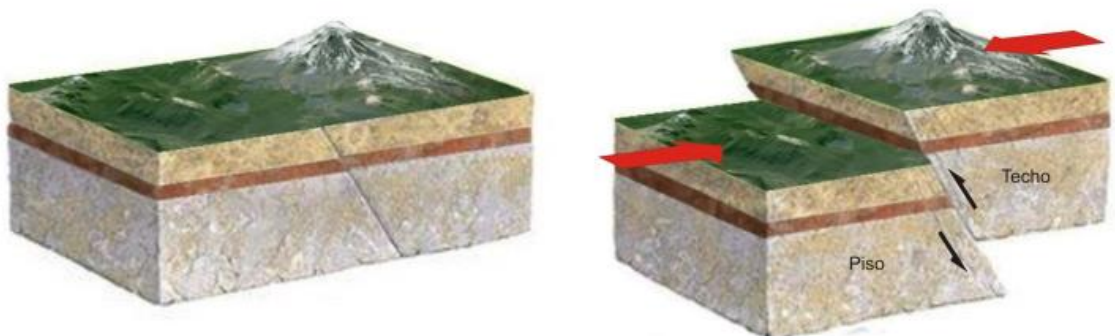


Fuente: INPRES. Fallas Geológicas

- **Falla inversa**

Se genera por compresión horizontal es decir el movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento inferior a 45 grados se les denomina cabalgamiento. [10]

Figura 6. Falla inversa. La figura muestra que el bloque de techo asciende, mientras que el bloque de piso se desliza hacia abajo, formando un ángulo de 45 grados

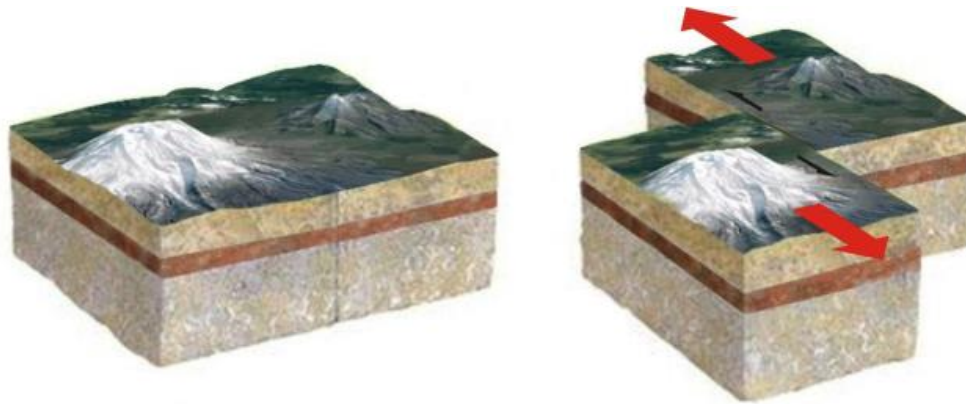


Fuente: INPRES. Fallas Geológicas

- **Falla de desgarre**

También es conocida como falla transversal, estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. [10]

Figura 7. Falla de desgarre. La figura muestra que el primer bloque se desliza lateralmente respecto al otro bloque en dirección al plano de falla.



Fuente: INPRES. Fallas Geológicas

Terremotos

Un terremoto es una vibración o movimiento repentino causado por la liberación brusca y súbita de energía acumulada por la deformación de la Litosfera, que se propaga en forma de ondas sísmicas. Por lo tanto se trata de un fenómeno transitorio. [9]

Tipos de terremotos

- **Terremotos tectónicos**

Son producidos debido a la ruptura súbita de las rocas por efecto de la deformación que se ha acumulado en la zona. Existe una etapa previa de acumulación de energía que dura generalmente muchos años, en cambio la relajación por medio de terremotos solamente segundos. [9]

Se producen generalmente en las zonas de contacto entre placas tectónicas (terremotos entre placas) y más raramente en zonas de debilidad dentro de las placas (terremotos intra-placa). [9]

- **Terremotos volcánicos**

Son los producidos en las zonas afectadas por los fenómenos o la actividad volcánica, el principal motivo que los ocasiona es porque las rocas se fracturan debido al movimiento del magma. [9]

- **Terremotos de colapso**

Son terremotos de menor magnitud generados por el hundimiento o deslizamiento de grandes masas de tierra. [9]

2.1.2 Peligrosidad Sísmica

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 son cuantificados. [4]

Vulnerabilidad sísmica

Es la cuantificación del grado de daño que se espera que sufra una estructura, sometida a la acción dinámica de un sismo de una determinada magnitud. [11]

Riesgo sísmico

Es la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas producidas por un terremoto iguallen o excedan valores predeterminados para una localización o área geográfica. [11]

El riesgo sísmico depende directamente de la peligrosidad y vulnerabilidad, por lo tanto una estructura localizada en un determinado sector con cierto riesgo sísmico se ve afectada en menor o mayor medida dependiendo de la vulnerabilidad que esta posea. [11]

Existen dos métodos de evaluación de peligrosidad sísmica:

Método probabilista

Considera que los terremotos en el futuro se producirán de forma análoga a como lo hicieron en el pasado y conducen a la estimación de los límites superiores del movimiento, expresados por los valores máximos del parámetro empleado para su descripción. Requieren el conocimiento del máximo sismo potencial o del terremoto característico. [12]

Método determinista

Deduce las relaciones de recurrencia de los fenómenos sísmicos de una zona a partir de la información existente en la misma y con ellas obtienen las funciones de probabilidad de los parámetros buscados. Necesitan la estimación previa de leyes de recurrencia de los sismos en cada falla. [12]

El principal objetivo que persigue este método es determinar el sismo de control, el cual produce el mayor movimiento del suelo. [12]

Los pasos para realizar un análisis de peligro sísmico determinista se muestran a continuación:

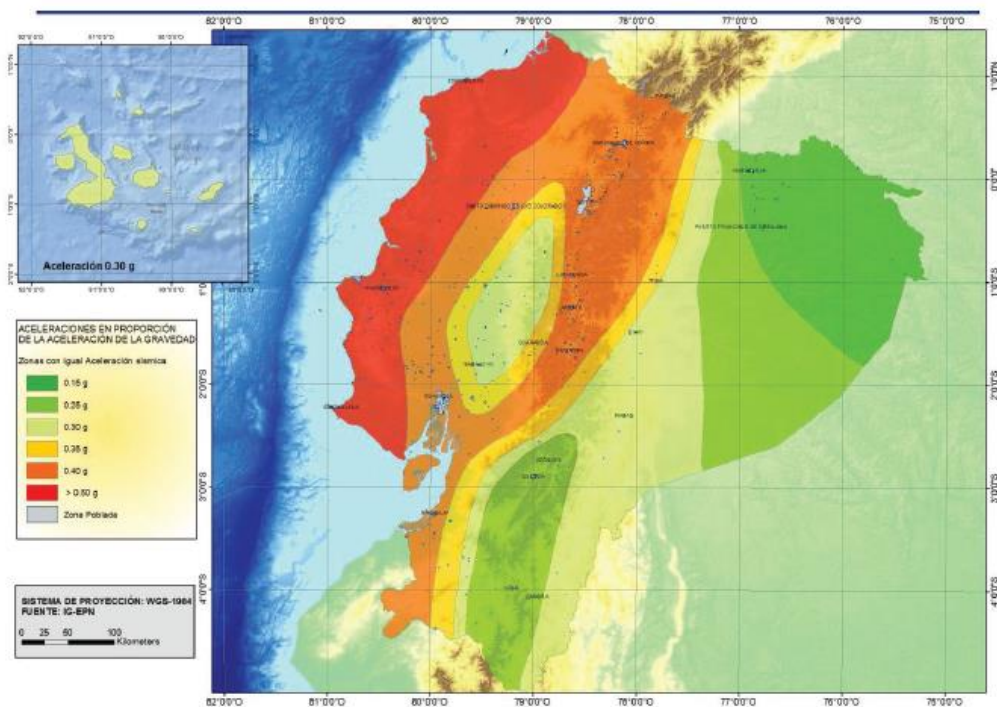
- Identificar la geometría y el potencial de todas las probables fuentes de terremotos en el sitio.
- Seleccionar la distancia de cada fuente sísmica al sitio de estudio, generalmente se toma la distancia más corta.
- Seleccionar el sismo de control el cual produce la mayor magnitud.
- Determinar el peligro sísmico mediante las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE's), para la obtención de resultados en términos de aceleración máxima, desplazamiento máximo o mediante las ordenadas de un espectro de respuesta que describa del peligro sísmico en el sitio. [13]

Zonificación sísmica en el Ecuador

El mapa de zonificación para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10 % de excedencia en 50 años (periodo 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 que la principal fuente de generación de energía sísmica en el País es el hecho de la subducción de la placa de Nazca debajo de la Sudamericana. También se añade un complejo sistema de fallas local superficial que produce sismos importantes en gran parte del Ecuador. [4]

Figura 8. Ecuador, zonas sísmicas. La figura muestra las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor de la zona Z



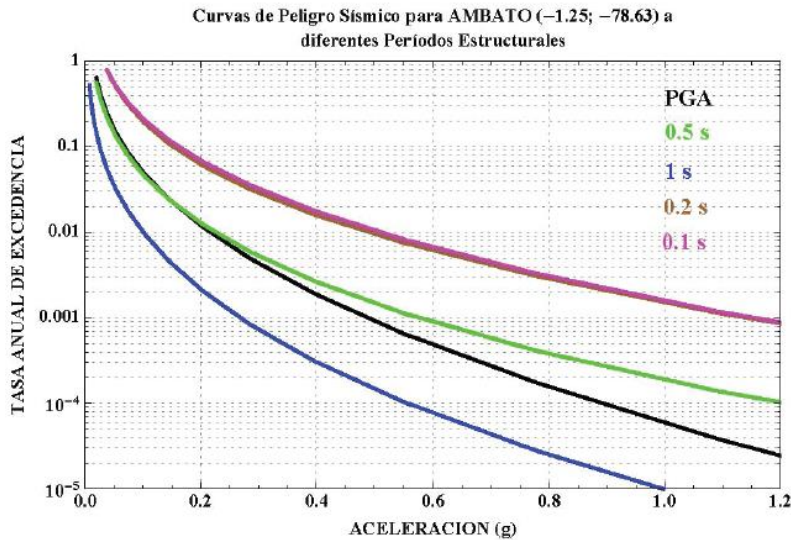
Fuente: Peligro sísmico NEC_SE_DS 2015

Curvas de peligro sísmico

Para el diseño de estructuras de ocupación especial, estructuras esenciales, puentes, obras portuarias y otras estructuras diferentes a las de edificación; es necesario utilizar diferentes niveles de peligro sísmico con el fin de verificar el cumplimiento de diferentes niveles de desempeño. [4]

Para definir los diferentes niveles de aceleración sísmica esperada en roca, se proporcionan en las curvas de peligro sísmico probabilista para cada capital de provincia, en donde se relaciona el valor de la aceleración sísmica en el terreno (PGA) con un nivel de probabilidad anual de excedencia. El periodo de retorno correspondiente es el inverso de la probabilidad anual de excedencia. Además se incluye también las curvas de aceleraciones máximas espectrales para periodos estructurales de 0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 segundos. [4]

Figura 9. Curvas de peligro sísmico para Ambato. La figura muestra la curva de aceleración máxima esperada en el terreno (PGA).



Fuente: Peligro sísmico NEC_SE_DS 2015

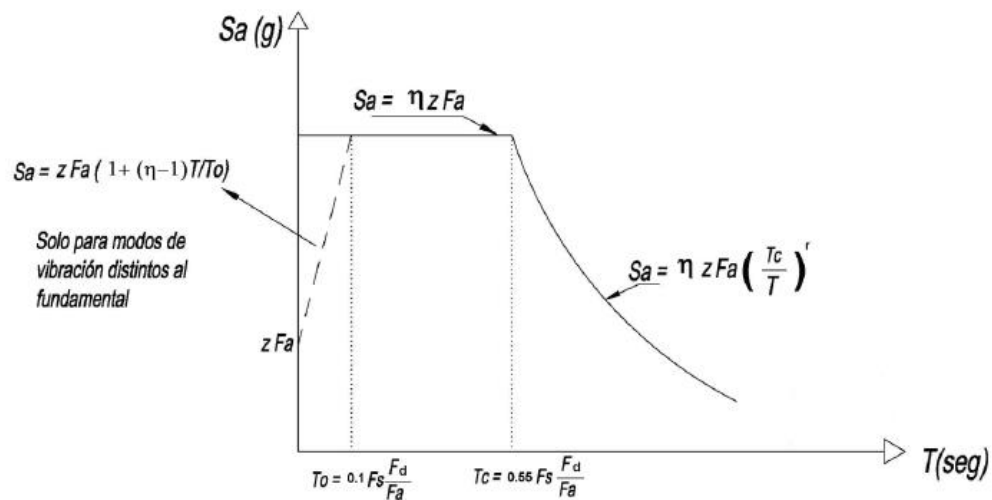
Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y el tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. [4]

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, consistente con: [4]

- El factor de zona sísmica Z
- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura
- Los coeficientes de amplificación de suelo F_a, F_d, F_s

Figura 10. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. Representa el sismo de diseño, obtenido a partir de los valores de la aceleración y el período de la estructura.



Fuente: Peligro sísmico NEC_SE_DS 2015

Dicho espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración estructural T pertenecientes a dos rangos: [4]

Para $0 \leq T \leq T_c$

$$S_a = \eta Z F a$$

Para $T > T_c$

$$S_a = \eta Z F a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$$

Donde:

η : Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado

Z: Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

T: Periodo fundamental de vibración de la estructura

T_c : Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

r: Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto

r = 1 para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E

r = 1.5 para tipo de suelo E

Establecimiento de los espectros

Para el establecimiento del espectro mencionado y de sus límites, se consideran los siguientes criterios:

- Estudio de las formas espectrales elásticas de los sismos ecuatorianos registrados en la Red Nacional de Acelerógrafos
- Simulación estocástica de acelerogramas artificiales y estudio de formas espectrales

- Estudio de las formas espectrales elásticas de las normativas ASCE 7-10 de los Estados Unidos y la NSR-10 de Colombia, ambas del 2010
- Las formas espectrales, los factores de amplificación dinámica de las aceleraciones espectrales, las frecuencias fundamentales de vibración, la meseta máxima, la ecuación de la curva de caída, los factores de comportamiento inelástico de los suelos.

Debido a la imposibilidad de utilizar la ductilidad para disminuir la ordenada espectral elástica para períodos cortos con fines de diseño y, únicamente para el análisis sísmico estático y para el análisis sísmico dinámico del modo fundamental de vibración, se eliminó el ramal izquierdo de ascenso de los espectros elásticos de respuesta típicos y se estableció que la meseta máxima llegue hasta valores de períodos de vibración cercanos a cero. [4]

Período de vibración

Tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, para que el sistema vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación. [4]

Método 1

El periodo de vibración de la estructura (T), para cada dirección será estimado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde:

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio.

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

Método 2

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

2.1.3 Ecuaciones de predicción de Movimiento de suelo (GMPE's)

Atenuación sísmica

Corresponde a la disminución de la amplitud de las ondas sísmicas debido a su transmisión a través del interior y por la superficie de la Tierra. Las leyes de atenuación sísmica se disponen en términos de aceleración máxima, y también en términos de las ordenadas espectrales del espectro de aceleraciones. Para ello es necesario conocer una distancia epicentral y magnitud. [14]

Magnitud de momento

Se define como la cantidad de energía liberada por un sismo a partir del momento sísmico. La magnitud de momento se obtendrá por medio de Wells – Coppersmith, nos dice: Los análisis 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. [15]

Tabla 1. Relaciones empíricas entre la magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y desplazamiento de la superficie.

Ecuación	Tipo de Falla	Número de Eventos	Coeficientes y errores estándar		Desviación Estándar	Coeficiente de Correlación	Rango de Magnitudes	Longitud/Ancho
			a(sa)	b(sb)				s
$M = a + b \cdot \log(\text{SRL})$	SS	43	5.16(0.13)	1.12(0.08)	0.28	0.91	5.6 a 8.1	1.3 a 432
	R	19	5.00(0.22)	1.22(0.16)	0.28	0.88	5.4 a 7.4	3.3 a 85
	N	15	4.86(0.34)	1.32(0.26)	0.34	0.81	5.2 a 7.3	2.5 a 41
	All	77	5.08(0.10)	1.16(0.07)	0.28	0.89	5.2 a 8.1	1.3 a 432
$\log(\text{SRL}) = a + b \cdot M$	SS	43	-3.55(0.37)	0.74(0.05)	0.23	0.91	5.6 a 8.1	1.3 a 432
	R	19	-2.86(0.55)	0.63(0.08)	0.20	0.88	5.4 a 7.4	3.3 a 85
	N	15	-2.01(0.65)	0.50(0.10)	0.21	0.81	5.2 a 7.3	2.5 a 41
	All	77	-3.22(0.27)	0.69(0.04)	0.22	0.89	5.2 a 8.1	1.3 a 432
$M = a + b \cdot \log(\text{RDL})$	SS	93	4.33(0.06)	1.49(0.05)	0.24	0.96	4.8 a 8.1	1.5 to 350
	R	50	4.49(0.11)	1.49(0.09)	0.26	0.93	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	24	4.34(0.23)	1.54(0.18)	0.31	0.88	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	167	4.38(0.06)	1.49(0.04)	0.26	0.94	4.8 a 8.1	1.1 a 350
$\log(\text{RDL}) = a + b \cdot M$	SS	93	-2.57(0.12)	0.62(0.02)	0.15	0.96	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	50	-2.42(0.21)	0.58(0.03)	0.16	0.93	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	24	-1.88(0.37)	0.50(0.06)	0.17	0.88	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	167	-2.44(0.11)	0.59(0.02)	0.16	0.94	4.8 a 8.1	1.1 a 350
$M = a + b \cdot \log(\text{RW})$	SS	87	3.80(0.17)	2.59(0.18)	0.45	0.84	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	43	4.37(0.16)	1.95(0.15)	0.32	0.9	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	23	4.04(0.29)	2.11(0.28)	0.31	0.86	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	153	4.06(0.11)	2.25(0.12)	0.41	0.84	4.8 a 8.1	1.1 a 350
$\log(\text{RW}) = a + b \cdot M$	SS	87	-0.76(0.12)	0.27(0.02)	0.14	0.84	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	43	-1.61(0.20)	0.41(0.03)	0.15	0.9	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	23	-1.14(0.28)	0.35(0.05)	0.12	0.86	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	153	-1.01(0.10)	0.32(0.02)	0.15	0.84	4.8 a 8.1	1.1 a 350
$M = a + b \cdot \log(\text{RA})$	SS	83	3.98(0.07)	1.02(0.03)	0.23	0.96	4.8 a 7.9	3 a 5,184
	R	43	4.33(0.12)	0.90(0.05)	0.25	0.94	4.8 a 7.6	2.2 a 2,400
	N	22	3.93(0.23)	1.02(0.10)	0.25	0.92	5.2 a 7.3	19 a 900
	All	148	4.07(0.06)	0.98(0.03)	0.24	0.95	4.8 a 7.9	2.2 a 5,184
$\log(\text{RA}) = a + b \cdot M$	SS	83	-3.42(0.18)	0.90(0.03)	0.22	0.96	4.8 a 7.9	3 a 5,184
	R	43	-3.99(0.36)	0.98(0.06)	0.26	0.94	4.8 a 7.6	2.2 a 2,400
	N	22	-2.87(0.50)	0.82(0.08)	0.22	0.92	5.2 a 7.3	19 to 900
	All	148	-3.49(0.16)	0.91(0.03)	0.24	0.95	4.8 a 7.9	2.2 a 5,184

SRL-Longitud de la superficie de ruptura (Km);RDL-Longitud de la subsuperficie de ruptura (Km);RW-Ancho de ruptura (Km);RA-Área de ruptura (Km²);SS-Transcurrente;R-Inversa;N-Normal

Fuente: Wells y Coppersmith

Ecuaciones de predicción de movimiento del suelo GMPE's

Las ecuaciones de predicción de movimiento del suelo GMPE's son expresiones matemáticas que relacionan un parámetro específico del movimiento del suelo con otros parámetros sismológicos que caracterizan cuantitativamente la fuente sísmica, la trayectoria de propagación de las ondas y el efecto local del suelo. [14]

Para el presente estudio se han seleccionado las siguientes ecuaciones:

Sismos Intraplacas (Fallamiento Cortical)

- **Boore y Atkinson (2008)**

$$\ln y = (\mathbf{M})+(\mathbf{R}_{JB},\mathbf{M})+\mathbf{F}_S(\mathbf{V}_{S30},\mathbf{R}_{JB},\mathbf{M})+\varepsilon \quad (1)$$

Dónde:

F_M, F_D, F_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)**

$$\ln y = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2\mathbf{M} + \mathbf{b}_3\mathbf{M}^2 + (\mathbf{b}_4 + \mathbf{b}_5\mathbf{M}) \log\sqrt{\mathbf{R}^2\mathbf{j}\mathbf{b}} + \mathbf{b}^2\mathbf{6} + \mathbf{b}_7\mathbf{S}_S + \mathbf{b}_8\mathbf{S}_A + \mathbf{b}_9\mathbf{F}_N + \mathbf{b}_{10}\mathbf{F}_R + \varepsilon\sigma \quad (2)$$

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_B: Suelo suave

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

Si $D \leq 30$ Km:

$$\mathbf{Log\ pre = a_1M_W + b_1X - (X+d_1 * 10^{e1M_w}) + c_1 + \xi_1} \quad (3)$$

Si $D \leq 30$ Km:

$$\mathbf{Log\ pre = a_2M_W + b_2X - (X) + c_2 + \xi_2} \quad (4)$$

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)**

$$\mathbf{Lny = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2 (10^{-M}) + C_3 * (R+1.097e^{0.617M}) + 0.00648H} \\ \mathbf{+ 0.3643t} \quad (5)$$

Dónde:

y: Aceleración espectral en g

C = Coeficientes

R: Distancia de la fuente al sitio

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

Z_t: Tipo de falla

- **Zhao (2006)**

$$\text{Log } y = aMw + bx - \log(r) + e(h-hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL \log(x) + Ck \quad (6)$$

Dónde:

M: Magnitud de momento

a,, = Coeficientes

x: Distancia de la fuente en Km

h: Profundidad focal

hc: Constante

Ck: Clase de sitio

2.2 HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato Sector La Floresta?

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las edificaciones del sector la Floresta del Cantón Ambato.

2.3.2 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se van a utilizar en este proyecto serán: exploratorio y de laboratorio.

Exploratorio debido a que se realizará el estudio de peligro sísmico para las estructuras del cantón Ambato sector La Floresta, la metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro que se encuentra en la NEC 2015.

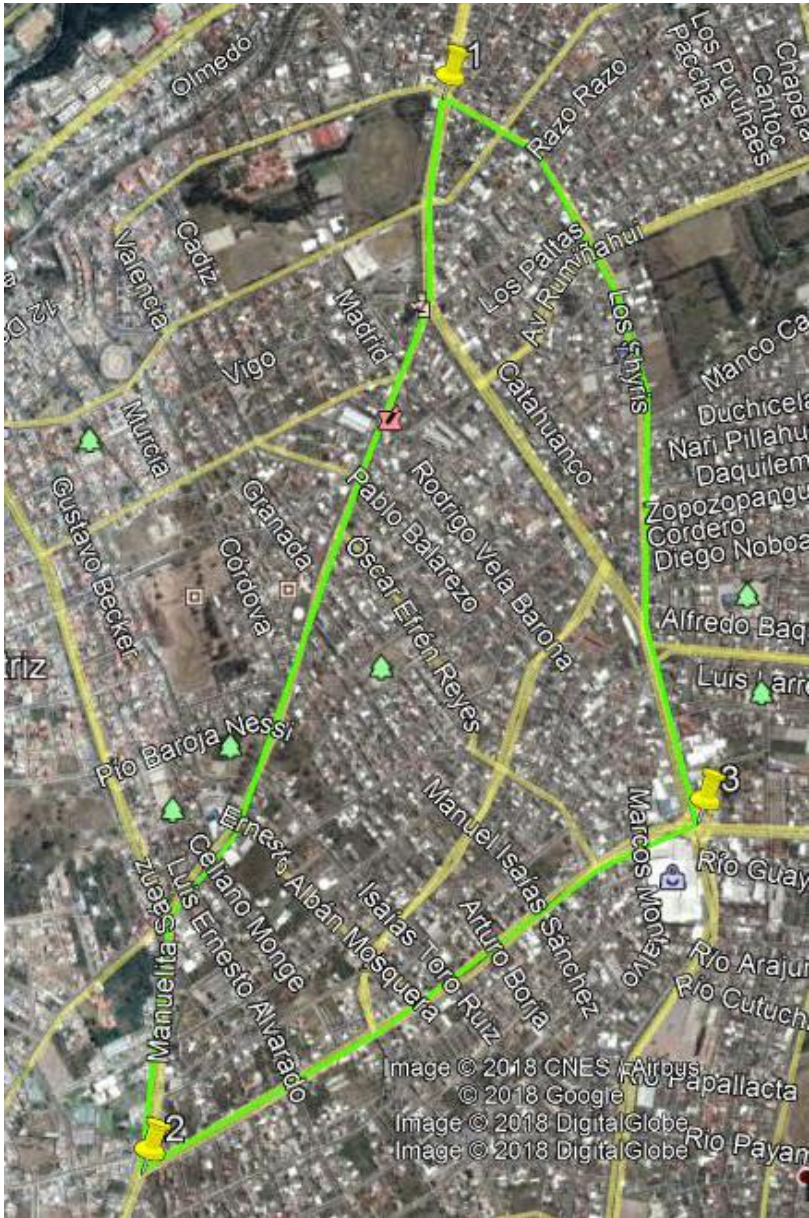
De laboratorio porque no se conoce con certeza el tipo de suelo que posee cada sector de la ciudad de Ambato, para determinar el tipo de suelo se realizará el ensayo de penetración estándar SPT. Además se utilizara el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

El estudio de peligro sísmico determinista se lo realizará para el sector la Floresta de la ciudad de Ambato, ubicado en la avenida Atahualpa, avenida Víctor Hugo y calle Antonio Clavijo. Para lo cual es necesario conocer las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo que se van a utilizar y también las características geotécnicas del suelo.

Figura 11. Área de análisis. Comprendida entre la Av. Atahualpa, Av. Víctor Hugo y Antonio Clavijo.



Fuente: Google Earth

Tabla 2. Coordenadas del Área de análisis

Punto	Este	Norte
1	763453.87 m	9861671.48 m
2	762836.44 m	9859426.79 m
3	763991.44 m	9860138.60 m

Fuente: Google Earth

Muestra

Para el estudio de suelos se realizarán cinco ensayos de penetración estándar (SPT), los mismos que estarán ubicados de forma aleatoria en la parte central y extremos para cubrir con toda el área de análisis.

Las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo que se van a utilizar son:

- Akkar y Bommer (2010)
- Boore y Atkinson (2008)
- Kanno (2006)
- Young (1997)
- Zhao (2006)
- Atkinson y Boore (2003)

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista

Tabla 3. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Es el estudio de un sitio determinado tomando en cuenta sus fuentes sismogénicas principales para generar un modelo de movimiento sísmico.	Movimiento Sísmico	- Magnitud - PGA	-¿Cuál fue la magnitud del terremoto? - ¿Cuál es el PGA que se obtuvo?	-Experimental -Experimental -Bibliográfico

Fuente: Santiago Carrillo

3.3.2 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las edificaciones del sector la Floresta del Cantón Ambato.

Tabla 4. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Es la probabilidad de ocurrencia de un sismo en un lugar determinado, durante un periodo de tiempo	-Tipo de suelo	- Ensayo SPT	- ¿Cuál es el tipo de suelo del lugar?	-Experimental - Bibliográfico
	-Ecuaciones de atenuación	- Aceleración	-¿Cuál es la aceleración obtenida?	-Experimental -Bibliográfico

Fuente: Santiago Carrillo

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 5. Plan de recolección de información

Preguntas básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	Para evaluar el peligro sísmico en el sector la Floresta del cantón Ambato.
2. ¿De qué personas u objetos?	-Régimen tectónico -Tipo de suelo -Fallas seleccionadas
3. ¿Sobre qué aspectos?	Influencia del peligro sísmico para las edificaciones.
4. ¿Quién?	Santiago Carrillo

5. ¿Dónde?	-Laboratorio de mecánica de suelos de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato. - Sector la Floresta del Cantón Ambato
6. ¿Cómo?	-Investigación bibliográfica -Norma NEC 2015 -Ensayos in situ -Ensayos de laboratorio

Fuente: Santiago Carrillo

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El proceso será el siguiente:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio.
- Selección de las fallas más relevantes que afectaran el área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador.
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología Wells – Coppersmith, que establecen ecuaciones para determinar la magnitud de momento, la ecuación que se utilizará está en función de la longitud de ruptura para los diferentes tipos de falla.
- Identificación del tipo de suelo mediante en ensayo SPT, basado en la NEC-15.
- Estimar la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPE's).
- Comparación del espectro de respuesta obtenido con el espectro que se encuentra en la NEC-15

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Régimen tectónico

El sector La Floresta se encuentra en la ciudad de Ambato ubicada sobre los 2580 msnm. La ciudad está ubicada en la provincia de Tungurahua en una región sísmica y volcánica. [21]

El Ecuador presenta tres tipos de regímenes tectónicos:

- Cortical
- Subducción interplaca
- Subducción intraplaca

Una parte del territorio continental se encuentra sobre una micro placa denominada “Bloque Andino” que fue descrita por Peggninton en 1981. Esta micro placa está controlada por la interacción de las placas Sudamericana, Nazca, Cocos y Caribe. [21]

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. [21]

El sismo del 5 de agosto de 1949, conocido como Terremoto de Ambato o Pelileo, tuvo un alto potencial destructivo debido a la generación de grandes deslizamientos por efectos de sitio en la localidad de Pelileo. Su epicentro, de acuerdo a las últimas investigaciones, se ubica en una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 km

nororiente de Pelileo. La magnitud calculada en función de las intensidades generadas es de 6.8 con una profundidad menor a 15 km. [21]

La subducción de la placa de nazca bajo la Sudamericana se encuentra entre 60 - 70 mm/año, el movimiento de estas placas ha provocado en el país sismos de grandes magnitudes, entre los que podemos citar los siguientes: Esmeraldas el 31 de enero de 1906 con una magnitud $M_w = 8.8$, Pedernales el año 2016 ($M_w = 7.8$). [21]

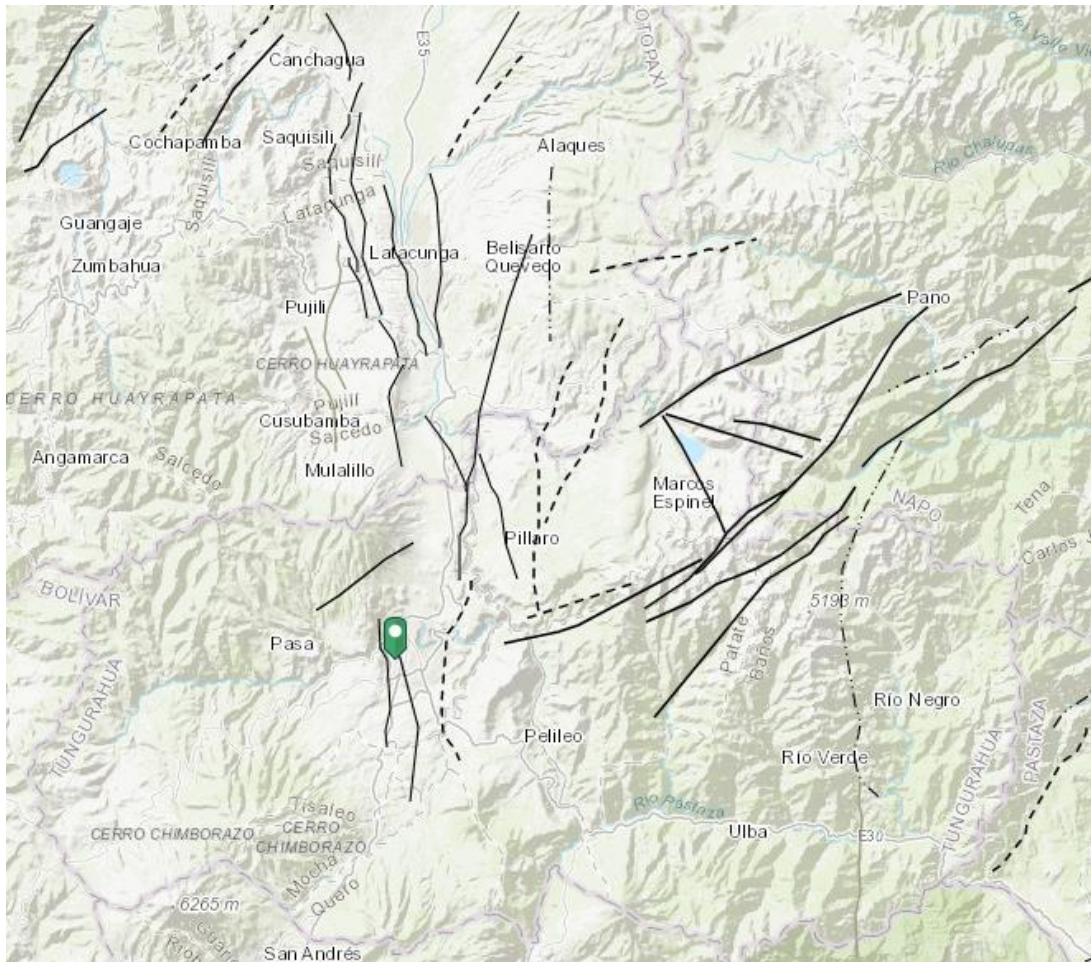
4.1.2 Selección de fallas geológicas

Figura 12. Falla subducción EC-223. En la figura se muestran todas la fallas geológicas existentes en el Ecuador.



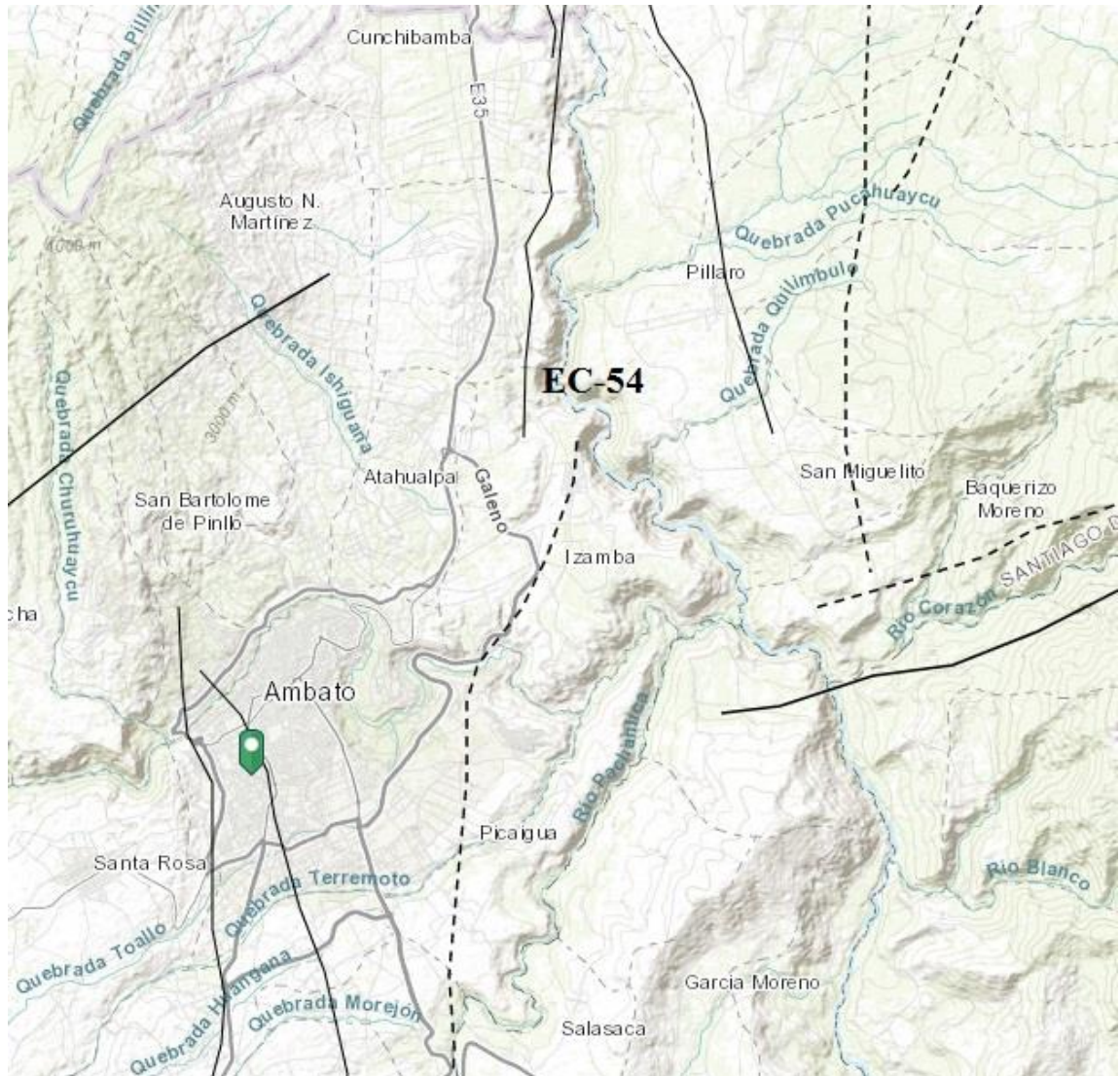
Fuente: IGEPN

Figura 13. Fallas geológicas existentes en la provincia de Tungurahua



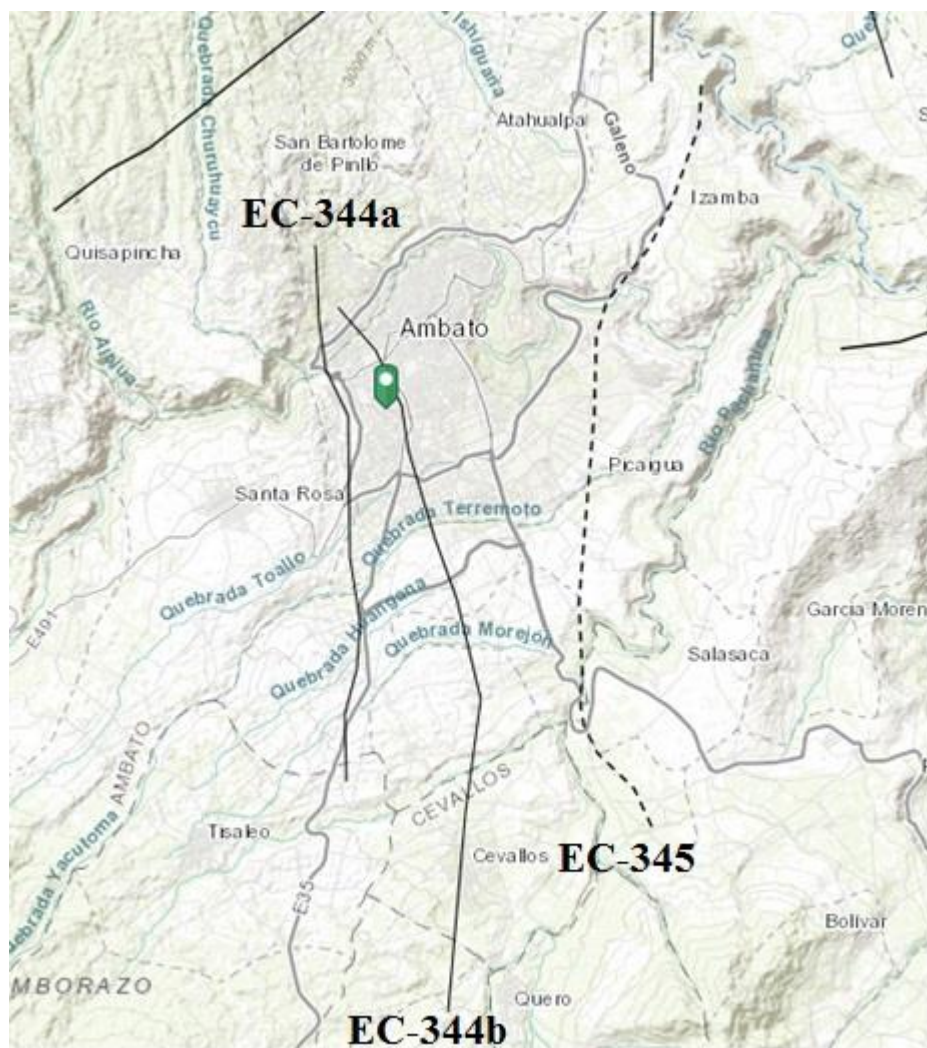
Fuente: IGEPN

Figura 14. Fallas geológicas existentes en Ambato



Fuente: IGEPN

Figura 15. Fallas geológicas adyacentes al sitio de análisis



Fuente: IGEPN

Se han seleccionado las fallas con mayor longitud y las más cercanas al sitio de análisis. A continuación se detalla el código, nombre, longitud de la falla y distancia de la falla al sitio de análisis.

Tabla 6. Fallas adyacentes al sitio

Código	Nombre	Tipo	Longitud de la falla (Km)	Distancia al sitio de análisis (Km)
EC-223	Subducción	Inversa	1536.5	307
EC-344a	Huachi	Inversa ciega	12.0	0.97
EC-344b	Ambato	Inversa ciega	16.3	0.2
EC-345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	17.7	4.6
Ec-54	Samanga	Inversa ciega	33.0	9.1

Fuente: IGEPN

4.1.3 Características del suelo

Tabla 7. Fallas adyacentes al sitio

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	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	GW
			(Poco o nada de partículas finas)	Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	GP
			GRAVA CON FINOS	Grava limosa; mezcla de gravas, arena y limo.	Más del 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 grupos ML y MH)	GM
			(Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava arcillosa; mezcla de grava, arena y arcilla.	Más del 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 grupos CL y CH)	GC
		ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	SW
			(Poco o nada de partículas finas)	Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N° 200	SP
			ARENA CON FINOS	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más del 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 grupos ML y MH)	SM
			(Cantidad apreciable de partículas finas)	Arcilla arcillosa; mezcla de arena, grava y arcilla	Más del 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 grupos 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	
			Mayor de 50%	Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este manual.	CL	
				Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este manual.	OL	
				Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este manual.	MH	
				Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este manual.	CH	
				Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este manual.	OH	
ALTAMENTE ORGÁNICOS		Turba, fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P			

Fuente: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Con las muestras de suelo obtenidas del ensayo SPT se procedió a realizar el ensayo granulométrico en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil, en las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos y en base a los mismos se determinará el tipo de suelo de acuerdo a la tabla proporcionada por el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Tabla 8. Granulometría suelo punto 1

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
1.0 m			
#4	2.70	1.52	98.48
#200	107.20	60.33	39.67
Fuente	67.80	38.15	
Total	177.70	100.00	
1.5 m			
#4	31.90	8.86	91.14
#200	224.40	62.35	37.65
Fuente	103.60	28.79	
Total	359.90	100.00	
2.0 m			
#4	39.10	9.61	90.39
#200	255.60	62.80	37.20
Fuente	112.30	27.59	
Total	407.00	100.00	
2.5 m			
#4	66.90	23.26	76.74
#200	146.20	50.83	49.17
Fuente	74.50	25.90	
Total	287.60	100.00	
3.0 m			
#4	13.10	2.19	97.81
#200	397.20	66.40	33.60
Fuente	187.90	31.41	
Total	598.20	100.00	

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 9. Granulometría suelo punto 2

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
1.0 m			
#4	7.70	3.41	96.59
#200	157.20	69.53	30.47
Fuente	61.20	27.07	
Total	226.10	100.00	
1.5 m			
#4	15.00	3.06	96.94
#200	349.70	71.43	28.57
Fuente	124.90	25.51	
Total	489.60	100.00	
2.0 m			
#4	10.10	2.74	97.26
#200	272.70	73.92	26.08
Fuente	86.10	23.34	
Total	368.90	100.00	
2.5 m			
#4	6.00	2.26	97.74
#200	182.00	68.52	31.48
Fuente	77.60	29.22	
Total	265.60	100.00	
3.0 m			
#4	5.90	1.72	98.28
#200	244.30	71.20	28.80
Fuente	92.90	27.08	
Total	343.10	100.00	

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 10. Granulometría suelo punto 3

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
1.0 m			
#4	0.40	0.19	99.81
#200	145.00	67.95	32.05
Fuente	68.00	31.87	
Total	213.40	100.00	
1.5 m			
#4	2.20	0.76	99.24
#200	219.00	75.36	24.64
Fuente	69.40	23.88	
Total	290.60	100.00	

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 11. Granulometría suelo punto 4

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
1.0 m			
#4	6.70	7.63	92.37
#200	59.70	68.00	32.00
Fuente	21.40	24.37	
Total	87.80	100.00	
1.5 m			
#4	4.60	2.87	97.13
#200	116.20	72.58	27.42
Fuente	39.30	24.55	
Total	160.10	100.00	
2.0 m			
#4	1.20	0.75	99.25
#200	123.70	77.31	22.69
Fuente	35.10	21.94	
Total	160.00	100.00	

2.5 m			
#4	0.30	0.13	99.87
#200	169.00	75.04	24.96
Fuente	55.90	24.82	
Total	225.20	100.00	

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 12. Granulometría suelo punto 5

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
1.0 m			
#4	3.60	4.22	95.78
#200	58.30	68.35	31.65
Fuente	23.40	27.43	
Total	85.30	100.00	
1.5 m			
#4	0.00	0.00	100.00
#200	72.90	71.12	28.88
Fuente	29.60	28.88	
Total	102.50	100.00	
2.0 m			
#4	1.50	1.06	98.94
#200	108.70	76.50	23.50
Fuente	31.90	22.45	
Total	142.10	100.00	
2.5 m			
#4	1.40	0.59	99.41
#200	161.60	67.64	32.36
Fuente	75.90	31.77	
Total	238.90	100.00	

Elaborado por: Santiago Carrillo

En todos los estratos de suelo más de la mitad del material es retenido por el tamiz #200, y más del 50 % pasa el tamiz #4; por consiguiente el tipo de suelo en todos los puntos es arena.

4.1.3.1 Ensayo de penetración estándar (SPT)

Para este ensayo se cumplió con la norma INEN 689 que nos indica:

- Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo excavado, se precede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de 75 cm sobre la cabeza del golpe.
- Se debe usar cabo de manila o similar para levantar el martinete, si se acciona mecánicamente no debe enrollarse más de dos giros en el malacate.
- La guía para la caída debe mantenerse perpendicular, para garantizar que la fricción no disminuya la energía de los golpes.
- Es indispensable que se perfore 15 cm para preparar el ensayo, en este primer tramo el número de golpes solo se utiliza como guía.
- Si al realizarlo sobrepasa los 50 golpes, sin haber penetrado la totalidad de cada intervalo, se anotara el número de golpes y la longitud de penetración del muestreador.
- Al extraer el muestreador a la superficie se debe girar por lo menos dos vueltas, con el fin de cortar la muestra por el fondo, después se saca el muestreador a la superficie y se mide la longitud de la muestra desestimando la parte superior que no es representativa.

- Se debe trasladar la muestra hacia el laboratorio en un recipiente sellado herméticamente.
- Para el registro de los recipientes con su respectiva muestra se deben etiquetar apropiadamente utilizando tinta indeleble. [23]

Se realizó 5 perforaciones en el sitio de análisis, a continuación se detalla en la imagen la ubicación y en la tabla 13 las coordenadas.

Figura 16. Ubicación de los puntos donde se realizó los ensayos



Fuente: Google Earth

Tabla 13. Coordenadas UTM de los puntos donde se realizó los ensayos

Perforación	Este	Norte
Punto 1	763710.18 m	9861032.35 m
Punto 2	763382.49 m	9860814.73 m
Punto 3	763345.79 m	9860224.56 m
Punto 4	763107.56 m	9860256.81 m
Punto 5	763584.20 m	9860073.90 m

Fuente: Google Earth

En las siguientes tablas se plasman los valores obtenidos en el ensayo de penetración estándar. Y se procedió a sumar los dos últimos valores parciales para obtener el valor Nspt total para cada metro de profundidad.

Tabla 14. Valores Nspt para el punto 1

Profundidad (m)	NSPT(parcial)	NSPT(Total)
0.55	Limpieza	
0.7	11	
0.85	19	
1	20	
1.2	14	
1.35	14	30
1.5	16	
1.7	20	
1.85	16	33
2	17	
2.2	21	
2.35	30	71
2.5	41	
2.7	37	
2.85	50	-

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 15. Valores Nspt para el punto 2

Profundidad (m)	NSPT(parcial)	NSPT(Total)
0.55	Limpieza	
0.7	7	
0.85	7	
1	9	
1.2	15	28
1.35	14	
1.5	14	
1.7	22	50
1.85	23	
2	27	
2.2	23	72
2.35	32	
2.5	40	
2.7	42	80
2.85	34	
3	46	

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 16. Valores Nspt para el punto 3

Profundidad (m)	NSPT(parcial)	NSPT(Total)
0.55	Limpieza	
0.7	15	
0.85	17	
1	21	
1.2	32	80
1.35	41	
1.5	39	

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 17. Valores Nspt para el punto 4

Profundidad (m)	NSPT(parcial)	NSPT(Total)
0.55	Limpieza	
0.7	13	
0.85	11	
1	13	
1.2	16	41
1.35	20	
1.5	21	
1.7	26	58
1.85	28	
2	30	
2.2	31	80
2.35	44	
2.5	36	

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 18. Valores Nspt para el punto 5

Profundidad (m)	NSPT(parcial)	NSPT(Total)
0.55	Limpieza	
0.7	12	
0.85	13	
1	15	
1.2	15	46
1.35	18	
1.5	28	
1.7	30	67
1.85	32	
2	35	
2.2	37	80
2.35	39	
2.5	41	

Elaborado por: Santiago Carrillo

4.1.4 Velocidad de onda cortante Vs30

La velocidad sísmica de la onda de corte en la capa superior de suelo es un parámetro importante, debido a que ésta es responsable de la amplificación del movimiento del suelo.

Para calcular el valor de la velocidad de onda cortante se utilizará la ecuación de Fauzi et al. (2014), que se encuentra en el artículo “Correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de onda de corte (Vs) para el valle de Katmandú, Nepal”. [24]

$$V_s = 105.03 * N^{0.285}$$

Donde:

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

Vs: Velocidad media de la onda de cortante

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece seis tipos de perfil de suelo los mismos que constan en la siguiente tabla.

Tabla 19. Clasificación de los suelos

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 > 3 m 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 > 30 m)	
	F5 —Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6 —Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: NEC 2015

Tabla 20. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 1

Profundidad (m)	NSPT(Total)	Vs30 (m/s)	Tipo perfil	Vs30 promedio (m/s)
0.55	Nivel mínimo de cimentación			
0.7				
0.85				
1				
1.2	30	276.88	D	305.11
1.35				
1.5				
1.7	33	284.50	D	
1.85				
2				
2.2	71	353.93	D	
2.35				
2.5				
2.7	Rechazo			
2.85				

Tabla 21. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 2

Profundidad (m)	NSPT(Total)	Vs30 (m/s)	Tipo perfil	Vs30 promedio (m/s)
0.55	Nivel mínimo de cimentación			
0.7				
0.85				
1				
1.2	28	271.49	D	328.32
1.35				
1.5				
1.7	50	320.27	D	
1.85				
2				
2.2	72	355.35	D	
2.35				
2.5				
2.7	80	366.18	C	
2.85				
3				

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 22. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 3

Profundidad (m)	NSPT(Total)	Vs30 (m/s)	Tipo perfil	Vs30 promedio (m/s)
0.55	Nivel mínimo de cimentación			
0.7				
0.85				
1				
1.2	80	366.18	C	366.18
1.35				
1.5				

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 23. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 4

Profundidad (m)	NSPT(Total)	Vs30 (m/s)	Tipo perfil	Vs30 promedio (m/s)
0.55	Nivel mínimo de cimentación			
0.7				
0.85				
1				
1.2	41	302.66	D	334.32
1.35				
1.5				
1.7	58	334.11	D	
1.85				
2				
2.2	80	366.18	C	
2.35				
2.5				

Elaborado por: Santiago Carrillo

Tabla 24. Valores de la velocidad media de onda cortante Vs30 para el punto 5

Profundidad (m)	NSPT(Total)	Vs30 (m/s)	Tipo perfil	Vs30 promedio (m/s)
0.55	Nivel mínimo de cimentación			
0.7				
0.85				
1				
1.2	46	312.75	D	342.35
1.35				
1.5				
1.7	67	348.13	D	
1.85				
2				
2.2	80	366.18	C	
2.35				
2.5				

Elaborado por: Santiago Carrillo

Para determinar el Vs30 en el sitio de análisis se obtuvo un promedio de los valores de Vs30 obtenidos en cada uno de los puntos.

Tabla 25. Tabla resumen Vs30 promedio

Punto	Vs30 (m/s)	Tipo de perfil	Vs30 Promedio (m/s)
1	305.11	D	335.26
2	328.32	D	
3	366.18	C	
4	334.32	D	
5	342.35	D	

Elaborado por: Santiago Carrillo

En la tabla 19 se puede observar la clasificación de los perfiles de suelo, aquí se indica que se puede realizar la clasificación tomando en cuenta dos parámetros: El número de golpes de ensayo SPT o la velocidad media de onda cortante V_{s30} .

Para el proyecto y con un criterio conservador se va a utilizar el parámetro de la velocidad media de onda cortante $V_{s30} = 335.26 \text{ m/s}$, que se encuentra en el rango $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ indicando que es un **tipo de perfil D**.

4.1.5 Ecuaciones de atenuación para sismos intraplaca cortical

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

4.1.5.1 Modelo Boore y Atkinson (2008)

Las ecuaciones propuestas surgieron del proyecto de atenuación de PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), usando una amplia base de datos de miles de registros compilados de terremotos en sitios tectónicos activos de todo el mundo. La cantidad de datos utilizados en el análisis de regresión se basa en la magnitud y los rangos de distancia para el análisis de peligro sísmico. [17]

$$LN y = FM(M) + FD(Rjb, M) + Fs(Vs30, Rjb, M) + \varepsilon$$

La función de distancia está dada por:

$$FD(Rjb, M) = [c1 + c2(M - Mref)] \ln\left(\frac{R}{Rref}\right) + c3(R - Rref)$$

Donde:

$$R = \sqrt{R^2_{jb} + h^2}$$

(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) $M \leq Mh$

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

b) $M > Mh$

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

Donde U, SS, NS y RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, normal, inversa, Mh está en magnitud es para la forma de la escala de magnitud, es un coeficiente que se debe establecer durante el análisis. [17]

La ecuación de amplificación del sitio está dada por:

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

Donde $FLIN$ y FNL son los términos lineales y no lineales respectivamente.

$$FLIN = b \ln \ln \left(\frac{Vs30}{V_{ref}} \right) \quad (4.5)$$

Donde b_{lin} es un coeficiente dependiente del periodo, y V_{ref} es la velocidad de referencia especificada (760 m/s). Estos coeficientes fueron descritos por (Choi y Stewart 2005). [17]

El término no lineal viene dado por:

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

$$FNL = b_{nl} \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right) \quad (4.6)$$

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

$$FNL = b_{nl} \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right) + c\left[\ln\left(\frac{pga_{4nl}}{a_1}\right)\right]^2 + d\left[\ln\left(\frac{pga_{4nl}}{a_1}\right)\right]^3 \quad (4.7)$$

c) $a_2 < pga_{4nl}$

$$FNL = b_{nl} \ln\left(\frac{pga_{4nl}}{0.1}\right) \quad (4.8)$$

Donde $a_1 = 0.03g$ y $a_2 = 0.09g$ se les asignan niveles para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente, $pga_{low} = 0.06$ es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales, pga_{4nl} es la predicción de PGA en g para $V_{ref} = 760$ m/s, dada por la ecuación principal con $F_s = 0$ y $\mathcal{E} = 0$. Las tres ecuaciones para no lineal del suelo responden (Ecuaciones 4.6 – 4.8). [17]

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

$$c = \frac{3\Delta y - b \, n l \Delta x}{\Delta x^2} \tag{4.9}$$

$$d = \frac{2\Delta y - b \, n l \Delta x}{\Delta x^3} \tag{4.10}$$

$$\Delta x = \ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right) \tag{4.11}$$

$$\Delta y = (b n l \ln\left(\frac{a_2}{p g a l o w}\right)) \tag{4.12}$$

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

a) $V_{s30} \leq V_1$

$$bnl = b_1 \tag{4.13}$$

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

$$bnl = (b_1 - b_2) \frac{\ln\left(\frac{V_{s30}}{V_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} + b_2 \tag{4.14}$$

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

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

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

$$b_{nl} = 0 \quad (4.16)$$

$V_1 = 180 \text{ m/s}$

$V_2 = 300 \text{ m/s}$

Categorías:

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

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. [17]

Limitaciones del modelo

Estas ecuaciones deben ser usadas para: [17]

- $M = 5 - 8$
- $R_{bj} < 200 \text{ Km}$
- $V_{s30} = 180 - 1300 \text{ m/s}$

4.1.5.2 Modelo de Akkar y Bommer (2010)

Para llegar a este modelo se basaron en Akkar y Bommer (2007), siguieron con trazar curvas de atenuación para los valores medianos de PGA y ordenadas espectrales medianas para un número de escenarios de magnitud y distancia. Los resultados obtenidos se compararon con otras ecuaciones; como los modelos de nueva generación de atenuación (NGA), Stafford, Strasser y Bommer 2008 – 2010. [18]

Esta ecuación debe ser usada para $M = 5 - 7.6$

$$\text{Log } y = b1 + b2M + b3M^2 + (b4 + b5M) \log \sqrt{R^2 j b + b^2 6} + b7SS + b8SA + b9FN + b10FR + \epsilon\sigma$$

Para esta ecuación y está en cm/s^2

Categorías:

- Suelo blando : $SS = 1$; $SA = 0$; $Vs30 < 360$ m/s
- Suelo rígido: $SS = 0$; $SA = 1$
- Roca: $SS = 0$; $SA = 0$; $Vs30 > 750$ m/s

Categorías mecanismo de falla:

- Falla normal: $FN = 1$; $FR = 0$
- Falla inversa: $FN = 0$; $FR = 1$
- 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. [18]

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

4.1.5.3 Modelo de Kanno (2006)

Después del terremoto de Kobe en 1995, el gobierno japonés por prevenir futuros desastres, instaló estaciones de observación de movimiento fuerte, incluyendo K-NET (Kinoshita 1998). Unos años después publicaron mapas que indican solo la intensidad sísmica para Japón. Relaciones empíricas de atenuación para los espectros de respuesta como Kobayashi y Midorikawa 1982, Annaka 1997. En este estudio registra movimientos de tierras fuertes japoneses entre 1963 – 2003. [19]

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 el sitio de análisis se utilizará la primera ecuación, debido a que la profundidad focal es menor a 30 km. [19]

Donde:

- D: Profundidad focal
- Pre: PGA predicha en cm/s^2
- $e_1 = 0.5$

En el caso de terremotos poco profundos se utilizará para X un valor de:

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

4.1.6 Ecuaciones de atenuación para subducción

4.1.6.1 Youngs (1997)

Los sismos provocados en zonas de subducción producen movimientos telúricos que se atenúan en menor proporción que los sismos provocados por fallas dentro de las zonas de placas tectónicas. Se estableció además que los sismos originados a gran profundidad producen incremento de su magnitud generando picos de movimiento que sobrepasan en 50 % a terremotos superficiales. [20]

Se recomienda el uso de esta ecuación para: distancias a la proyección de falla de 10 a 500 Km, magnitudes de momento M mayores a 5, profundidades focales entre 10 y 229 Km. [20]

$$\ln(y) = -0.6687 + 1.43M + c1 + c2 (10 - M)^3 + c3 \ln(R + 1.097 e^{0.617M}) + 0.00648 H + 0.3647 Zt$$

Desviación estándar = $c4 + c5M$

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

Y: Aceleración espectral en g

M: magnitud de momento

R: distancia más cercana a la falla

H: profundidad focal

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

4.1.6.2 Zhao (2006)

Esta ecuación se basa en registros de movimientos sísmicos en Japón, además para obtener una base de datos más detallada se utilizaron también registros pertinentes a lugares del mundo en los cuales el régimen tectónico se ajustaba al de Japón como: la parte occidental de Estados Unidos e Irán. [21]

Para eventos de subducción es muy relevante la profundidad focal debido a que tiene un gran efecto en las aceleraciones producidas. [21]

$$\ln(Y) = aMw + bx + \ln(r) + e(h - hc) * \delta h + Fr + SI + SS + Ssl \ln(x) + Ck$$

$$r = x + c \exp(dMw)$$

Donde:

Y: Aceleración espectral amortiguada al 5% en cm/s^2

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

Mw: Magnitud de momento

X: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal en Km

hc: Constante de profundidad para eventos superficiales (15 km)

Fr: Aplicable solo a eventos de falla inversa

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

SS: Parámetro aplicable solo a eventos de subducción, para el resto es cero.

Ssl: Parámetro modificador de trayectoria para eventos intraplaca

Ck: Parámetro de la clase de suelo

δh : Toma el valor de 1 cuando $h \geq hc$ caso contrario es cero.

Los límites de profundidad focal para los diferentes tipos de eventos son:

- Cortical $0 \leq h \leq 25$
- Intraplaca $10 \leq h \leq 50$
- Interplaca $15 \leq h \leq 162$

Cuando $h > 125$ km, entonces h toma el valor de 125 km.

Clasificación del tipo de suelo

Tabla 26. Clasificación del tipo de suelo – Modelo de Zhao

Tipo de suelo	Descripción	Vs30 (m/s)
Roca dura	Roca	$Vs30 > 1100$
SC I	Roca	$Vs30 > 600$
SC II	Suelo duro	$300 \leq Vs30 \leq 600$
SC III	Suelo medianamente duro	$200 \leq Vs30 \leq 300$
SC IV	Suelo suave	$Vs30 \leq 200$

Fuente: Zhao 2006

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1 Magnitud de la fallas

Aplicando la ecuación de Wells y Coppersmith se obtiene la siguiente magnitud de momento (M_w).

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

Donde:

a, b: Coeficientes dados por Wells y Coppersmith (Tabla1)

SRL: Longitud de rotura superficial en km (Tabla 6)

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

$$M = 5 + 1.22 * \log(12)$$

$$M = 6.32$$

Este ejemplo muestra el cálculo de la magnitud de momento para la falla de Huachi.

Tabla 27. Magnitud de momento para cada falla seleccionada

Código	Nombre	Magnitud de momento
EC-223	Subducción	8.89
EC-344a	Huachi	6.32
EC-344b	Ambato	6.48
EC-345	Totoras	6.52
Ec-54	Samanga	6.85

Elaborado por: Santiago Carrillo

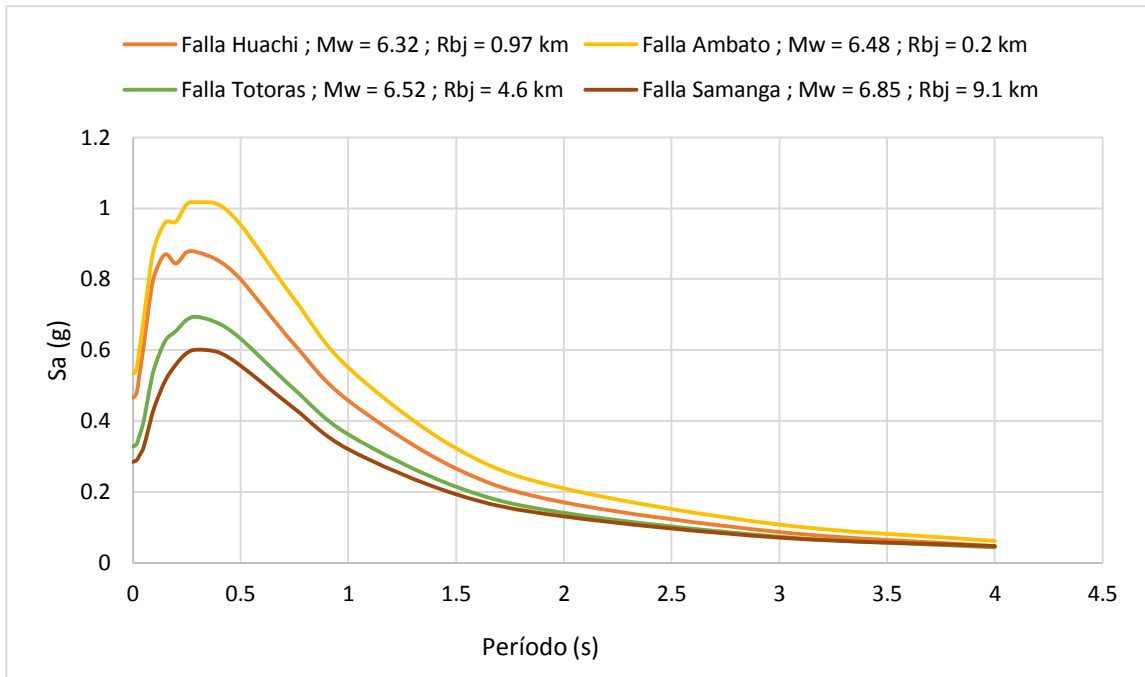
4.2.2 Cálculo de espectros

Espectros para fallas corticales

Los modelos de Boore y Atkinson, Akkar y Bommer y Kanno nos permiten el cálculo de espectros con un amortiguamiento del 5 % para fallas corticales seleccionadas para el sitio de análisis. Para el cálculo de todos los espectros se utilizó la velocidad media de onda cortante promedio $V_{s30} = 335.26$ m/s.

4.2.2.1 Espectros del modelo de Boore y Atkinson 2008

Figura 17. Espectros de aceleración para cada falla, obtenidos con el modelo Boore y Atkinson 2008

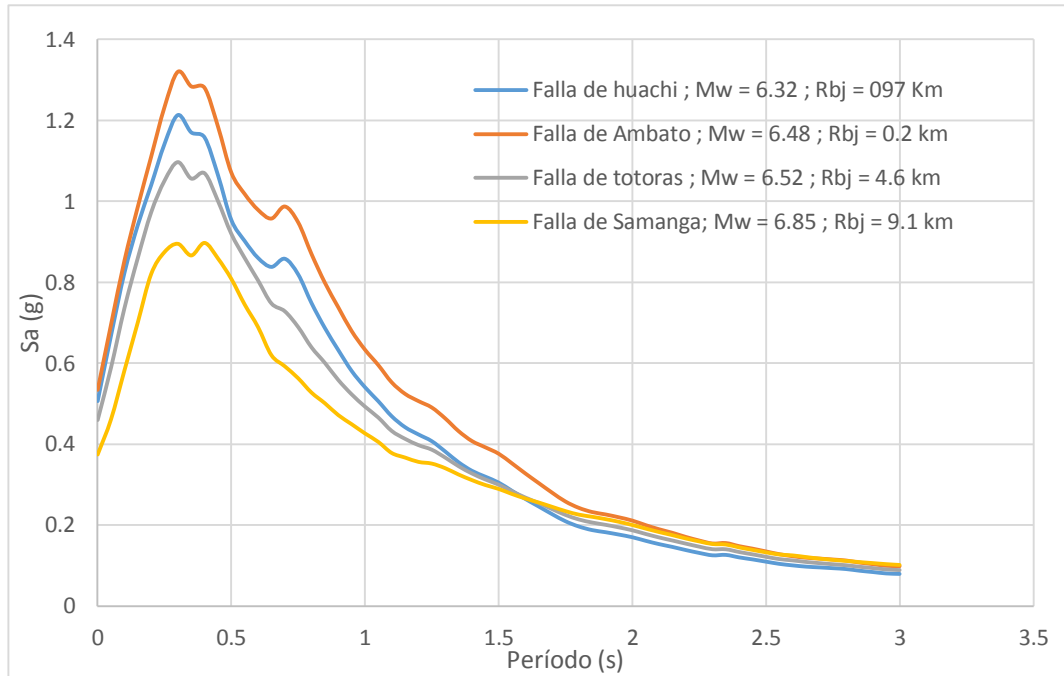


Elaborado por: Santiago Carrillo

El espectro para la falla de Ambato con una distancia al sitio de análisis de 0.2 Km y una magnitud de momento $M_w = 6.48$ es la que presenta una mayor respuesta en aceleración $S_a = 1.01$ g correspondiente a un período de 0.3 segundos.

4.2.2.2 Espectros del modelo de Akkar y Bommer

Figura 18. Espectros de aceleración para cada falla, obtenidos con el modelo Akkar y Bommer

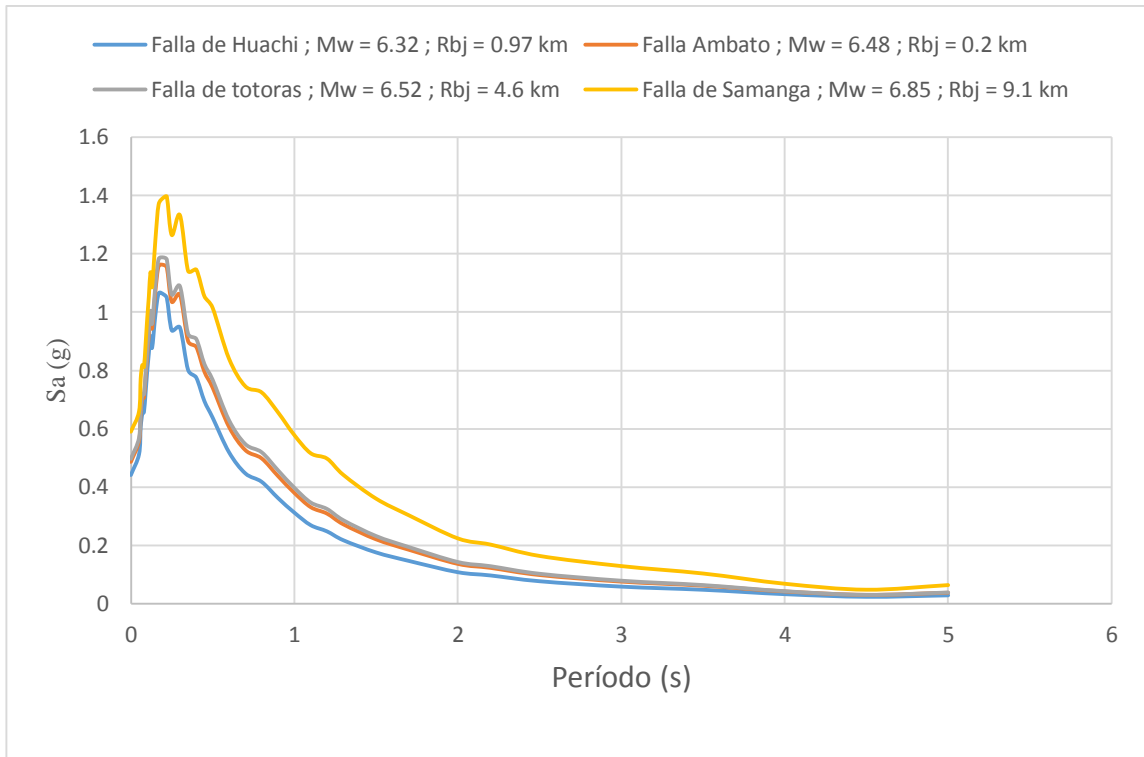


Elaborado por: Santiago Carrillo

De la misma manera el espectro para la falla de Ambato presenta una aceleración $S_a = 1.32$ g para un periodo igual a 0.3 s

4.2.2.3 Espectros del modelo de Kanno

Figura 19. Espectros de aceleración para cada falla, obtenidos con el modelo de Kanno



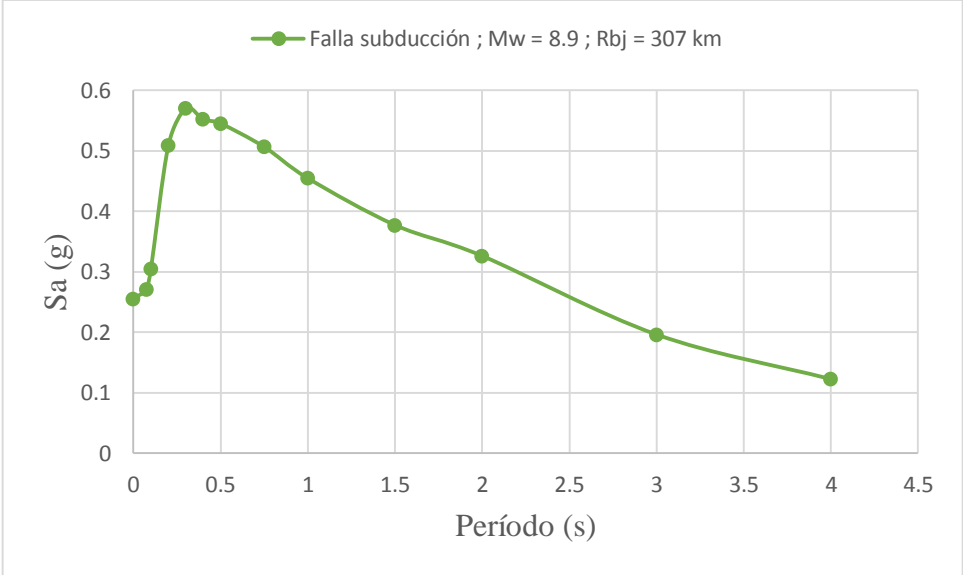
Elaborado por: Santiago Carrillo

En el modelo de Kanno existe un rango para las distancia entre el sitio de análisis hasta la falla, en nuestro caso para todas las fallas se consideró un valor de 6, por lo tanto el espectro se define por la magnitud de momento. Los valores más altos se obtuvieron en el espectro para la falla de Samanga.

Espectros para la falla de Subducción

4.2.2.4 Espectro del modelo Youngs

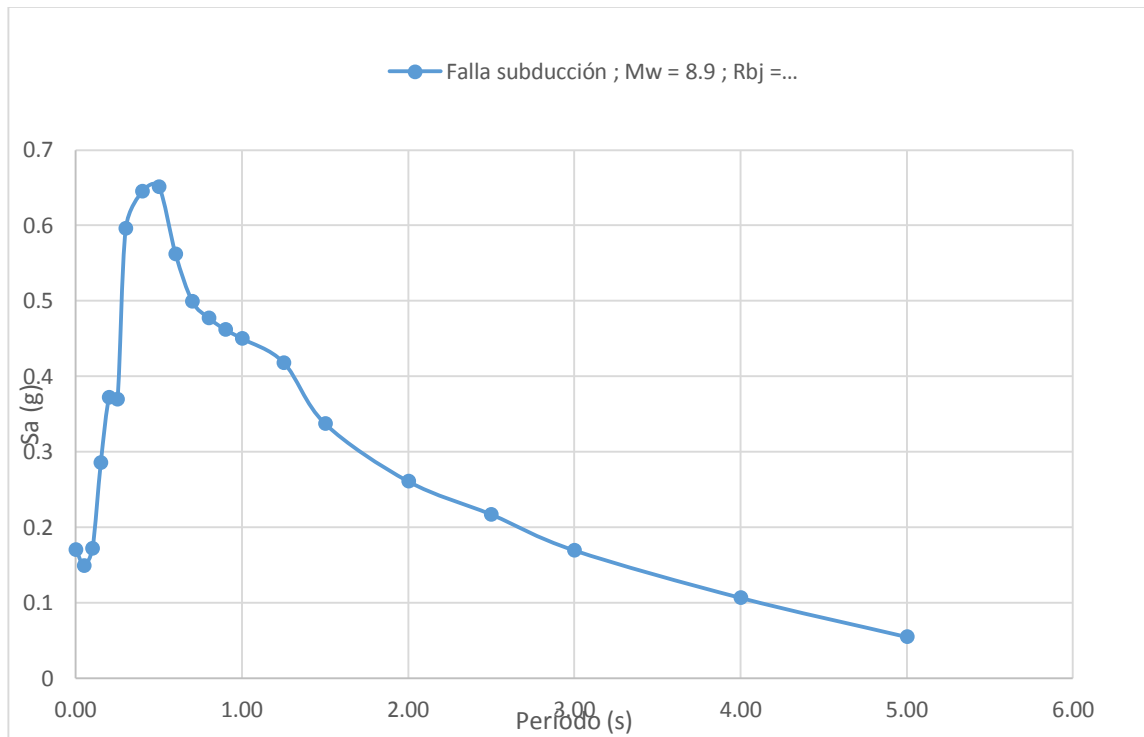
Figura 20. Espectro del modelo de Youngs para la falla subducción



Elaborado por: Santiago Carrillo

4.2.2.5 Espectro del modelo Zhao

Figura 21. Espectro del modelo de Zhao para la falla subducción

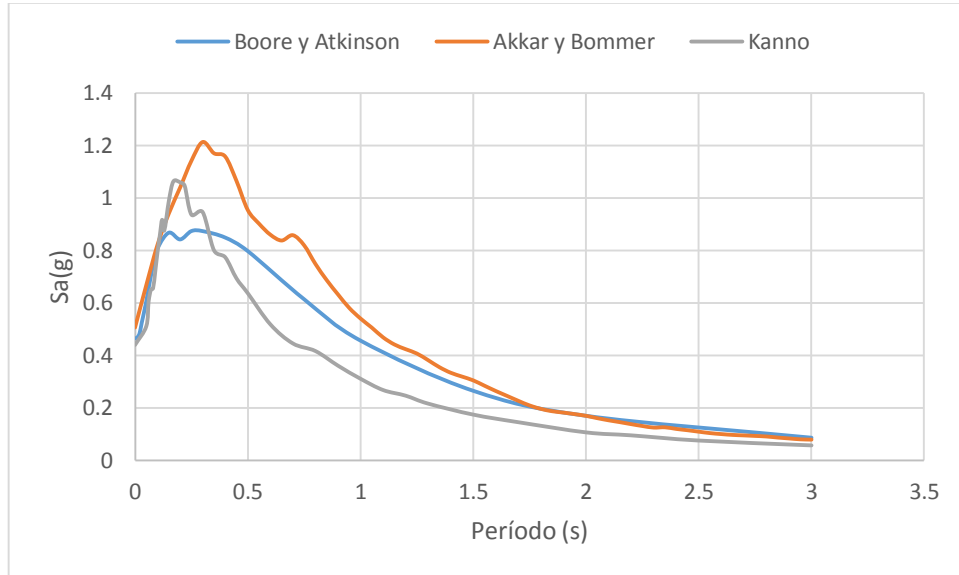


Elaborado por: Santiago Carrillo

4.2.3 Espectros con los modelos para una falla

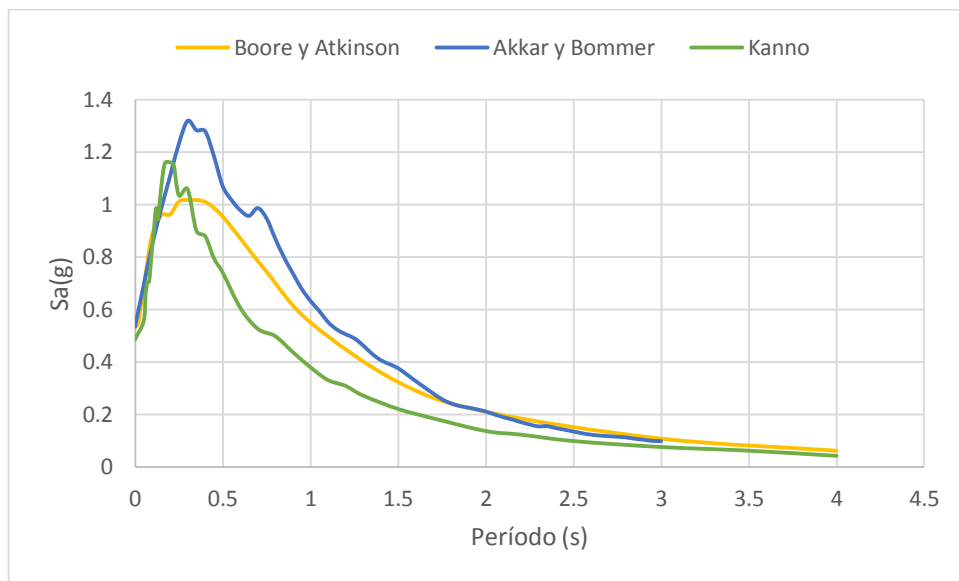
A continuación se presentan los espectros para cada modelo establecido (Boore y Atkinson, Akkar y Bommer, Kanno, Young y Zhao) para cada una de las fallas seleccionadas (Huachi, Ambato, Totoras, Samanga y Subducción).

Figura 22. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Huachi.



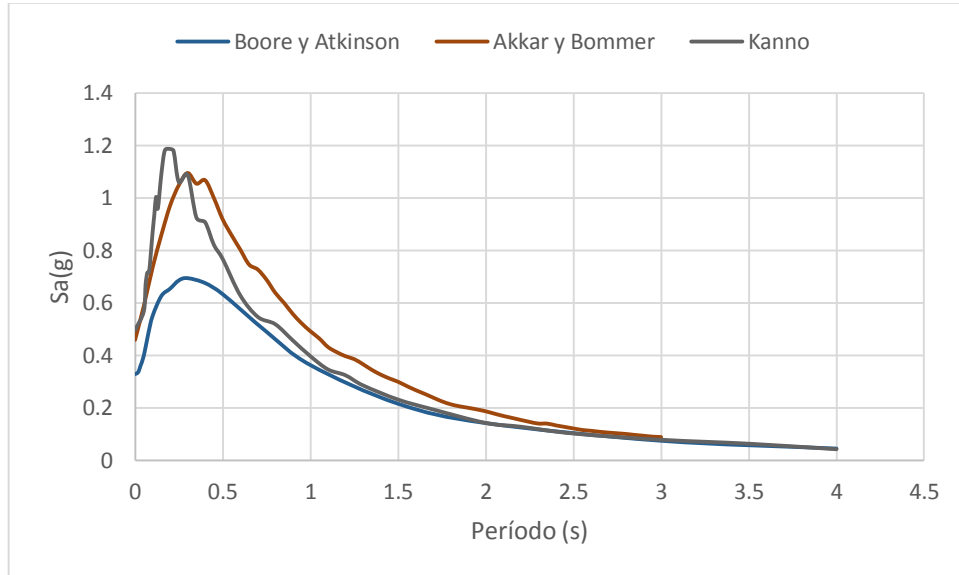
Elaborado por: Santiago Carrillo

Figura 23. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Ambato.



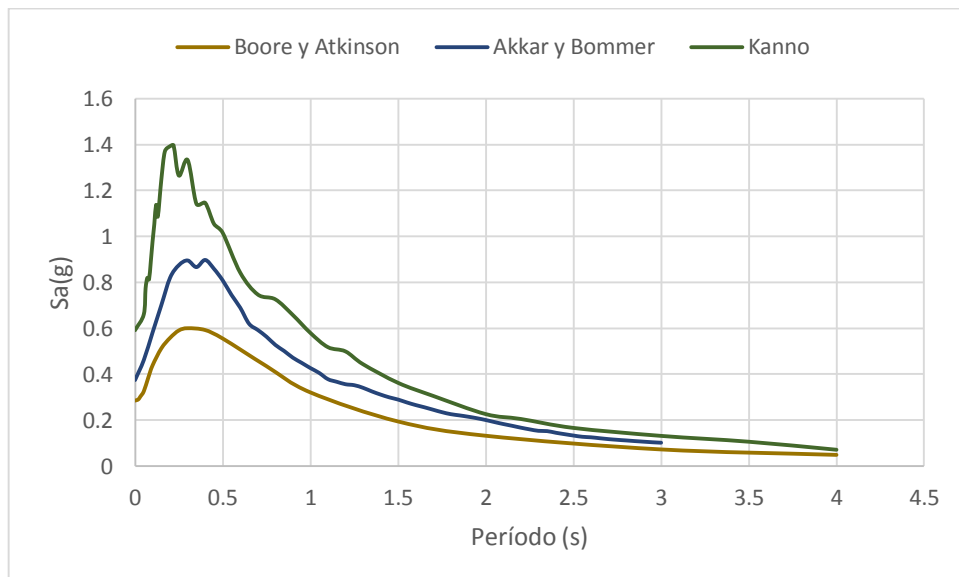
Elaborado por: Santiago Carrillo

Figura 24. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Totoras.



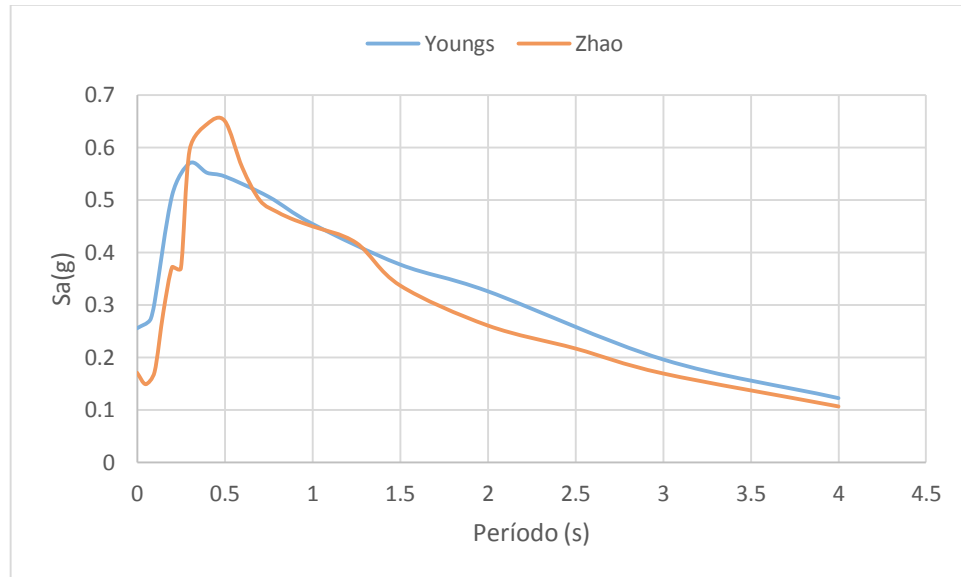
Elaborado por: Santiago Carrillo

Figura 25. Espectros de aceleración obtenidos con el modelo Boore y Atkinson; Akkar y Boomer; Kanno para la falla de Samanga.



Elaborado por: Santiago Carrillo

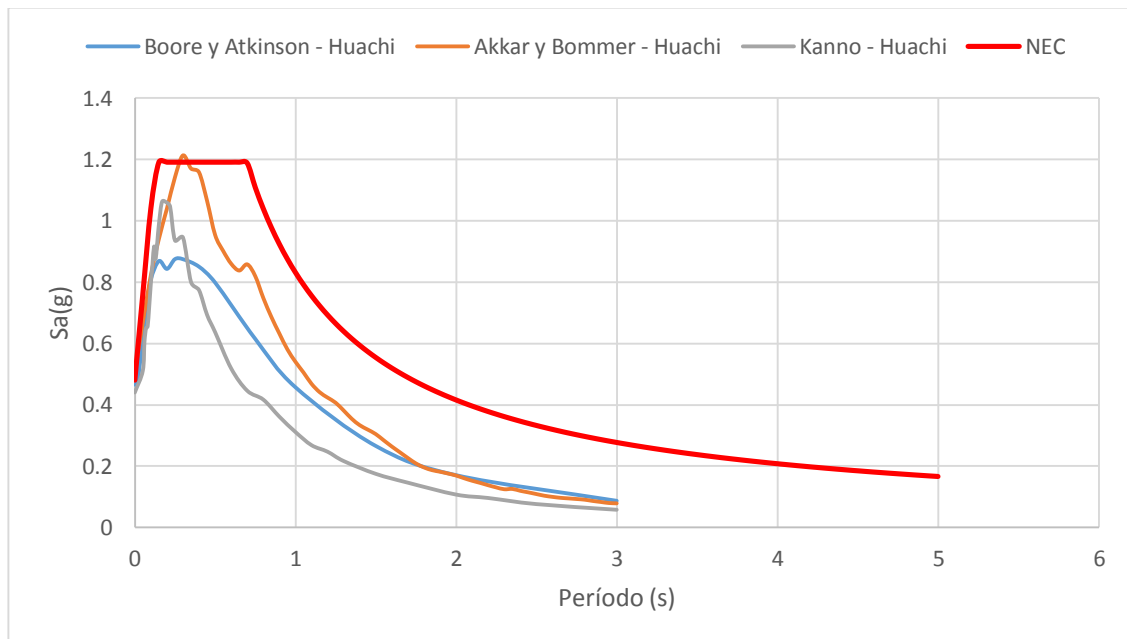
Figura 26. Espectros de aceleración obtenidos con el Modelo de Young y Zhao para la falla Subducción



Elaborado por: Santiago Carrillo

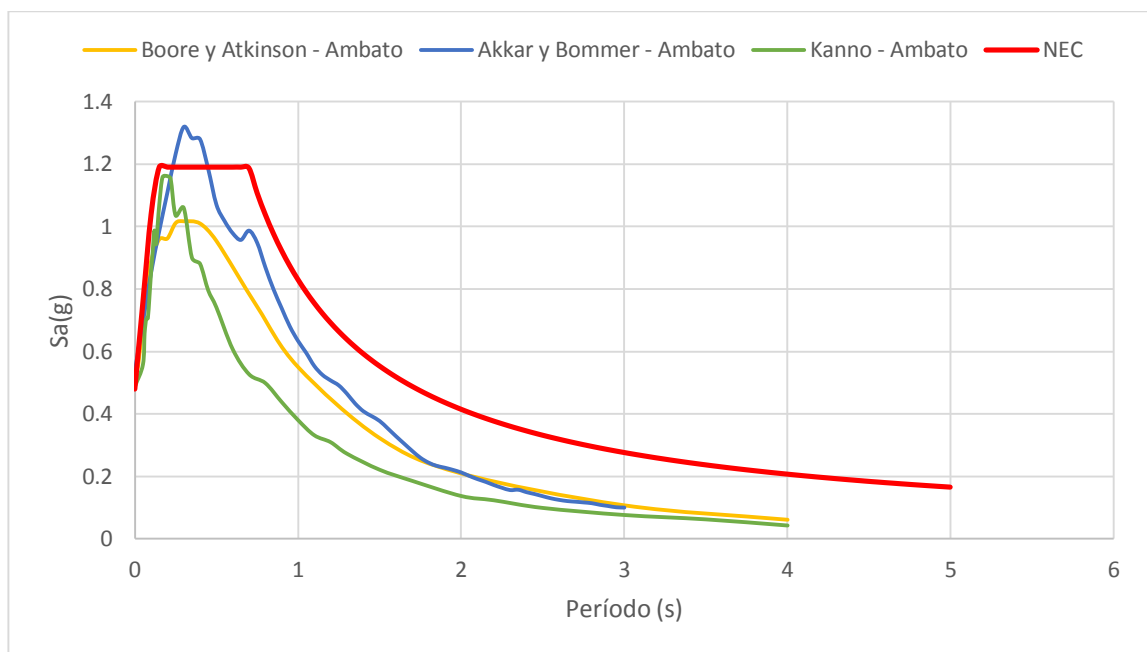
4.2.4 Espectros para cada falla comparados con la NEC-15

Figura 27. Espectros de aceleración para la falla de Huachi y NEC -15



En la figura 26 se puede observar que el espectro que nos proporciona la NEC 2015 se ve superado de una manera puntual por el espectro generado por el modelo de Akkar y Bommer para la falla de Huachi con una aceleración de 1.21 g que pertenece al período de 0.3 seg.

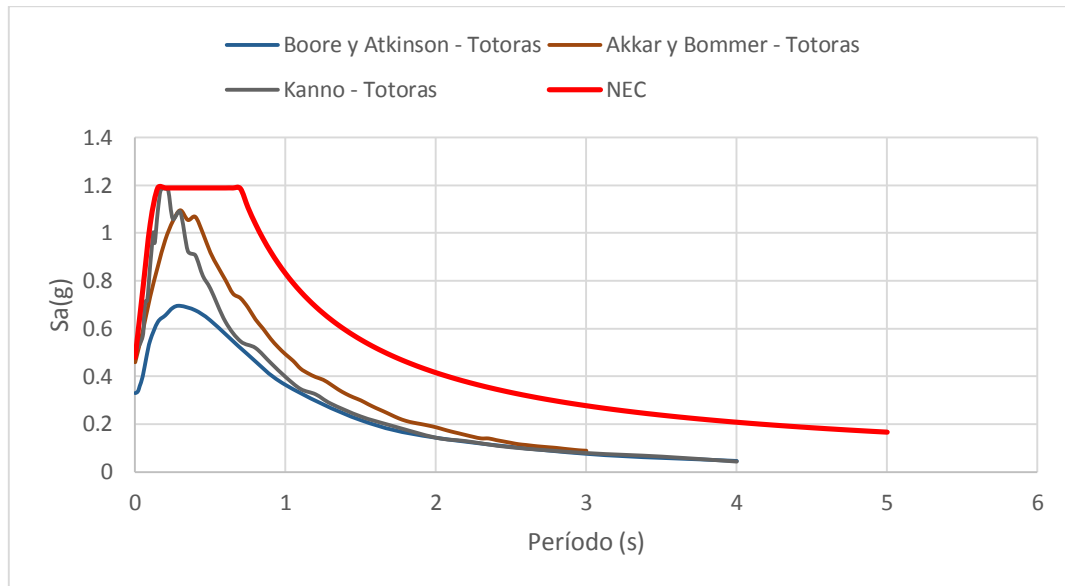
Figura 28. Espectros de aceleración para la falla de Ambato y NEC -15



Elaborado por: Santiago Carrillo

De la misma manera para la falla de Ambato el espectro proporcionado por la NEC 2015 se ve superado por el modelo de espectro generado por Akkar y Bommer con una aceleración de 1.32 g para un periodo de 0.3 segundos.

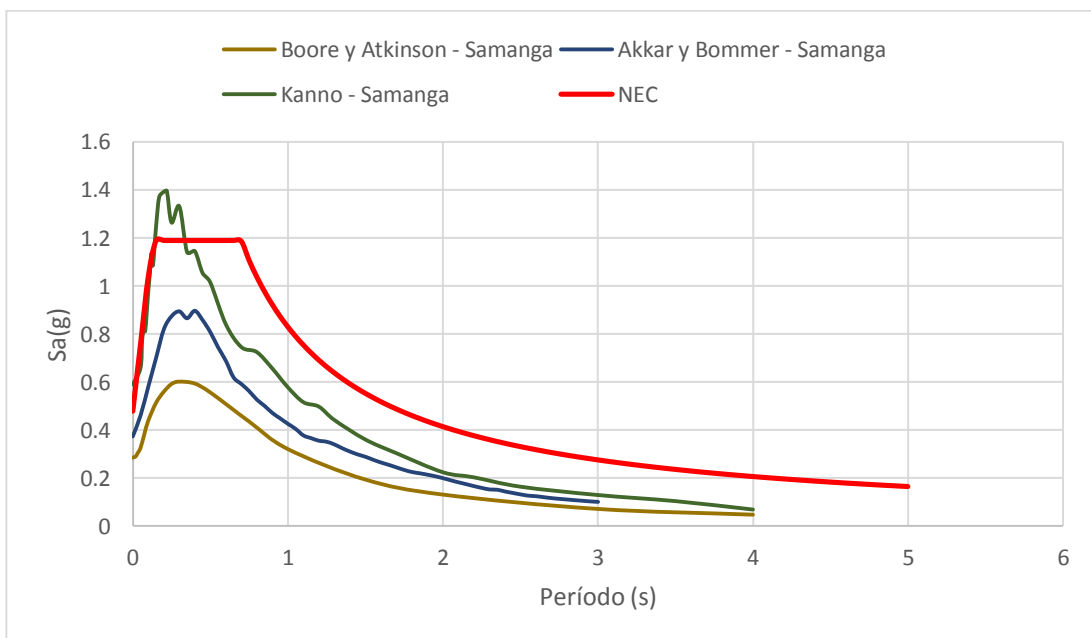
Figura 29. Espectros de aceleración para la falla de Totoras y NEC -15



Elaborado por: Santiago Carrillo

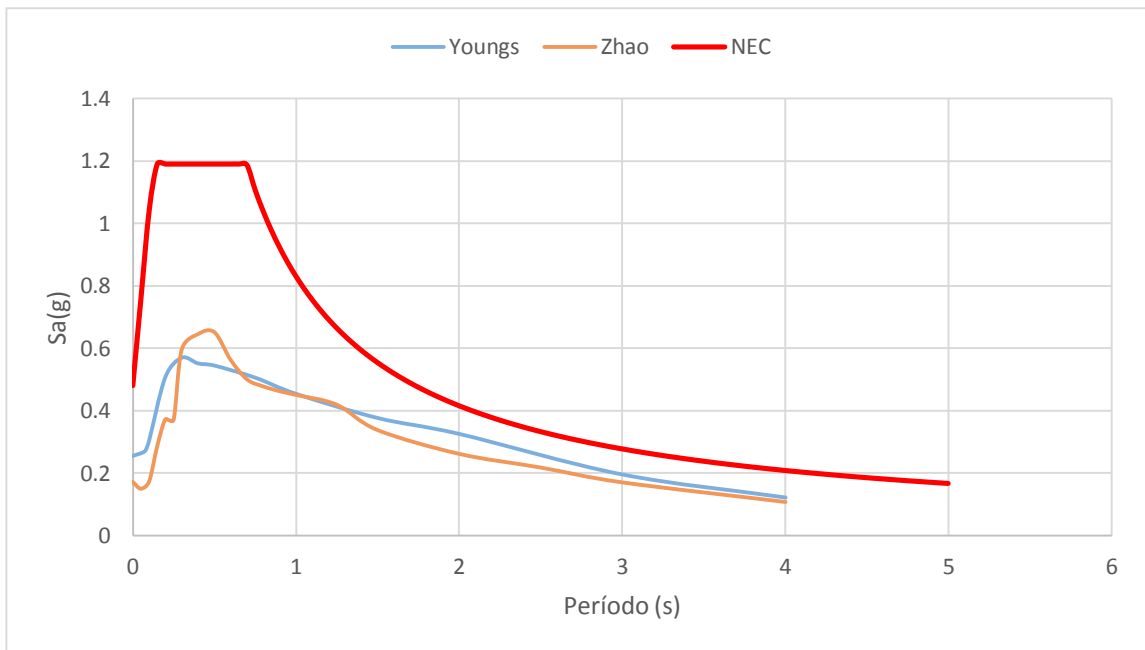
En la figura anterior podemos observar que la falla de Totoras produce aceleraciones inferiores a las del espectro de la NEC 2015.

Figura 30. Espectros de aceleración para la falla de Samanga y NEC -15



En la figura 30 se puede observar que el espectro que nos proporciona la NEC 2015 se ve superado por el espectro generado por el modelo de Kanno para la falla de Samanga con una aceleración de 1.395 g que pertenece al período de 0.22 seg.

Figura 31. Espectros de aceleración para la falla de subducción y NEC -15

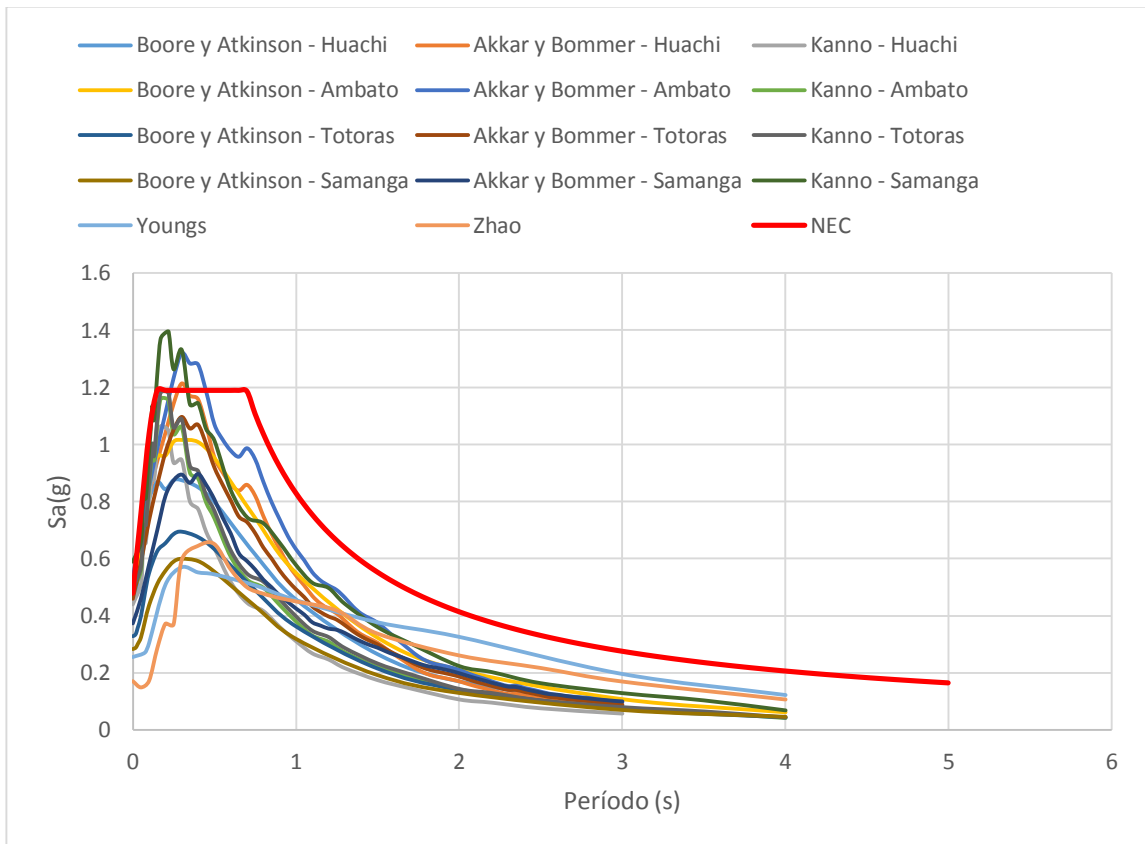


Elaborado por: Santiago Carrillo

En la figura 30 podemos observar que la falla de subducción produce aceleraciones inferiores a las del espectro de la NEC 2015.

4.2.5 Espectros de todos los modelos y NEC 2015

Figura 32. Espectro de aceleración de todos los modelos, para todas las fallas y NEC 15

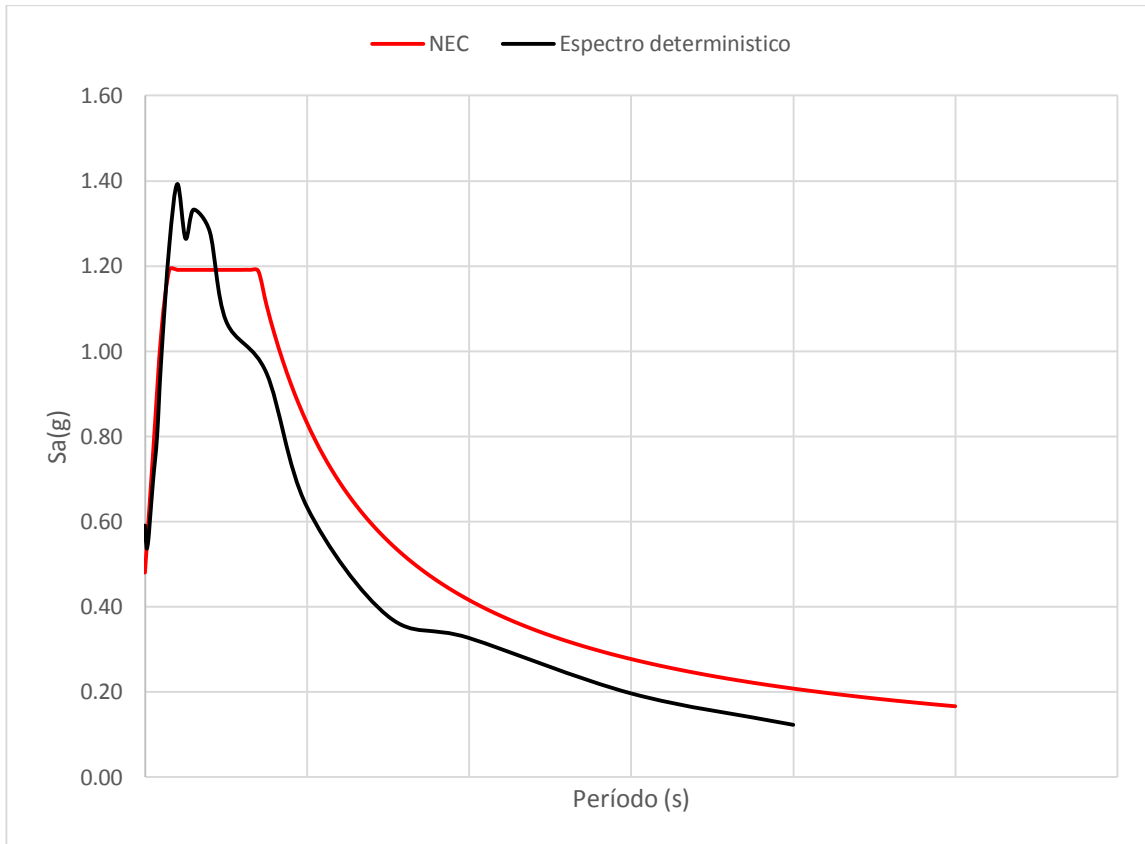


Elaborado por: Santiago Carrillo

En base a todos los modelos que se presentan en la figura anterior se procederá a obtener un espectro determinista para el sitio de análisis usando una envolvente.

4.2.6 Espectro determinista comparado con el espectro de la NEC 2015

Figura 33. Espectro determinista y Espectro NEC 15



Elaborado por: Santiago Carrillo

En la figura 31 se muestra el espectro resultado del estudio de peligro sísmico determinista para el sector la Floresta de la ciudad de Ambato, el cual supera al espectro que nos proporciona la NEC 2015 un intervalo correspondiente al período 0.15 hasta 0.45 segundos con una aceleración máxima que llega hasta 1.39 g.

Tabla 28. Valores del espectro específico determinista

T(s)	Sa(g)
0	0.59
0.01	0.54
0.02	0.55
0.03	0.60
0.05	0.70
0.075	0.80
0.1	0.98
0.15	1.25
0.2	1.39
0.25	1.26
0.3	1.33
0.4	1.28
0.5	1.07
0.75	0.95
1	0.63
1.5	0.38
2	0.33
3	0.20
4	0.12

Elaborado por: Santiago Carrillo

4.2.7 Comportamiento estructural de edificaciones tipo en el sitio de análisis

Finalmente se procede a modelar tres estructuras tipo del sector en el programa Etabs 2016, para analizar el comportamiento estructural y verificar si los resultados obtenidos cumplen con lo establecido en la NEC 2015.

4.2.7.1 Reducción de los espectros

Para el análisis de las estructuras en el programa Etabs 2016 se deben ingresar los espectros reducidos tanto para el espectro que nos proporciona la NEC 2015 y el espectro determinista, y se calcula con la siguiente expresión:

$$C = \frac{I * Sa}{R * \phi_p * \phi_e}$$

Donde:

C: Coeficiente de reducción

I: Factor de importancia

Sa: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

R: Factor de reducción de resistencia sísmica

ϕ_p : Coeficiente de configuración en planta

ϕ_e : Coeficiente de configuración en elevación

Tabla 29. Coeficientes obtenidos para la reducción de los espectros

Estructuras tipo	ϕ_p	ϕ_e	I	R
Dos pisos	1	1	1	8
Tres pisos	1	1	1	8
Cinco pisos	1	1	1	5

Elaborado por: Santiago Carrillo

Características estructurales de las edificaciones tipo

Tabla 30. Secciones de los elementos estructurales

Estructuras tipo	Columnas(cm)	Vigas(cm)	Losa(cm)	Altura(m)
Dos pisos	30 * 30	30 * 30	20	5.4
Tres pisos	40 * 40	30 * 35	20	8.4
Cinco pisos	40 * 40	40 * 20	20	13.8

Elaborado por: Santiago Carrillo

Figura 34. Vista en planta estructura de 2 pisos

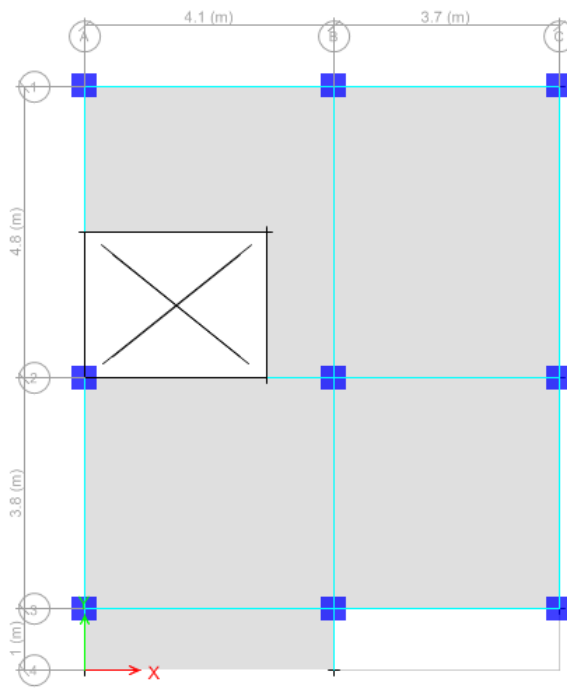
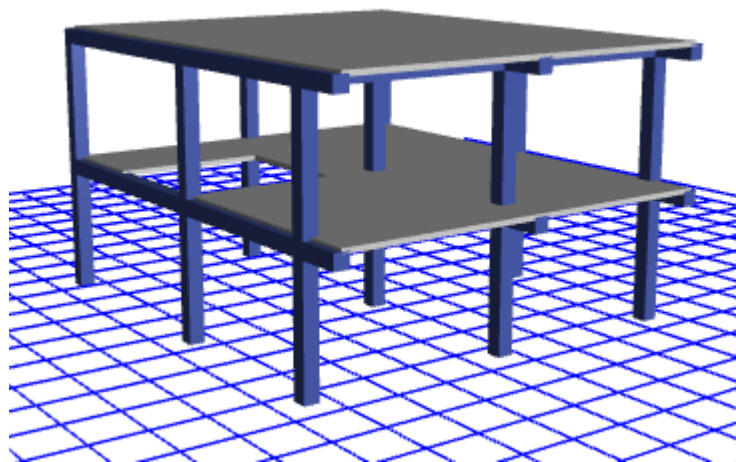


Figura 35. Vista 3D estructura 2 pisos



Fuente: Etabs 2016

Figura 36. Vista en planta estructura de 3 pisos

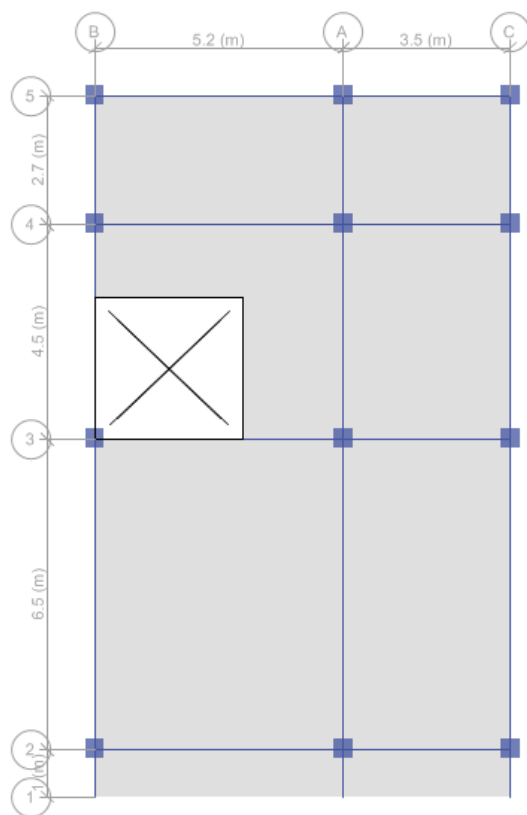
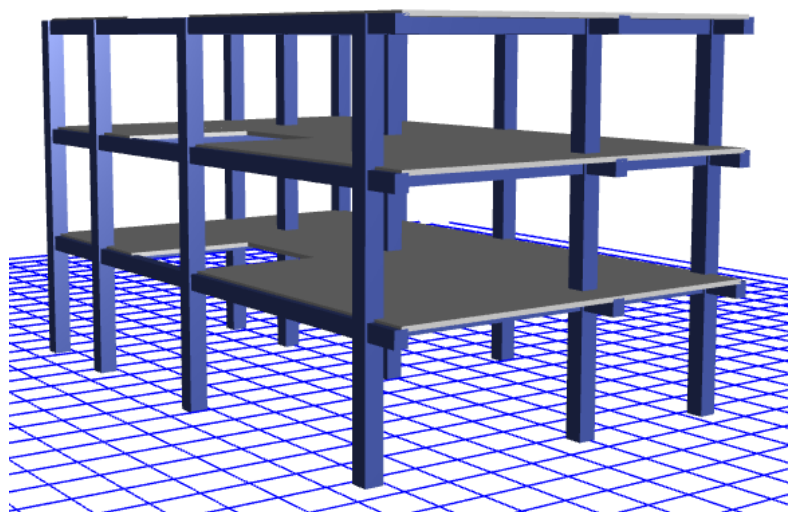
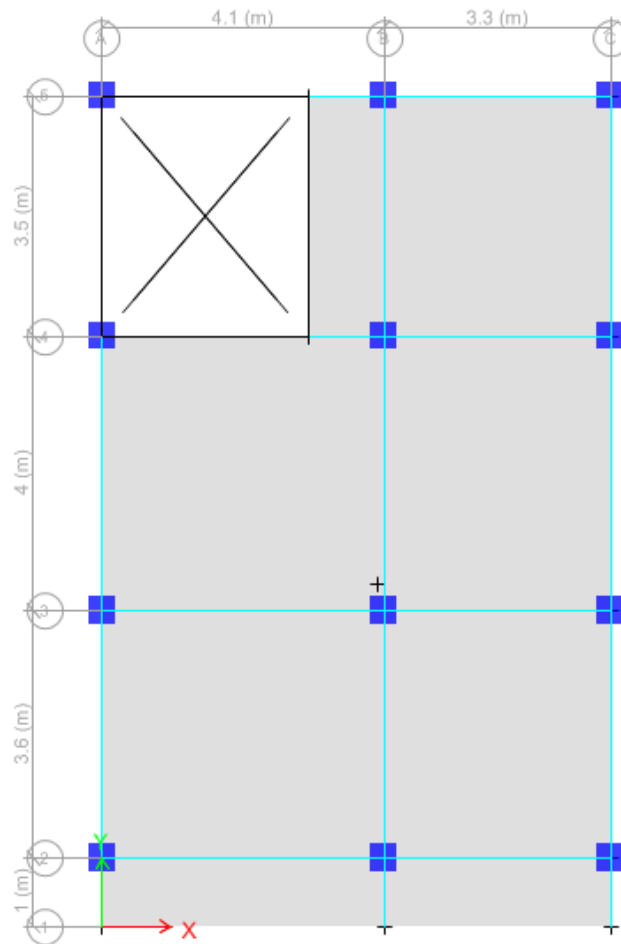


Figura 37. Vista 3D estructura 3 pisos



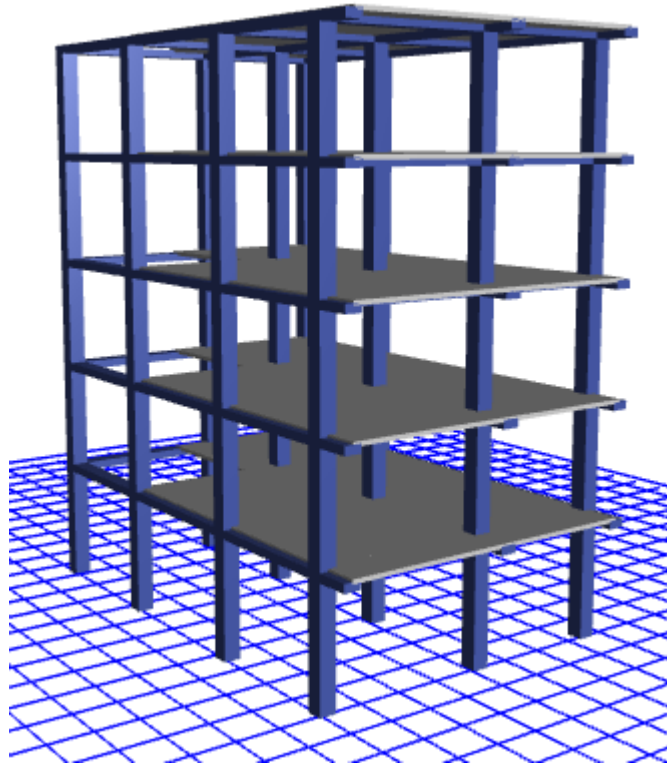
Fuente: Etabs 2016

Figura 38. Vista en planta estructura de 5 pisos



Fuente: Etabs 2016

Figura 39. Vista 3D estructura 5 pisos



Fuente: Etabs 2016

4.2.7.2 Cálculo de los períodos de vibración

Período fundamental de vibración

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

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

Donde:

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio

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

T: Período de vibración

Los valores de Ct y α se obtiene de la siguiente tabla que proporciona la NEC 2015 para pórticos especiales de hormigón armado.

Tabla 31. Valores de Ct y α para el cálculo del período fundamental de vibración

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

Fuente: NEC_SE_DS 2015

- Calculo de T para la estructura de 2 pisos

$$T = Ct * hn^{\alpha}$$
$$T = 0.055 * 5.4^{0.9}$$
$$T = \mathbf{0.25 \text{ seg}}$$

- Calculo de T para la estructura de 3 pisos

$$T = Ct * hn^{\alpha}$$
$$T = 0.055 * 8.4^{0.9}$$
$$T = \mathbf{0.37 \text{ seg}}$$

- Cálculo de T para la estructura de 5 pisos

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

$$T = 0.055 * 13.8^{0.9}$$

$$T = \mathbf{0.58 \text{ seg}}$$

Períodos límites de vibración

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

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

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

Donde:

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

T_o : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

T_c : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Para el cálculo de los períodos límites se requiere de los siguientes datos que se obtuvieron de la NEC 15.

Tabla 32. Valores del factor Z y coeficientes de amplificación del suelo tipo D

Z (g)	0.4
Fa	1.2
Fd	1.19
Fs	1.28

Fuente: NEC_SE_DS 2015

- Cálculo de T_o

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$
$$T_o = 0.1 * 1.28 \frac{1.19}{1.2}$$
$$T_o = 0.1269 \text{ seg}$$

- Cálculo de T_c

$$T_o = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$
$$T_o = 0.55 * 1.28 \frac{1.19}{1.2}$$
$$T_o = 0.6981 \text{ seg}$$

4.2.7.3 Verificación del comportamiento estructural

Períodos de vibración

El período fundamental T_2 puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos, por medio de un análisis modal.

Tabla 33. Valores de T1 y T2 para las edificaciones tipo

Estructuras tipo	To (seg)	Tc (seg)	T1 (seg)	T2 Etabs (seg)
Dos pisos	0.13	0.69	0.25	0.36
Tres pisos	0.13	0.69	0.37	0.51
Cinco pisos	0.13	0.69	0.58	1.60

Elaborado por: Santiago Carrillo

El valor T2 calculado no debe ser mayor en un 30% al valor de T1.

$$T2 \leq 1.3 T1$$

$$0.36 \leq 1.3(0.25)$$

0.36 \nlessdot 0.33 No se encuentra dentro del rango

$$T2 \leq 1.3 T1$$

$$0.51 \leq 1.3(0.37)$$

0.51 \nlessdot 0.48 No se encuentra dentro del rango

$$T2 \leq 1.3 T1$$

$$1.60 \leq 1.3(0.58)$$

1.60 \nlessdot 0.75 No se encuentra dentro del rango

Los valores de los períodos fundamentales T2 obtenidos en el programa Etabs 2016 son los mismo para el espectro de la NEC 2015 y el espectro determinista, debido a que el período fundamental de una estructura depende de la rigidez y de la masa de la estructura.

Modos de vibración de la estructura

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

Tabla 34. Participación modal de la masa estructura 2 pisos

Modal Participating Mass Ratios						
3 de 6 Reload Apply						
	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
	Modal	1	0.366	0.1236	0.7332	0.0349
	Modal	2	0.361	0.7025	0.1493	0.042
▶	Modal	3	0.311	0.0675	0.0078	0.8201

Fuente: Etabs 2016

Tabla 35. Participación modal de la masa estructura 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios						
3 de 9 Reload Apply						
	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
	Modal	1	0.516	0.6918	0.001	0.1829
	Modal	2	0.468	0.0018	0.8734	0.0003
▶	Modal	3	0.406	0.1769	0.0011	0.6928

Fuente: Etabs 2016

Tabla 36. Participación modal de la masa estructura 5 pisos

Modal Participating Mass Ratios						
3 de 9 Reload Apply						
	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
	Modal	1	1.608	0.8551	0.0016	0.0624
	Modal	2	1.504	0.0023	0.9162	0.0007
	Modal	3	1.227	0.0586	0.0014	0.8667

Fuente: Etabs 2016

Tabla 37. Modos de vibración para las tres estructuras tipo

Espectros	Estructura tipo 2 pisos				
	Modos	Ux, Uy	Rz	%	Tipo
NEC 15 - Determinista	1	0.7332	0.0349	4.76	Traslacional
	2	0.7025	0.042	5.97	Traslacional
	3	0.0675	0.8201	121.49	Rotacional
Espectros	Estructura tipo 3 pisos				
	Modos	Ux, Uy	Rz	%	Tipo
NEC 15 - Determinista	1	0.6918	0.1829	26.43	Traslacional
	2	0.8734	0.0003	0.03	Traslacional
	3	0.1769	0.6928	391.63	Rotacional
Espectros	Estructura tipo 5 pisos				
	Modos	Ux, Uy	Rz	%	Tipo
NEC 15 - Determinista	1	0.8551	0.0624	7.29	Traslacional
	2	0.9162	0.0007	0.07	Traslacional
	3	0.0586	0.8667	1479	Rotacional

Elaborado por: Santiago Carrillo

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

La NEC 2015 establece que se deben considerar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones principales consideradas.

Tabla 38. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa – Estructura 2 pisos

Modal Participating Mass Ratios								
4 de 6 Reload Apply								
	Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
	Modal	1	0.366	0.1236	0.7332	0	0.1236	0.7332
	Modal	2	0.361	0.7025	0.1493	0	0.826	0.8825
	Modal	3	0.311	0.0675	0.0078	0	0.8935	0.8903
▶	Modal	4	0.118	0.0619	0.0354	0	0.9554	0.9258
	Modal	5	0.117	0.035	0.0728	0	0.9904	0.9986
	Modal	6	0.102	0.0096	0.0014	0	1	1

Fuente: Etabs 2016

Tabla 39. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa – Estructura 3 pisos

Modal Participating Mass Ratios								
5 de 9 Reload Apply								
	Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
	Modal	1	0.516	0.6918	0.001	0	0.6918	0.001
	Modal	2	0.468	0.0018	0.8734	0	0.6936	0.8743
	Modal	3	0.406	0.1769	0.0011	0	0.8705	0.8754
	Modal	4	0.155	0.0823	0.0001	0	0.9528	0.8756
▶	Modal	5	0.142	0.0003	0.1029	0	0.9531	0.9785

Fuente: Etabs 2016

Tabla 40. Modos necesarios para la acumulación del 90% de la masa – Estructura 5 pisos

Modal Participating Mass Ratios								
3 de 9 Reload Apply								
	Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
	Modal	1	1.608	0.8551	0.0016	0	0.8551	0.0016
	Modal	2	1.504	0.0023	0.9162	0	0.8574	0.9178
▶	Modal	3	1.227	0.0586	0.0014	0	0.9159	0.9192

Fuente: Etabs 2016

Para la estructura de dos pisos se acumula el 90 % de participación en el cuarto modo, para la estructura de tres pisos en el quinto modo y para la estructura de cinco pisos en el tercer modo.

4.2.7.4 Análisis dinámico

Validación del análisis dinámico

La NEC 2015 establece que el valor del cortante dinámico en la base obtenido por cualquier método de análisis dinámico no debe ser:

- < 80% del cortante basal obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal obtenido por el método estático (estructuras irregulares)

Para el caso de las tres estructuras tipo deberá cumplirse con la primera condición

Tabla 41. Cortante basal estático – estructura de 2 pisos para los espectros NEC 15 y determinista

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story1	2.7	Top	-15.4622	-15.4622
		Bottom	-15.4622	-15.4622

Fuente: Etabs 2016

Tabla 42. Cortante basal dinámico – estructura de 2 pisos para el espectro NEC 15

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story2	5.4	Top	8.1378	8.5221
		Bottom	8.1378	8.5221
Story1	2.7	Top	13.2046	13.763
		Bottom	13.2046	13.763

Fuente: Etabs 2016

Tabla 43. Cortante basal dinámico – estructura de 2 pisos para el espectro determinista

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story2	5.4	Top	8.8417	9.241
		Bottom	8.8417	9.241
Story1	2.7	Top	14.394	14.9722
		Bottom	14.394	14.9722

Fuente: Etabs 2016

Tabla 44. Cortante basal estático – estructura de 3 pisos para los espectros NEC 15 y determinista

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story1	3	Top	-43.6744	-43.6744
		Bottom	-43.6744	-43.6744

Fuente: Etabs 2016

Tabla 45. Cortante basal dinámico – estructura de 3 pisos para el espectro NEC 15

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story3	8.4	Top	13.9319	16.3317
		Bottom	13.9319	16.3317
Story2	5.7	Top	26.2438	30.8847
		Bottom	26.2438	30.8847
Story1	3	Top	32.6102	38.4972
		Bottom	32.6102	38.4972

Fuente: Etabs 2016

Tabla 46. Cortante basal dinámico – estructura de 3 pisos para el espectro determinista

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story3	8.4	Top	12.8045	15.6627
		Bottom	12.8045	15.6627
Story2	5.7	Top	23.8493	29.5005
		Bottom	23.8493	29.5005
Story1	3	Top	29.7121	36.8156
		Bottom	29.7121	36.8156

Fuente: Etabs 2016

Tabla 47. Cortante basal estático – estructura de 5 pisos para los espectros NEC 15 y determinista

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story1	3	Top	-82.3465	-82.3465
		Bottom	-82.3465	-82.3465

Fuente: Etabs 2016

Tabla 48. Cortante basal dinámico – estructura de 5 pisos para el espectro NEC 15

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story5	13.8	Top	6.5929	7.2206
		Bottom	6.5929	7.2206
Story4	11.1	Top	11.8965	13.359
		Bottom	11.8965	13.359
Story3	8.4	Top	15.4347	17.6763
		Bottom	15.4347	17.6763
Story2	5.7	Top	18.4562	21.2965
		Bottom	18.4562	21.2965
Story1	3	Top	21.2956	24.4801
		Bottom	21.2956	24.4801

Fuente: Etabs 2016

Tabla 49. Cortante basal dinámico – estructura de 5 pisos para el espectro determinista

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story5	13.8	Top	7.0725	7.5389
		Bottom	7.0725	7.5389
Story4	11.1	Top	12.7068	13.6768
		Bottom	12.7068	13.6768
Story3	8.4	Top	16.4823	17.823
		Bottom	16.4823	17.823
Story2	5.7	Top	19.6933	21.3292
		Bottom	19.6933	21.3292
Story1	3	Top	22.7256	24.5999
		Bottom	22.7256	24.5999

Fuente: Etabs 2016

Tabla 50. Relación del cortante dinámico y estático

ESTRUCTURA DE 2 PISOS						
Espectros	Sentido X			Sentido Y		
	Ve	Vd	Vd/Ve (%)	Ve	Vd	Vd/Ve (%)
NEC 15	15.46	13.20	85.38	15.46	13.76	89.00
Determinista	15.46	14.39	93.07	15.46	14.97	96.83
ESTRUCTURA DE 3 PISOS						
Espectros	Sentido X			Sentido Y		
	Ve	Vd	Vd/Ve (%)	Ve	Vd	Vd/Ve (%)
NEC 15	43.67	32.61	74.67	43.67	38.50	88.16
Determinista	43.67	29.71	68.03	43.67	36.82	84.31

ESTRUCTURA DE 5 PISOS						
Espectros	Sentido X			Sentido Y		
	Ve	Vd	Vd/Ve (%)	Ve	Vd	Vd/Ve (%)
NEC 15	82.34	21.30	25.86	82.34	24.48	29.73
Determinista	82.34	22.73	27.61	82.34	24.6	29.87

Elaborado por: Santiago Carrillo

Derivas de piso

La NEC 15 menciona que se hará un control de las deformaciones, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso aplicando la siguiente ecuación:

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

Donde:

ΔM : Deriva máxima inelástica

ΔE : Desplazamiento obtenido en la aplicación de fuerzas laterales de diseño reducidas

R: Factor de reducción de resistencia

$$\Delta M \leq 2\%$$

Tabla 51. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro NEC 15 – Estructura 2 pisos

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story2	5.4	Top	0.001414	0.001284
Story1	2.7	Top	0.001338	0.001255
Base	0	Top	0	0

Fuente: Etabs 2016

Tabla 52. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro determinista – Estructura 2 pisos

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story2	5.4	Top	0.00154	0.001397
Story1	2.7	Top	0.001459	0.001367
Base	0	Top	0	0

Fuente: Etabs 2016

Tabla 53. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro NEC 15 – Estructura 3 pisos

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story3	8.4	Top	0.001651	0.001011
Story2	5.7	Top	0.002583	0.001594
Story1	3	Top	0.002023	0.001348
Base	0	Top	0	0

Fuente: Etabs 2016

Tabla 54. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro determinista – Estructura 3 pisos

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story3	8.4	Top	0.001484	0.000967
Story2	5.7	Top	0.00231	0.001522
Story1	3	Top	0.00181	0.001287
Base	0	Top	0	0

Fuente: Etabs 2016

Tabla 55. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro NEC 15 – Estructura 5 pisos

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story5	13.8	Top	0.002389	0.001775
Story4	11.1	Top	0.003489	0.002643
Story3	8.4	Top	0.004792	0.003668
Story2	5.7	Top	0.006578	0.005016
Story1	3	Top	0.009181	0.007353
Base	0	Top	0	0

Fuente: Etabs 2016

Tabla 56. Desplazamientos máximos obtenidos con el espectro determinista – Estructura 5 pisos

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
Story5	13.8	Top	0.002554	0.001809
Story4	11.1	Top	0.003728	0.002671
Story3	8.4	Top	0.005118	0.003681
Story2	5.7	Top	0.007024	0.005024
Story1	3	Top	0.009805	0.007372
Base	0	Top	0	0

Fuente: Etabs 2016

Tabla 57. Derivas máximas inelásticas

Derivas de piso		
	Espectro NEC 15	Espectro Determinista
Estructura 2 pisos		
ΔM_x	0.85 %	0.92 %
ΔM_y	0.77 %	0.88 %
Estructura 3 pisos		
ΔM_x	1.55 %	1.38 %
ΔM_y	0.95%	0.91 %
Estructura 5 pisos		
ΔM_x	3.44%	3.67 %
ΔM_y	2.76%	2.77 %

Elaborado por: Santiago Carrillo

En la tabla 57 se puede observar que los valores de derivas máximas inelásticas para cada espectro ingresado varían, indicando que el comportamiento estructural se ve afectado para cada espectro.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo con la hipótesis planteada anteriormente en esta investigación “El estudio del peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del cantón Ambato Sector la Floresta”.

El espectro específico determinista supera al espectro de la NEC 2015 durante el período que va desde los 0.15 hasta 0.45 segundos, en donde la aceleración máxima en función de la gravedad es 1.39 g. Por lo tanto el comportamiento estructural de las edificaciones del sitio se ve afectado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que el sector tiene un suelo predominante que corresponde al perfil tipo D con una velocidad media de onda cortante $V_{s30} = 335.26$ m/s.
- Las fallas activas que afectan al sector son: Huachi, Ambato, Totoras, Samanga y Subducción. De las cuales se considera críticas a la de Samanga y Ambato, la primera porque tiene la mayor magnitud de momento para las fallas corticales $M_w = 6.85$ y la segunda porque pasa por el sitio de análisis.
- El espectro determinista supera al espectro de la NEC 2015 en el intervalo comprendido entre 0.15 hasta los 0.45 segundos donde la aceleración máxima es 1.39 g, por lo tanto el espectro determinista afecta a edificaciones de baja altura que tengan períodos fundamentales comprendidos en el rango antes mencionado.
- Las estructuras de dos y tres pisos no presentan problemas de torsión en planta y las derivas máximas inelásticas calculadas se encuentran dentro del rango que indica la normativa vigente.
- La estructura de cinco pisos tiene un período fundamental muy alto en relación con lo estimado. La deriva de piso inelástica máxima es mayor al 2 % dando como resultado una estructura muy dúctil, esto se debe a que está construida con vigas banda.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para edificaciones nuevas en el sitio de análisis se recomienda realizar un diseño sísmico resistente de acuerdo a la NEC 2015, verificando su desempeño con un espectro específico.
- Las Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo se encuentran actualizándose constantemente, se recomienda actualizar este tipo de investigaciones utilizando los nuevos coeficientes.
- Debido a la presencia de fallas corticales que atraviesan Ambato es importante seguir realizando investigaciones referentes a este tema.
- Es importante que la ciudad de Ambato cuente con un mapa de microzonificación sísmica

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1] Wikipedia. Terremoto de Ambato de 1949. En línea. Disponible:

https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Ambato_de_1949

[2] 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:

<https://drive.google.com/open?id=0B4jY8DWfYmV9c3A3ODZ2Q1ZMaVU>

[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 (Peligro Sísmico). En Línea. Disponible:

<http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>

[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] La Hora. (2002). Ambato Necesita identificar zonas de alto riesgo. En línea.

Disponible: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>

[7] 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&c%20d=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiri7ac8eDNAhUIFR4KHcfMDU0QFggvMAc&url=http%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15000%2F11856%2F1%2FCD-6563.pdf&usg=AFQjCNHtomV5lx5RKzGy04bwTFpPWJWLg&bvm%20=%20bv.%20126130881,d.dmo>

[8] P. Pasotti, Placas Tectónicas

http://redsismica.uprm.edu/Spanish/educacion/Brochures/material%20Edu_%20adicional_%20LVA/otros/Placas.pdf

[9] F. Vidal, Los Terremotos y sus Causas.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2767747>

[10] Instituto Nacional de Prevención Sísmica. INPRES. Fallas Geológicas. En línea. Disponible: <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>

[11] SERGISAI. Aspectos Generales del Riesgo Sísmico. En Línea. Disponible: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/03CAPITULO_2.pdf?sequence

[12] Benito, B. Jiménez, E. (1999). Peligrosidad Sísmica. En Línea. Disponible: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9999110013A/12067>

[13] S. Kramer, Geotechnical Earthquake Engineering, 1996.

[14] Taípe, L. (2013). Análisis de las Ecuaciones de Predicción de Movimientos de Suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el período 2000-2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos. Escuela Politécnica Nacional. En Línea. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6447/1/CD-4961.pdf>

[15] 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>

[16] 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://redgeomatrica.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf

[17] Boore, D. Atkinson, G. (2003). Ecuaciones de predicción de movimiento en el suelo para el componente horizontal promedio de PGA, PGV y PSA amortiguado al 5% en períodos espectrales entre 0.01s y 10.0 s. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hnuRJxFXrZDu2W5B>

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

<https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hnzW5flbESek5QhU>

[19] Kanno, et al. (2006). Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados. En línea. Disponible:

https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hn1IXV4-eIrg40_L

[20] Youngs, R. Chiou, S. (1997). Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción. En línea. Disponible:

<https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hn4gnM77MzaKiUEd>

[21] Zhao, et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante. En línea. Disponible: <https://1drv.ms/b/s!AoRMqrqIWa13hn8sIjIBi8cjpGfy>

[22] Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional. (2013) Informe Sísmico para el Ecuador. En línea. Disponible: <https://www.igepn.edu.ec/inf-sism/sismicos-anauales/231-50/file>

[23] NTE INEN 0689. En línea. Disponible: <https://archive.org/details/ec.nte.0687.1982>

[24] Gautam, D. (2016). Correlación empírica entre la resistencia a la penetración estándar no corregida (N) y la velocidad de la onda de corte (V_s) para el Valle de Katmandú, Nepal. En línea. Disponible:

<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2016.1243588?needAccess=true>

2. ANEXOS

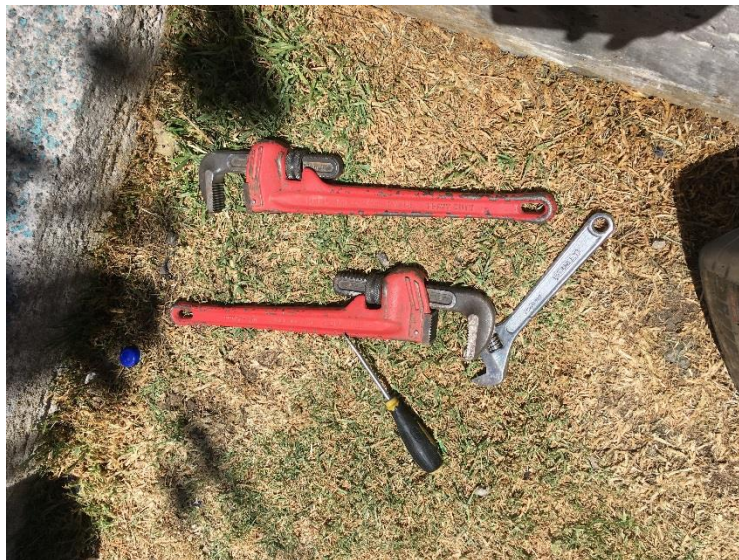
ANEXO A

Equipo utilizado en para el ensayo SPT

Fotografia 1. Acoples



Fotografia 2. Llaves Stillson



Fotografía 3. Colocando el muestreador



Fotografía 4. Hincando el martinete



Fotografía 5. Muestra de suelo



Fotografía 6. Muestras de suelo para analizar en el laboratorio



ANEXO B

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

Fuente: Modelo de Boore y Atkinson (2008)

B-2. Coeficientes de escala de distancias (Mref = 4.5 y Rref = 1.0 km para todos los períodos, excepto Rref = 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 de Boore y Atkinson (2008)

B-3 Coeficientes de escala de magnitud

T	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	Mh
PGA	-0.53804	-0.5035	-0.75472	-0.5097	0.28805	-0.10164	0	6.75
0.01	-0.52883	-0.49429	-0.74551	-0.49966	0.28897	-0.10019	0	6.75
0.02	-0.52192	-0.48508	-0.73906	-0.48895	0.25144	-0.11006	0	6.75
0.03	-0.45285	-0.41831	-0.66722	-0.42229	0.17976	-0.12858	0	6.75
0.05	-0.28476	-0.25022	-0.48462	-0.26092	0.06369	-0.15752	0	6.75
0.075	0.00767	0.04912	-0.20578	0.02706	0.0117	-0.17051	0	6.75
0.1	0.20109	0.23102	0.03058	0.22193	0.04697	-0.15948	0	6.75
0.15	0.46128	0.48661	0.30185	0.49328	0.1799	-0.14539	0	6.75
0.2	0.5718	0.59253	0.4086	0.61472	0.52729	-0.12964	0.00102	6.75
0.25	0.51884	0.53496	0.3388	0.57747	0.6088	-0.13843	0.08607	6.75
0.3	0.43825	0.44516	0.25356	0.5199	0.64472	-0.15694	0.10601	6.75
0.4	0.3922	0.40602	0.21398	0.4608	0.7861	-0.07843	0.02262	6.75
0.5	0.18957	0.19878	0.00967	0.26337	0.76837	-0.09054	0	6.75
0.75	-0.21338	-0.19496	-0.49176	-0.10813	0.75179	-0.14053	0.10302	6.75
1	-0.46896	-0.43443	-0.78465	-0.3933	0.6788	-0.18257	0.05393	6.75
1.5	-0.86271	-0.79593	-1.20902	-0.88085	0.70689	-0.2595	0.19082	6.75
2	-1.22652	-1.15514	-1.57697	-1.27669	0.77989	-0.29657	0.29888	6.75
3	-1.82979	-1.7469	-2.22584	-1.91814	0.77966	-0.45384	0.67466	6.75
4	-2.24656	-2.15906	-2.58228	-2.38168	1.24961	-0.35874	0.79508	6.75
5	-1.28408	-1.2127	-1.50904	-1.41093	0.14271	-0.39006	0	8.5
7.5	-1.43145	-1.31632	-1.81022	-1.59217	0.52407	-0.37578	0	8.5
10	-2.15446	-2.16137	-2.53323	-2.14635	0.40387	-0.48492	0	8.5

Fuente: Modelo de Boore y Atkinson (2008)

ANEXO C

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

T	b1	b2	b3	b4	b5	b6
0	1.0416	0.9133	-0.0814	-2.9273	0.2812	7.8664
0.05	2.1153	0.7257	-0.0735	-3.332	0.3353	7.7473
0.1	2.1199	0.7518	-0.0745	-3.1054	0.3025	8.2141
0.15	1.6449	0.8368	-0.0754	-2.7585	0.2549	8.3179
0.2	0.9207	0.9682	-0.079	-2.4926	0.2179	8.2191
0.25	0.1398	1.1307	-0.0876	-2.3382	0.2009	7.2069
0.3	-0.8401	1.3744	-0.1035	-2.1912	0.1814	6.543
0.35	-1.3221	1.4706	-0.1087	-2.1299	0.1749	6.2475
0.4	-1.7032	1.5593	-0.1139	-2.1272	0.1714	6.5717
0.45	-1.972	1.6165	-0.1174	-2.1662	0.177	6.7808
0.5	-2.7693	1.8327	-0.132	-2.1297	0.1688	7.1742
0.55	-3.5167	2.0252	-0.145	-2.0421	0.1562	6.7617
0.6	-3.9276	2.0847	-0.1465	-1.8814	0.1362	6.101
0.65	-4.4949	2.2115	-0.1552	-1.7903	0.1292	5.1914
0.7	-4.6293	2.2176	-0.1549	-1.798	0.135	4.4632
0.75	-4.9505	2.2914	-0.1598	-1.8132	0.1392	4.2795
0.8	-5.3286	2.3839	-0.1657	-1.7727	0.1327	4.3701
0.85	-5.758	2.5064	-0.1748	-1.7707	0.131	4.6219
0.9	-5.8269	2.5029	-0.1737	-1.763	0.1306	4.6539
0.95	-5.9059	2.5141	-0.1742	-1.7985	0.1354	4.8454
1	-6.1707	2.5856	-0.1794	-1.8072	0.136	4.976
1.05	-6.6034	2.6958	-0.1865	-1.7384	0.1249	5.0449
1.1	-6.9038	2.7704	-0.1917	-1.7111	0.1223	5.0098
1.15	-6.9618	2.7586	-0.1889	-1.6659	0.1145	5.089
1.2	-6.9924	2.7343	-0.1849	-1.5912	0.1027	5.0327
1.25	-6.7461	2.6238	-0.1739	-1.5289	0.0913	5.0835
1.3	-6.5172	2.5187	-0.1633	-1.4653	0.0801	5.1442
1.35	-6.5582	2.5224	-0.1631	-1.4822	0.0817	5.2901
1.4	-6.6195	2.5261	-0.1627	-1.4826	0.0821	5.3349
1.45	-6.6274	2.4986	-0.1591	-1.4331	0.0758	5.1941
1.5	-6.7179	2.4949	-0.1569	-1.353	0.0638	5.1575
1.55	-6.8078	2.5029	-0.1563	-1.3123	0.057	5.2744
1.6	-6.8363	2.5101	-0.1568	-1.3326	0.0587	5.5454
1.65	-6.8868	2.5405	-0.16	-1.4093	0.0686	5.9383
1.7	-6.946	2.5715	-0.1629	-1.4768	0.0767	6.366
1.75	-7.0917	2.6294	-0.1679	-1.5404	0.0843	6.8229

1.8	-7.2282	2.6682	-0.1706	-1.5427	0.0833	7.116
1.85	-7.2977	2.6757	-0.17	-1.5094	0.0766	7.3193
1.9	-7.3552	2.6775	-0.1693	-1.4699	0.0707	7.2599
1.95	-7.4072	2.6821	-0.1691	-1.4382	0.0653	7.2534
2	-7.504	2.71	-0.1713	-1.444	0.066	7.2606
2.05	-7.556	2.7274	-0.1729	-1.4579	0.0677	7.4032
2.1	-7.5346	2.7171	-0.1722	-1.4666	0.0694	7.4617
2.15	-7.5081	2.7104	-0.1721	-1.4968	0.0743	7.5127
2.2	-8.0917	2.9116	-0.1892	-1.5564	0.0843	7.7706
2.25	-8.1106	2.9209	-0.1904	-1.5954	0.0905	7.877
2.3	-8.1627	2.9333	-0.1916	-1.6046	0.0928	7.9175
2.35	-7.947	2.8533	-0.1854	-1.5743	0.0908	7.6196
2.4	-7.9668	2.8536	-0.1856	-1.5783	0.0929	7.5964
2.45	-7.9788	2.849	-0.1853	-1.5773	0.0943	7.5034
2.5	-7.884	2.8182	-0.1832	-1.6038	0.0989	7.5395
2.55	-7.681	2.7572	-0.1791	-1.6521	0.1068	7.6189
2.6	-7.7257	2.8204	-0.1872	-1.8878	0.1405	8.1225
2.65	-7.5329	2.7482	-0.1814	-1.8953	0.1436	7.9224
2.7	-7.4159	2.6901	-0.1763	-1.8704	0.1428	7.5
2.75	-7.3454	2.6535	-0.1731	-1.8608	0.1434	7.2667
2.8	-7.2456	2.6103	-0.1695	-1.8561	0.1444	7.1186
2.85	-7.0711	2.5612	-0.1662	-1.9042	0.1513	7.3628
2.9	-6.9933	2.527	-0.163	-1.897	0.1504	7.4504
2.95	-6.9567	2.5101	-0.1614	-1.9013	0.1508	7.6023
3	-6.9292	2.459	-0.1551	-1.768	0.1331	7.2195

Fuente: Akkar y Bommer 2010

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

b7	b8	b9	b10	σ_1	σ_2
0.0875	0.0153	-0.0419	0.0802	0.261	0.0994
0.0471	-0.0243	-0.0426	0.0865	0.272	0.1142
0.0267	-0.0006	-0.0491	0.0791	0.2728	0.1167
0.0258	0.017	-0.0418	0.0784	0.2788	0.1192
0.0656	0.0211	-0.021	0.0844	0.2821	0.1081
0.0981	0.0392	-0.0485	0.0858	0.2871	0.099
0.1285	0.0434	-0.0555	0.0922	0.2902	0.0976
0.1621	0.067	-0.0472	0.09	0.2983	0.1054
0.2122	0.092	-0.0515	0.099	0.2998	0.1101
0.2412	0.1168	-0.052	0.0994	0.3037	0.1123
0.2594	0.1356	-0.0428	0.0858	0.3078	0.1163
0.265	0.1445	-0.0426	0.0695	0.307	0.1274
0.2772	0.1516	-0.0385	0.0593	0.3007	0.143
0.2857	0.1524	-0.0342	0.0511	0.3004	0.1546
0.3035	0.1565	-0.0415	0.0466	0.2978	0.1626
0.3152	0.1633	-0.0405	0.0425	0.2973	0.1602
0.3215	0.1737	-0.0395	0.0337	0.2927	0.1584
0.3352	0.1848	-0.0379	0.0287	0.2917	0.1543
0.3485	0.1906	-0.0288	0.0248	0.2915	0.1521
0.3592	0.1941	-0.0221	0.025	0.2912	0.1484
0.3662	0.1952	-0.0227	0.0212	0.2895	0.1483
0.3728	0.1946	-0.0261	0.0112	0.2888	0.1465
0.3776	0.1942	-0.0266	0.0014	0.2896	0.1427
0.3815	0.194	-0.0209	0.0015	0.2871	0.1435
0.3812	0.1931	-0.0162	0.0041	0.2878	0.1439
0.3878	0.1939	-0.0183	0.0041	0.2863	0.1453
0.3886	0.1927	-0.019	-0.0037	0.2869	0.1427
0.3868	0.1908	-0.0184	-0.009	0.2885	0.1428
0.3863	0.1929	-0.0161	-0.0088	0.2875	0.1458
0.3829	0.1916	-0.0129	-0.0056	0.2857	0.1477
0.3787	0.1881	-0.0121	-0.0022	0.2839	0.1468
0.3727	0.1857	-0.0085	-0.0005	0.2845	0.145
0.3695	0.1815	-0.0053	-6E-05	0.2844	0.1457
0.3653	0.1762	-0.0085	-0.003	0.2841	0.1503
0.3594	0.173	-0.012	-0.0074	0.284	0.1537
0.3528	0.1695	-0.0139	-0.0139	0.284	0.1558
0.3478	0.1674	-0.014	-0.0149	0.2834	0.1582
0.3456	0.1673	-0.0153	-0.0119	0.2828	0.1592
0.3414	0.1633	-0.0156	-0.007	0.2826	0.1611

0.3372	0.1617	-0.0185	-0.0035	0.2832	0.1642
0.333	0.1584	-0.0226	-0.0049	0.2835	0.1657
0.3301	0.155	-0.0263	-0.0073	0.2836	0.1665
0.3265	0.1534	-0.0292	-0.0087	0.2832	0.1663
0.3244	0.1526	-0.0348	-0.0123	0.283	0.1661
0.3135	0.1443	-0.0399	-0.0193	0.283	0.1627
0.31	0.1443	-0.0416	-0.0232	0.283	0.1627
0.3083	0.1441	-0.0424	-0.0263	0.2829	0.1633
0.3207	0.1432	-0.0496	-0.0234	0.2815	0.1632
0.318	0.143	-0.0491	-0.0257	0.2826	0.1645
0.314	0.1432	-0.0481	-0.0264	0.2825	0.1665
0.311	0.1433	-0.0471	-0.0277	0.2818	0.1681
0.3088	0.1434	-0.0461	-0.0282	0.2818	0.1688
0.3112	0.1426	-0.0511	-0.0297	0.2838	0.1741
0.3094	0.1422	-0.0502	-0.0293	0.2845	0.1759
0.3069	0.1407	-0.0489	-0.0296	0.2854	0.1772
0.3064	0.1405	-0.0474	-0.0292	0.2862	0.1783
0.3053	0.1392	-0.0473	-0.0275	0.2867	0.1794
0.3051	0.1393	-0.0452	-0.0278	0.2869	0.1788
0.3036	0.1378	-0.042	-0.0262	0.2874	0.1784
0.2999	0.1358	-0.0386	-0.0249	0.2872	0.1783
0.2977	0.132	-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	ε1
0	0.56	-0.0031	0.26	0.0055	0.37
0.05	0.54	-0.0035	0.48	0.0061	0.37
0.06	0.54	-0.0037	0.57	0.0065	0.38
0.07	0.53	-0.0039	0.67	0.0066	0.38
0.08	0.52	-0.004	0.75	0.0069	0.39
0.09	0.52	-0.0041	0.8	0.0071	0.4
0.1	0.52	-0.0041	0.85	0.0073	0.4
0.11	0.5	-0.004	0.96	0.0061	0.4
0.12	0.51	-0.004	0.93	0.0062	0.4
0.13	0.51	-0.0039	0.91	0.0062	0.4
0.15	0.52	-0.0038	0.89	0.006	0.41
0.17	0.53	-0.0037	0.84	0.0056	0.41
0.2	0.54	-0.0034	0.76	0.0053	0.4
0.22	0.54	-0.0032	0.73	0.0048	0.4
0.25	0.54	-0.0029	0.66	0.0044	0.4
0.3	0.56	-0.0026	0.51	0.0039	0.39
0.35	0.56	-0.0024	0.42	0.0036	0.4
0.4	0.58	-0.0021	0.26	0.0033	0.4
0.45	0.59	-0.0019	0.13	0.003	0.41
0.5	0.59	-0.0016	0.04	0.0022	0.41
0.6	0.62	-0.0014	-0.22	0.0025	0.41
0.7	0.63	-0.0012	-0.37	0.0022	0.41
0.8	0.65	-0.0011	-0.54	0.002	0.41
0.9	0.68	-0.0009	-0.8	0.0019	0.41
1	0.71	-0.0009	-1.04	0.0021	0.41
1.1	0.72	-0.0007	-1.19	0.0018	0.41
1.2	0.73	-0.0006	-1.32	0.0014	0.41
1.3	0.74	-0.0006	-1.44	0.0014	0.41
1.5	0.77	-0.0005	-1.7	0.0017	0.4
1.7	0.79	-0.0005	-1.89	0.0019	0.39
2	0.8	-0.0004	-2.08	0.002	0.39
2.2	0.82	-0.0004	-2.24	0.0022	0.38
2.5	0.84	-0.0003	-2.46	0.0023	0.38
3	0.86	-0.0002	-2.72	0.0021	0.38
3.5	0.9	-0.0003	-2.99	0.0032	0.37
4	0.92	-0.0005	-3.21	0.0045	0.38
4.5	0.94	-0.0007	-3.39	0.0064	0.38
5	0.92	-0.0004	-3.35	0.003	0.38

Fuente: Kanno 2006

ANEXO E

E-1 Relaciones de atenuación para aceleraciones espectrales de respuesta horizontal para terremotos de subducción para el suelo.

PERIODO	C1	C2	C3	C*4	C*5	DE
0	0	0	-2.329	1.45	-0.1	0.65
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1	0.65
0.3	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1	0.65
0.4	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1	0.65
0.5	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1	0.65
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1	0.65
1	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1	0.65
1.5	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1	0.7
2	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1	0.75
3	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1	0.85
4	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1	0.85

Fuente: Youngs 1997

ANEXO F

F-2 Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

T	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
0.239	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	-0.62	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