



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 DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO BARRIO LA
VICTORIA”**

AUTOR: VEGA TOCUMBE JOAQUÍN

TUTOR: ING. MSC. MARITZA UREÑA

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Msc. Maritza Ureña certifico que el presente trabajo experimental “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO BARRIO LA VICTORIA.” realizado por el señor Joaquín Vega Tocumbe egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Junio del 2018

Ing. Msc. Maritza Ureña

AUTORÍA

Yo, Joaquín Vega Tocumbe con C.I: 050408960-8, 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 DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO BARRIO LA VICTORIA, es de mi completa autoría.

Ambato, Junio del 2018

Joaquín Vega Tocumbe

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 esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio del 2018

Joaquín Vega Tocumbe

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de calificación de grado aprueban el Trabajo Experimental, sobre el tema: **“ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO BARRIO LA VICTORIA”**, del egresado Joaquín Vega Tocumbe, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Junio 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg. Jorge Cevallos

Ing. Mg. Lenin Maldonado

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres ya que todo esto fue posible gracias a su arduo esfuerzo que día a día lucharon para verme culminar esta carrera.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por creer en mí y darme el apoyo moral y económico de manera desinteresada en todo momento, por enseñarme a ser una persona de bien y ayudarme a alcanzar esta meta tan anhelada.

A mi hermano por enseñarme el valor de la perseverancia ante cualquier dificultad a no rendirme ni en los peores momentos.

Y a toda mi familia y amigos que han estado presentes a lo largo de esta ardua etapa.

Finalmente agradecer a los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica que de una u otra manera compartieron sus conocimientos.

ÍNDICE

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA	III
DERECHOS DEL AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
RESUMEN EJECUTIVO	XVII

B. TEXTO

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL:.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	4
CAPÍTULO II.....	5
FUNDAMENTACIÓN.....	5
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1.1. Tectónica de placas	5
2.1.2. Tipos de límites en las placas	6
2.1.2.1. Límites divergentes	6
2.1.2.2. Límites Convergentes.....	6
2.1.2.3. Límites de transformación.....	8
2.1.3. Fallas.....	9

2.1.3.1.	Tipos de fallas	9
2.1.4.	Sismo	11
2.1.4.1.	Sismos Naturales	11
2.1.4.2.	Sismos Artificiales	12
2.1.5.	PELIGRO SÍSMICO	12
2.1.6.	Zonificación sísmica del Ecuador.....	14
2.1.7.	Ensayo de penetración estándar (SPT)	15
2.1.8.	Ecuaciones de atenuación (gmpe's).....	16
2.1.9.	Magnitud de momento	19
2.2.	HIPÓTESIS	20
2.3.	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	20
2.3.1.	Variable Dependiente	20
2.3.2.	Variable Independiente	20
 CAPITULO III		21
METODOLOGÍA.....		21
3.1.	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	21
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	21
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	22
3.4.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	22
3.5.	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	23
 CAPÍTULO IV.....		24
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		24
4.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS	24
4.1.1.	Selección de Fallas Geológicas.....	25
4.1.2.	Características del Suelo	28
4.1.3.	Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	34
4.1.4.	Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico	35
4.1.5.	Velocidad media de la onda de cortante V_{s30}	36
4.1.6.	Ensayos SPT en cada pozo de estudio	37
4.1.7.	Ecuaciones de atenuación para cortical intraplaca.....	42
4.1.7.1.	Modelo Boore y Atkinson (2008)	42
4.1.7.2.	Modelo Akkar y Bommer (2010).....	46
4.1.7.3.	Modelo Kanno (2006)	47
4.1.8.	Ecuaciones de atenuación para subducción	48

4.1.8.1.	Modelo de Youngs (1997).....	48
4.1.8.2.	Modelo Zhao (2006).....	49
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
4.2.1.	Magnitud de las fallas	51
4.2.2.	Cálculo de Espectros según cada modelo	51
4.2.2.1.	Espectros según el Modelo Boore y Atkinson 2008	52
4.2.2.2.	Espectros según el Modelo Akkar y Bommer 2010.....	53
4.2.2.3.	Espectros según el Modelo Kanno 2006	54
4.2.2.4.	Espectros según el Modelo Youngs 1997	55
4.2.2.5.	Espectros según el Modelo Zhao 2006	56
4.2.3.	Espectros con los modelos para cada una de las fallas	58
4.2.4.	Espectro de la NEC-15 vs Espectros propuestos para cada falla.....	64
4.2.5.	Espectro de la NEC-2015 vs Espectros de todos los modelos.....	70
4.2.6.	Espectro crítico vs. Espectro según la NEC-2015	70
4.3.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ESTRUCTURAS TIPO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	73
4.3.1.	Estructuras Tipo	73
4.3.1.1.	Características estructurales	76
4.3.1.2.	Reducción de los espectros	77
4.3.1.3.	Determinación del período de vibración	79
4.3.1.4.	Análisis estático.....	84
4.3.1.5.	Análisis dinámico.....	93
4.4.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	95
CAPÍTULO V		96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		96
5.1.	CONCLUSIONES.....	96
5.2.	RECOMENDACIONES	98
C. MATERIALES DE REFERENCIA		99
1.	BIBLIOGRAFÍA.....	99
2.	ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales placas tectónicas de la Tierra	5
Figura 2. Límite divergente	6
Figura 3. Límite Convergente	7
Figura 4. Convergencia Oceánica- Oceánica	7
Figura 5. Convergencia Oceánico- Continental	8
Figura 6. Convergencia Continental- Continental.....	8
Figura 7. Límite de transformación	9
Figura 8. Falla Inversa.....	10
Figura 9. Falla Normal	10
Figura 10. Falla Transcurrente	11
Figura 11. Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y valor del factor de zona Z	15
Figura 12. Fallas Geológicas del Ecuador.....	25
Figura 13. Fallas geológicas de Tungurahua.....	26
Figura 14. Fallas Geológicas cercanas al área de estudio	26
Figura 15. Pozos en estudio.....	27
Figura 16. Espectro de aceleración- Modelo Boore y Atkinson (2008).....	52
Figura 17. Espectro de aceleración- Modelo Akkar y Bommer 2010.....	53
Figura 18. Espectro de aceleración- Modelo Kanno 2006	54
Figura 19. Espectro de aceleración- Modelo Youngs 2006	55
Figura 20. Espectro de aceleración- Modelo Zhao 2006.....	56
Figura 21. Espectros de aceleración para la Falla de Huachi	58
Figura 22. Espectros de aceleración para la Falla de Ambato.....	59
Figura 23. Espectros de aceleración para la Falla de Totoras	60
Figura 24. Espectros de aceleración para la Falla de Samanga.....	61
Figura 25. Espectros de aceleración para la Falla de Subducción.....	62
Figura 26. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Huachi.....	65
Figura 27. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Ambato	66

Figura 28. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Totoras	67
Figura 29. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Samanga.....	68
Figura 30. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Subducción	69
Figura 31. Espectro de la NEC-2015 comparado con todos los espectros.....	70
Figura 32. Espectro crítico comparado con la NEC-2015.....	72
Figura 33. Planta tipo de la estructura de tres pisos	73
Figura 34. Vista en elevación del modelado en Etabs 2016 de la estructura de tres pisos.	74
Figura 35. Planta tipo de la estructura de dos pisos	74
Figura 36. Vista en elevación del modelado en Etabs 2016 de la estructura de dos pisos.	75
Figura 37. Planta tipo de la estructura de una planta.....	75
Figura 38. Vista en elevación del modelado en Etabs 2016 de una estructura de un piso .	76
Figura 39. Espectro específico y los valores de aceleración correspondiente a la estructura tipo de tres pisos	81
Figura 40. Espectro específico y los valores de aceleración correspondiente a la estructura tipo de dos pisos	82
Figura 41. Espectro específico y los valores de aceleración correspondiente a la estructura tipo de un piso	82
Figura 42. Derivas elásticas para la estructura de tres pisos en el sentido X	89
Figura 43. Derivas elásticas para la estructura de tres pisos en el sentido Y	89
Figura 44. Derivas elásticas para la estructura de dos pisos en el sentido X	90
Figura 45. Derivas elásticas para la estructura de dos pisos en el sentido Y	90
Figura 46. Derivas elásticas para la estructura de un piso en el sentido X.....	91
Figura 47. Derivas elásticas para la estructura de un piso en el sentido Y.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Magnitud de Momento	19
Tabla 2. Ubicación de cada pozo en estudio.....	27
Tabla 3. Fallas Geológicas respecto al área de estudio	28
Tabla 4. Clasificación de Suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS	28
Tabla 5. Clasificación de Suelos- Pozo 1	29
Tabla 6. Clasificación de Suelos- Pozo 2	30
Tabla 7. Clasificación de Suelos- Pozo 3	31
Tabla 8. Clasificación de Suelos- Pozo 4	32
Tabla 9. Clasificación de Suelos- Pozo 5	33
Tabla 10. Clasificación de los perfiles de suelo	35
Tabla 11. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 1	37
Tabla 12. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 2	38
Tabla 13. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 3	39
Tabla 14. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 4	40
Tabla 15. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 5	40
Tabla 16. Valores Vs30	41
Tabla 17. Valores de variables para los diferentes tipos de fallas	43
Tabla 18. Magnitud para cada falla	51
Tabla 19. Datos para el Modelo Boore y Atkinson	52
Tabla 20. Datos para el Modelo de Akkar y Bommer.....	53
Tabla 21. Datos para el Modelo de Kanno	54
Tabla 22. Datos para el Modelo de Youngs	55
Tabla 23. Datos para el Modelo de Zhao.....	56
Tabla 24. Valores de aceleración máximas y sus porcentajes	57
Tabla 25. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Huachi	58
Tabla 26. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Ambato.....	59
Tabla 27. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Totoras	60
Tabla 28. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Samanga.....	61
Tabla 29. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Subducción.	62
Tabla 30. Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual.....	63

Tabla 31. Valores del espectro según la NEC-2015	64
Tabla 32. Coordenadas para el espectro crítico	71
Tabla 33. Secciones y características de elementos estructurales	76
Tabla 34. Secciones y características de elementos estructurales	77
Tabla 35. Secciones y características de elementos estructurales	77
Tabla 36. Valores de k	84
Tabla 37. Períodos de vibración	85
Tabla 38. Modos de vibración de la estructura de tres pisos	86
Tabla 39. Modos de vibración de la estructura de dos pisos	86
Tabla 40. Modos de vibración de la estructura de un piso	87
Tabla 41. Acumulación de masa en la estructura de tres pisos	87
Tabla 42. Acumulación de masa en la estructura de dos pisos.....	88
Tabla 43. Acumulación de masa en la estructura de un piso.....	88
Tabla 44. Derivas máximas elásticas e inelásticas para las estructuras.....	92
Tabla 45. Análisis dinámico en la estructura de tres pisos	93
Tabla 46. Derivas de piso elásticas para la estructura de tres pisos	94

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	103
Fotografía 1. Excavación de suelo vegetal	103
Fotografía 2. Medición cada 15 cm para el número de golpes.....	103
Fotografía 3. Extracción de muestra de suelo.....	104
Fotografía 4. Cuchareta con muestra de suelo.....	104
Fotografía 5. Muestra obtenida en la cuchareta.....	105
Fotografía 6. Peso de la muestra de suelo	105
Fotografía 7. Muestra de suelo tamizando	106
Fotografía 8. Muestra de suelo tamizado	106
ANEXO B	107
B- 1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período, para el modelo de Boore y Atkinson [22]	107
B- 2. Coeficientes de escala de distancia ($M_{ref} = 4,5$ y $R_{ref} = 1,0$ km para todos los períodos, excepto $R_{ref}=5.0$ km para p_{ga4nl}), en el modelo de Boore y Atkinson [22]....	107
B- 3. Coeficiente de escala de magnitud [22].....	108
B- 4. Valores de variables para los diferentes tipos de fallas [22]	109
ANEXO C	109
C- 1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración [23]	109
ANEXO D	112
D- 1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de PGA 5% [24]	112

ANEXO E	113
E- 1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo [25].....	113
ANEXO F	114
F- 1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria. [26]	114
F- 2 Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción [26].....	114
F- 3 Definiciones de clase de sitio utilizadas en el presente estudio y la clase de sitio NEHRP aproximadamente correspondiente.....	115

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO BARRIO LA VICTORIA”

Autor: Joaquín Vega Tocumbe

Tutor: Ing. Msc. Maritza Ureña

En el presente trabajo de investigación se calculó un espectro específico para el sector “La Victoria” mediante un análisis determinista, además se calculó el espectro de respuesta de acuerdo a las especificaciones de la NEC-15 para así poder diferenciar el comportamiento de las estructuras con cada uno de los espectros.

Para el análisis determinista se siguió los siguientes pasos: se realizó un estudio de suelo mediante el ensayo SPT en cinco puntos estratégicos dentro del área de estudio con estos resultados obtenidos como el número de golpes se pudo calcular la velocidad de onda de corte V_{s30} , se identificó las fallas cercanas al área de estudio que sirvieron para calcular la magnitud de momento de cada una. Los datos obtenidos se utilizaron en las ecuaciones de atenuación para así generar un espectro por cada tipo de falla y con las diferentes propuestas de ecuaciones. Posteriormente se creó una envolvente donde recogía las máximas aceleraciones en cada período de los espectros específico, esta envolvente se comparó con el espectro de la NEC-15 dando como resultado un espectro específico mucho menor en relación al espectro de la norma.

La aceleración máxima en el espectro específico por el método determinístico fue de 1.07 en un período de 0.3 segundos lo que es inferior a una aceleración máxima de 1.19 en un período de 0.15 a 0.55 segundos obtenidos mediante las especificaciones de la NEC-2015.

Posteriormente se realizó un análisis estructural para tres estructuras tipo que son de tres, dos y una planta, existentes dentro del área de estudio. Para una mayor precisión en los resultados se utilizó el software Etabs 16.0.0. donde se realizó un análisis estático y dinámico con el espectro de la NEC-15 y con el espectro generado mediante el método determinista.

Finalmente se obtuvieron resultados como el período de vibración, derivas de piso estáticas, acumulación de masa, cortante de piso y derivas de piso dinámicas.

ABSTRACT

In this research work, a specific spectrum was calculated for the "La Victoria" sector through a deterministic analysis, and the response spectrum was calculated in accordance with the requirements of the NEC-15 in order to differentiate the behavior of the structures with each one of the spectrums.

For the deterministic analysis the following steps were followed: a study of this type was carried out in the SPT test in five strategic points within the study area with these results as the number of blows the speed of the Vs30 wave could be calculated, it was identified the faults near the study area that served to calculate the magnitude of the moment of each one. The data obtained is used in the attenuation equations to generate a spectrum for each type of fault and with the different proposals of equations. Afterwards, an envelope was created where the maximum accelerations were collected in each period of the specific spectra, this envelope is compared with the spectrum of the NEC-15, resulting in a specific spectrum much lower in relation to the spectrum of the standard.

The maximum acceleration in the specific spectrum by the deterministic method was 1.07 in a period of 0.3 seconds which is less than a maximum acceleration of 1.19 in a period of 0.15 to 0.55 seconds per of the requirements of the NEC-2015.

Subsequently, a structural analysis was carried out for three structures that are three, two and one plant, within the study area. The Etabs 16.0.0 software is used for greater precision in the results where a static and dynamic analysis was performed with the spectrum of the NEC-15 and with the spectrum generated by the deterministic method.

Finally, results were obtained such as the period of vibration, statics story drifts, mass accumulation, story shear and dynamic story drifts.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE
AMBATO SECTOR HUACHI CHICO BARRIO LA VICTORIA

1.2. ANTECEDENTES

Los sismos son una amenaza latente para las personas y el entorno natural los que se han reportado desde la existencia misma de la humanidad provocando grandes pérdidas de vidas y cuantiosas afectaciones materiales. “A partir de los años 1970 se ha tomado una atención especial y consiente del fenómeno sísmico debido al crecimiento poblacional y a las construcciones de edificaciones que no tenían el comportamiento adecuado frente a la acción sísmica, en zonas urbanas el impacto de los terremotos fue desfavorable.” [1]

Con el pasar de los años el prevenir y disminuir el peligro sísmico se ha convertido en una gran necesidad es por ello que se han realizado estudios más minuciosos acerca de los sismos utilizando métodos de cálculo más precisos.

En el Ecuador se han realizado estudios de zonificación sísmica y uno de los primeros trabajos relacionados al peligro sísmico es la investigación que se titula “Zonificación de los suelos de Quito y correlación de ensayos de penetración estándar con parámetros dinámicos” realizada en el año 1987 por el ingeniero Lecaro Mauricio y sus colaboradores. “En esta tesis utilizaron 619 estudios de suelo incluidos los ensayos de penetración estándar (SPT) planteando así las ecuaciones características para cada

zona en cada profundidad e indirectamente se detecta la velocidad de ondas de corte y el módulo de corte, en función del número de golpes del SPT.” [2]

En el año 2015 el Ing. Diego Quizanga en su tesis de magister titulada “Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas inversas” concluye que “en el sur de Quito en los espectros críticos se observa valores de respuesta en aceleración muy altos y las estructuras que deberán soportar altas fuerzas sísmicas son las que se encuentran en el sur de la ciudad cuyos períodos varíen entre 0.1 y 0.6 segundos siendo las que mayor aceleración tengan aquellas que se encuentran sobre suelos tipo C” [3]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción especifica que “El mapa de zonificación sísmica es el resultado de estudios de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años, clasificando así al Ecuador en 6 zonas distintas siendo la amenaza sísmica más alta la zona VI correspondiente a las costas ecuatoriana” [4]

Recientemente en el año 2017 se realizó una investigación por el Ing. Paúl Cobos en el que llega a la conclusión que “la respuesta espectral de aceleración tiende a variar de acuerdo a la distancia del epicentro mientras que en la falla de subducción dependerá de la profundidad a la que se libere energía sísmica.” [5]

Esta clase de estudios han permitido reducir la vulnerabilidad sísmica dividiendo en este caso al mapa de la ciudad de Quito en zonas en las que se puede diferenciar el tipo de suelos, el nivel de peligro que pueden tener las edificaciones si se produce un sismo.

El presente trabajo tiene como propósito evaluar el peligro sísmico determinista en el área de estudio seleccionado para determinar un espectro de respuesta específico para una estructura y así poder compararla con el espectro recomendado por la NEC.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico” se localiza en toda la zona que rodea el Océano Pacífico convirtiéndolo así en una región que registra una altísima actividad volcánica y sísmica. Delimita la placa del Pacífico con otras pequeñas placas tectónicas de tipo continentales. El 90 % de los terremotos se produce a lo largo de esta zona, también se encuentra el 75 % de los volcanes activos del mundo. [6]

El Ecuador pertenece a la región llamada Cinturón de Fuego del Pacífico, donde se libera el 85% de la energía sísmica que libera el planeta en forma de terremotos, principalmente. “El territorio ecuatoriano está dividido en cuatro regiones, Costa, Sierra, Oriente y Región Insular, siendo en la segunda donde existen la mayor cantidad de fallas debido a los pliegues que se producen por la geodinámica de la región.” [7]

Los sismos de magnitud mayor a 5.0 son frecuentes y algunos de ellos se da en la placa superficial provocando así daños estructurales. La principal fuente de generación de sismos tectónicos en el Ecuador es por la subducción de la Placa de Nazca dentro de la Placa Sudamericana. [8]

La ciudad de Ambato ha sido declarada la de más alto riesgo sísmico del país, según lo que detectó el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, lo que significa que existen suelos vulnerables y en caso de existir construcciones que no cumplan con las especificaciones técnicas pueden traer consecuencias graves, por lo tanto este trabajo se verá guiado a la determinación del tipo de suelo con el que cuenta, factores de amplificación para el espectro sísmico y de esta manera obtener seguridad sísmica. [9]

Con esta investigación experimental se pretende aportar a futuras construcciones que sean sismorresistente con un espectro específico para el área de estudio que no esté subdimensionado o sobredimensionado si se realiza con los espectros propuestos por la NEC-15.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL:

Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de Ambato sector Huachi Chico - Barrio “La Victoria” ubicado entre la Av. Atahualpa, Gustavo Lemos Ramírez, Alfredo Pérez Guerrero, Miguel de Santiago y Samaniego.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar las fallas geológicas que cause mayor impacto a la zona en estudio.
- Determinar el espectro de respuesta de sitio, mediante la utilización de las ecuaciones de atenuación con el espectro propuesto por la NEC-15
- Analizar el comportamiento estructural de tres edificaciones con el espectro obtenido.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. TECTÓNICA DE PLACAS

Según la Tectónica de Placas, la parte más externa de la tierra o litósfera está dividida en seis placas continentales (Americana, Africana, Antártica, India-Australiana, Euroasiática y Pacífica) y alrededor de 14 placas subcontinentales (Nazca, Sudamericana, Cocos, etc.). Cada placa se desplaza horizontalmente con respecto a las placas adyacentes. La deformación relativa entre las placas ocurre únicamente en zonas cercanas a los bordes y puede ser lenta y continua (deformación asísmica) o puede ser esporádica en forma de sismos (deformación sísmica). La ubicación y 10 límites de las principales placas tectónicas de la Tierra se muestran en la figura. [10]

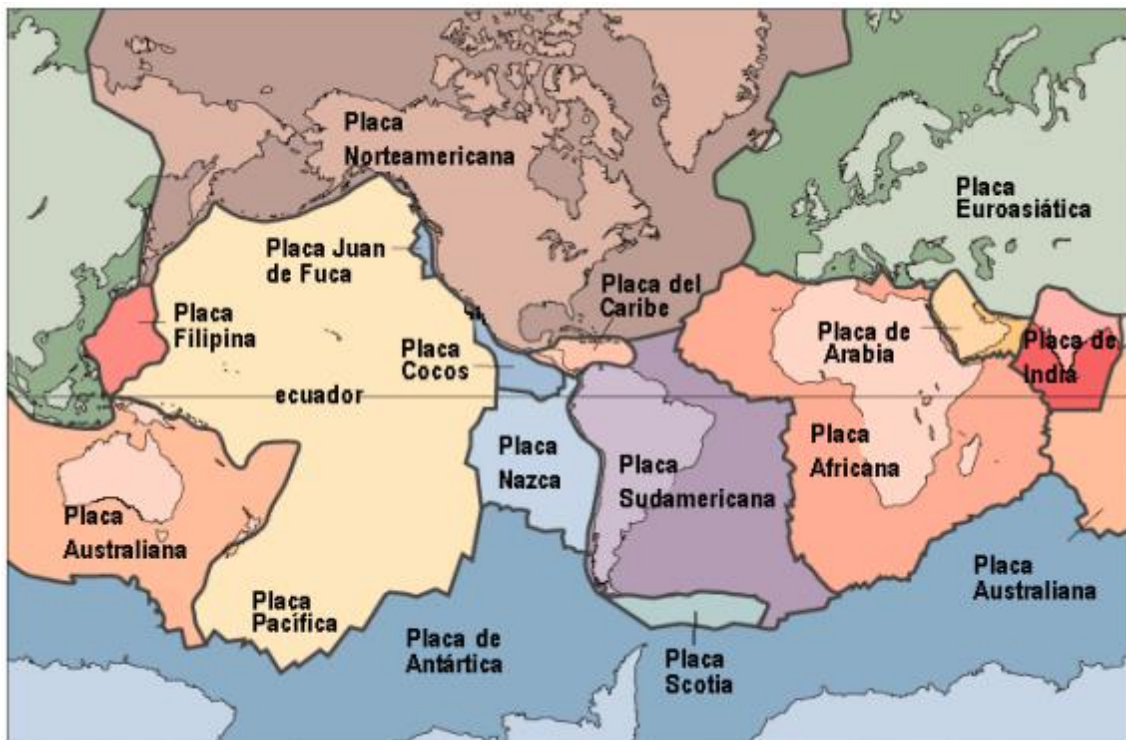


Figura 1. Principales placas tectónicas de la Tierra

Fuente: Bolaños y Monroy, Espectros de Peligro Sísmico Uniforme

2.1.2. TIPOS DE LÍMITES EN LAS PLACAS

Se conoce que las placas son rígidas porque al moverse interaccionan entre sí sin deformarse mayormente excepto en sus bordes, donde las deformaciones son importantes. Existen tres tipos de límites de placa: divergente, convergente y de transformación. [10]

2.1.2.1. Límites divergentes

Se diferencian por el desplazamiento de las placas en direcciones opuestas una respecto de otras. Los bordes divergentes se encuentran en los fondos oceánicos y en la superficie continental creando así unas estructuras muy características llamadas dorsales oceánicas y fosas tectónicas. [10]

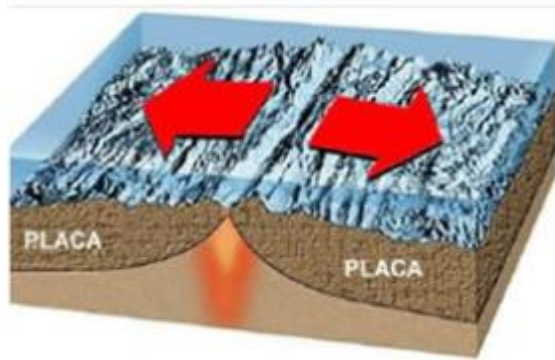


Figura 2. Límite divergente

Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas

La divergencia ocurre cuando la roca derretida del manto llega a la superficie, donde se enfría y se convierte en parte de la placa oceánica empujando las placas existentes en direcciones opuestas. La tasa de crecimiento de estas placas es de 3 a 17 cm/año. [10]

2.1.2.2. Límites Convergentes

En donde dos placas chocan, debido a movimientos con direcciones opuestas, haciendo que la placa más densa se hunda debajo de la menos densa a lo largo de la zona de subducción. Una zona de subducción se caracteriza por deformación, vulcanismo, formación de montañas, actividad sísmica y depósito de minerales importantes. [11]



Figura 3. Límite Convergente

Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas

Existen tres tipos de convergencia de placas:

Oceánico- Oceánico

En el encuentro de dos placas oceánicas una de ellas, la del borde más denso, se desliza por debajo de la otra, ocasionando deformación en el borde no subducido y originando un hueco denominado fosa o trinchera oceánica. [11]



Figura 4. Convergencia Oceánica- Oceánica

Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas

Oceánico- Continental

La corteza oceánica que es más densa se subduce debajo de la continental, que flota por ser más ligera, regresando al manto donde las altas temperaturas la funden. [11]

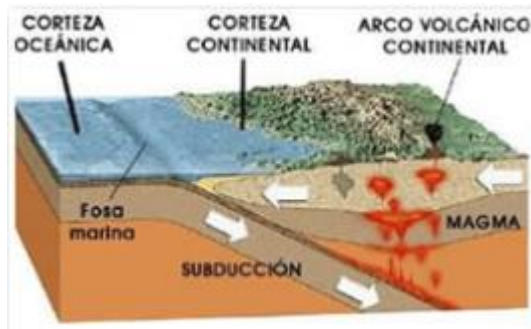


Figura 5. Convergencia Oceánico- Continental

Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas

Continental- Continental

Este proceso ha dado lugar a las cadenas montañosas más altas de la Tierra y es un proceso muy activo [11]

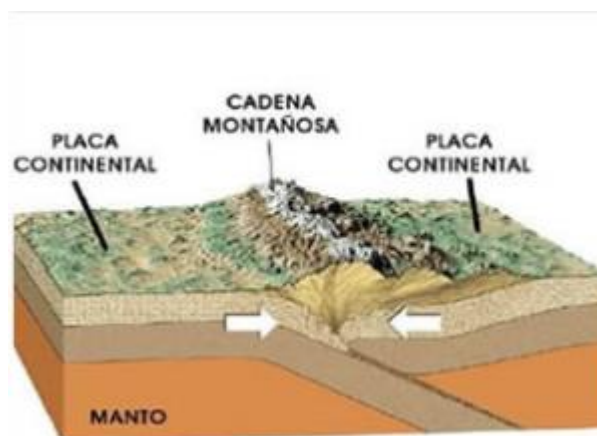


Figura 6. Convergencia Continental- Continental

Fuente: Servicio Geológico Mexicano Tectónica de Placas

2.1.2.3. Límites de transformación

Se los conoce también como deslizamientos horizontales y se caracterizan por el movimiento de las placas en direcciones opuestas lateralmente entre sí, sin crear ni destruir fondo oceánico. [10]

Los límites de transformación son identificados por diferencias en mediciones magnéticas o por fallas visuales en la corteza terrestre. La falla de San Andrés en California, Estados Unidos, es el ejemplo más famoso de este tipo de borde. [10]

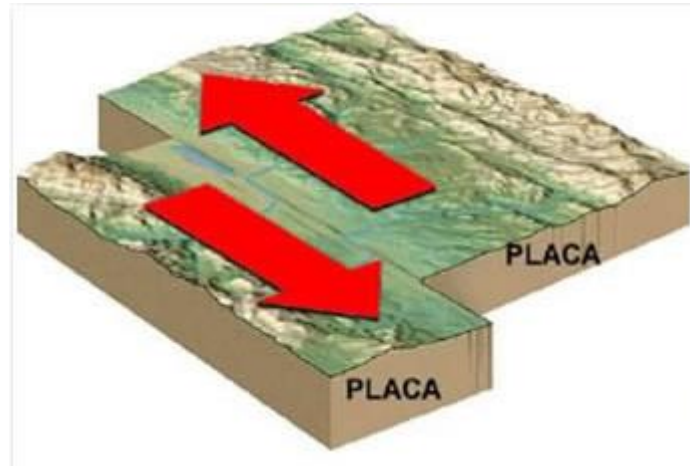


Figura 7. Límite de transformación

Fuente: Servicio Geológico Mexicano. Tectónica de Placas

2.1.3. FALLAS

Las fallas son fracturas o dislocaciones que suceden en las rocas de la corteza terrestre produciendo así un desplazamiento de los bloques resultantes de la fracturación. Este movimiento puede producirse en cualquier dirección: vertical, horizontal, o la combinación de las dos. [10]

La falla se origina cuando el esfuerzo ejercido debido al constante movimiento de las placas tectónicas supera la resistencia del material. Cuando se produce una falla se libera la energía de deformación acumulada en forma de calor y en forma de ondas sísmicas. [10]

2.1.3.1. Tipos de fallas

El movimiento de las fallas se puede clasificar por su orientación e inclinación. Los principales tipos de falla son:

Falla Inversa

Este tipo de falla se diferencia debido a que el bloque superior (1) se mueve hacia arriba con respecto al bloque inferior (2) y con un ángulo menor a 45° . Las fallas inversas están asociadas a esfuerzos de compresión que producen un acortamiento en la corteza. [10]

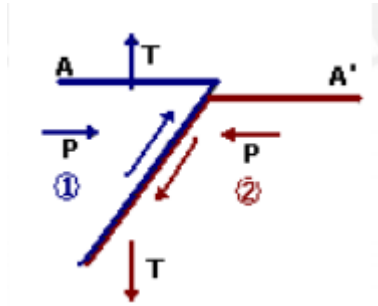


Figura 8. Falla Inversa

Fuente: Bolaños y Monroy, Espectros de Peligro Sísmico Uniforme

Falla Normal

Este tipo de falla es producido por el movimiento del bloque superior (1) hacia abajo con respecto al bloque inferior (2) y suelen tener pendientes de moderado a altos, en promedio 60° . Las fallas normales están generalmente asociadas a esfuerzos de tensión que generan un estiramiento de la corteza. [10]

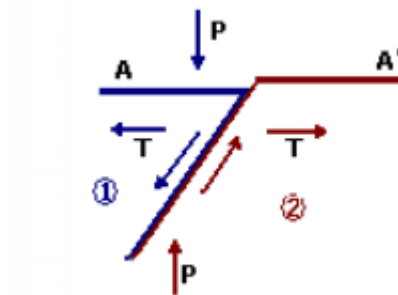


Figura 9. Falla Normal

Fuente: Bolaños y Monroy, Espectros de Peligro Sísmico Uniforme

Falla Transcurrente

Aquella que se acopla al movimiento horizontal de dos bloques adyacentes, dependiendo del movimiento relativo de un bloque con respecto al otro. Esta clase de falla presenta una pendiente de 90° .

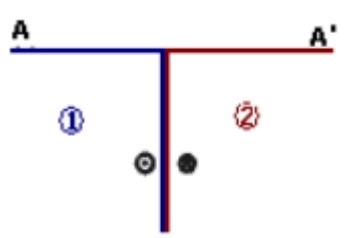


Figura 10. Falla Transcurrente

Fuente: Bolaños y Monroy, Espectros de Peligro Sísmico Uniforme

2.1.4. SISMO

Un sismo es un movimiento brusco de la corteza Terrestre que libera cierta energía acumulada que se propaga en forma de ondas sísmicas, mientras mayor es su magnitud mayor es su energía liberada. Existen varios tipos de fuentes (tectónicas, volcánicas, explosiones, meteoritos, etc.), siendo las más comunes las tectónicas. [12]

Se puede distinguir de acuerdo a la fuente que lo origina, esto es, sismos naturales y sismos artificiales:

2.1.4.1. Sismos Naturales

Sismos Tectónicos

Se dan debido a la ruptura súbita y violenta de las rocas por efecto de la deformación que se ha acumulado en el medio. Se producen generalmente en las zonas de contacto entre las placas (terremotos interplaca) y más raramente en zonas de debilidad dentro de las placas (terremoto intra-placa). Los sismos de mayor magnitud que se han presentado en el mundo han sido sismos tectónicos. [13]

Sismos Volcánicos

Estos sismos son formados por la actividad volcánica. Tienen menor magnitud que los sismos tectónicos y la mayoría de las veces son imperceptibles para la población de los alrededores. [13]

Sismos de Colapso

Sismos generados por el colapso de techos y paredes en antiguas minas o cavernas. La magnitud de estos sismos es pequeña y solamente es percibido por personas que se encuentren muy cerca de área afectada. [13]

2.1.4.2. Sismos Artificiales

Son sismos que se producen por la actividad del hombre, en zonas mineras, donde se realicen voladuras para extraer materiales, en zonas de pruebas nucleares. Estos sismos se comparan a la de un sismo de magnitud 4 ó 5, en la escala de Richter. [13]

2.1.5. PELIGRO SÍSMICO

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

Los factores que intervienen en el movimiento sísmico y que se usan en la estimación de la peligrosidad son las siguientes.

- Factor temporal, que indica la frecuencia con la que ocurren los terremotos en cada fuente sísmica.
- Factor de tamaño, que está relacionada con la energía que se puede liberar en cada fuente.

- Factor de distancia de fuente- sitio, que representa la probabilidad de que un terremoto se produzca en un rango de distancia dado, asumida su ocurrencia en una fuente sísmica.
- Factor de trayectoria fuente- sitio, que representa la atenuación del movimiento sísmico en dicho recorrido.
- Factor de sitio, que depende de las características topográficas, litológicas y estructurales del emplazamiento de estudio. [14]

Para la estimación de la peligrosidad sísmica se tienen dos métodos el método determinista y el método probabilista.

Método Determinista

El método de análisis más antiguo es el determinístico. El peligro se valora de acuerdo a valores específicos de los factores mencionados anteriormente, es decir un único sismo de un tamaño dado que pueda presentarse en la zona de estudio. El conjunto de todos los agentes generadores de sismos se lo denomina como el potencial sísmico de la zona y se acostumbra a representarlo por el mayor evento que se pueda producir. Después de haber identificado el sismo mas grande, el peligro del sitio queda definido en términos del movimiento del suelo o de la respuesta estructural que este sismo pueda producir.

La ventaja de un análisis determinístico es que es muy simple y claro, ya que se puede determinar directamente el valor de peligro en el sitio y actualizarlo a medida que se obtenga información reciente respecto al sismo máximo. El análisis determinístico no toma en cuenta las incertidumbres en las magnitudes y la ubicación de los sismos, así como el nivel de movimiento de suelo que pueda ocurrir durante el tiempo de vida útil de una estructura, no resultando apropiado en muchos casos para tomar decisiones. [14] [10]

Método Probabilista

El método probabilista considera los efectos de todos los sismos que pueden afectar a un emplazamiento dado, y tienen en cuenta las leyes de recurrencia de los mismos. Dan como

resultado estimaciones de la probabilidad de excedencia para cada valor de la intensidad del movimiento esperado en el emplazamiento, durante un periodo de tiempo dado, quedando así representada la peligrosidad por curvas de probabilidad. [15]

2.1.6. ZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ECUADOR

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

Los dos tipos de fuente sísmica que dominan el peligro sísmico en Ecuador son: subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales). En estas fuentes se genera un proceso de acumulación y liberación de energía. Los sismos interplaca cuya profundidad es menor a 40km pertenecen a los sismos que se forman por el rozamiento entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia. Los sismos intraplaca cuya profundidad va entre 40 y 300 km pertenecen a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, localizados dentro de la placa de Nazca que subduce bajo la placa continental Sudamericana. Los sismos corticales cuya profundidad es menor a 40km corresponden a los sismos superficiales que ocurren dentro de la placa Sudamericana. [7]

La subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador. [16]

El estudio de peligro sísmico fue realizado para todo el territorio ecuatoriano, con las metodologías que incluyen:

- La evaluación de los eventos históricos acompañada de un estudio moderno de re-evaluación de la magnitud y localización de dichos eventos utilizando el método de Bakun & Wentworth.
- El estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénicas y sus parámetros sismológicos (rumbo, buzamineto,

magnitud mínima de homogeneidad, tasa media de actividad sísmica, magnitud máxima probable y tasas de recurrencia). [16]

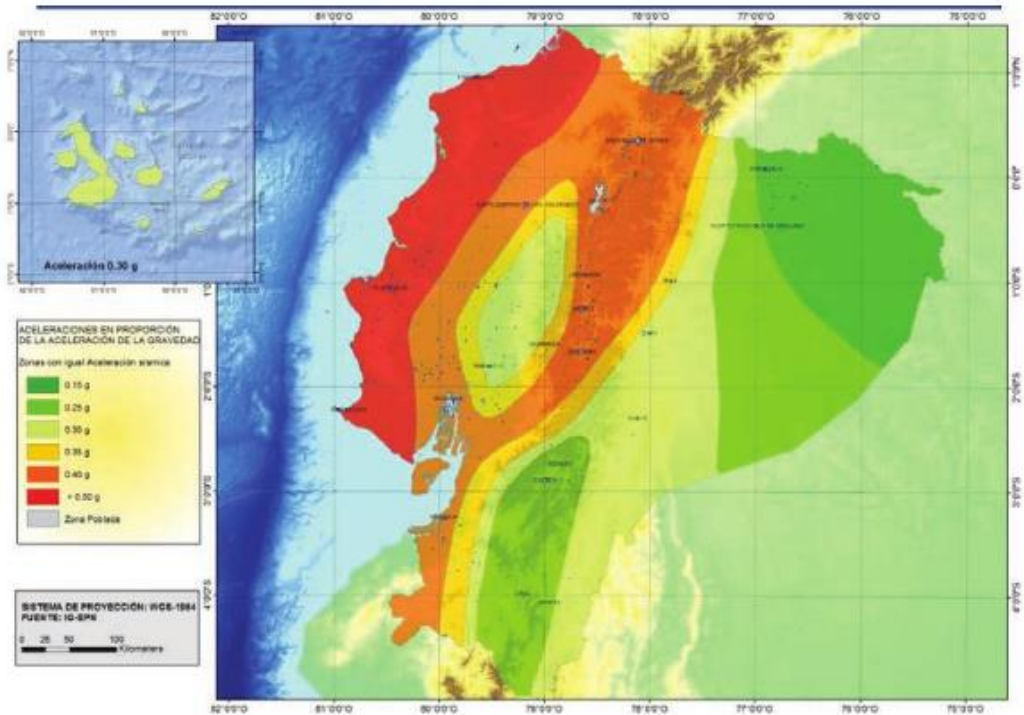


Figura 11. Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y valor del factor de zona Z

Fuente: Peligro Sísmico. NEC_SE_DS 2015

2.1.7. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

El SPT determina la resistencia que ofrece en el suelo (en el fondo de la perforación) a la penetración de un muestreador circular de acero, que a la vez, permite recuperar una muestra perturbada para fines básicamente de identificación. La resistencia a la penetración puede ser relacionada con las características y variables del terreno, principalmente en suelos granulares y arcillas saturadas. [17]

El fundamento del ensayo consiste en dejar caer un martillo de 63,5 Kg de peso sobre una cabeza de hincas, desde una altura de 76 cm. El número de golpes necesario para lograr la penetración de 30 cm del muestreador (luego de su descenso por gravedad e inca de 15 cm para apoyo) se reporta como resistente a la penetración N_{spt} . [17]

2.1.8. ECUACIONES DE ATENUACIÓN (GMPE'S)

La atenuación sísmica muestra el grado en que se atenúa o disminuye la onda sísmica en la corteza terrestre debido a la distancia existente entre el sitio y el hipocentro de un evento, y a la disipación de energía a lo largo de la trayectoria de desplazamiento. [3]

Las ecuaciones sirven para intentar predecir la atenuación que han sido obtenidas basadas en los métodos de regresiones matemáticas que no son otra cosa que métodos numéricos que buscan a partir de mediciones conocidas obtener ecuaciones matemáticas. [3]

Los modelos propuestos se los obtiene a partir de las aceleraciones y/o velocidades espectrales se formulan en función de la magnitud y distancia, para el rango de frecuencia de interés. Además, intervienen el tipo de suelo que se incluye a través de un factor S que lo identifica, según la clasificación adoptada. [5]

Se escogerá las siguientes ecuaciones:

SISMOS INTRAPLACA (FALLAMIENTO CORTICAL)

- **Boore y Atkinson (2008)**

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

Donde:

F_{M,D,S}: Coeficientes

M: Magnitud de momento

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

V_{S30}: Velocidad media de la onda de cortante (m/s)

- Akkar y Bommer (2010)

$$\text{Log } y = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R^2 j b + b^2 6} + b_7 S_S + b_8 S_A + b_9 F_N + b_{10} F_R + \varepsilon \sigma \quad (2)$$

Donde:

b: Coeficientes

F_N: Falla normal

F_R: Falla inversa

M: Magnitud de momento

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

S_A: Suelo rígido

S_s: Suelo suave

- Kanno et al. (2006)

Si D ≤ 30 Km:

$$\text{Log } pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (3)$$

Si D > 30 Km:

$$\text{Log } pre = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2 \quad (4)$$

Donde:

D: Profundidad Focal en Km

a, b, c, d: Coeficientes

M_w: Magnitud de momento

X: Coeficiente dependiente de la distancia de la fuente

SISMOS SUBDUCCIÓN

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

$$\ln y = -0.6687 + 1.438M + C1 + C2(10 - M)^3 + C3 * \ln(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \quad (5)$$

Dónde:

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficientes

R: Distancia más cercana fuente a sitio medida en Km

H: Profundidad focal en Km

M: Magnitud de momento

Zt: Coeficiente de acuerdo al tipo de falla

- **Zhao (2006)**

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

Donde:

M: Magnitud de momento

a, b, e, Ck: Coeficientes

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal en Km

hc: Constante de profundidad

Ck: Coeficiente de acuerdo a la clase de sitio

2.1.9. MAGNITUD DE MOMENTO

La magnitud de momento se obtendrá mediante la teoría de Wells-Coppersmith que dice:

Los análisis probabilísticos como deterministas requieren una evaluación del futuro potencial del terremoto en una región. Es necesario estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían ser generados por una falla particular o una fuente de terremoto. El futuro potencial de terremoto de un fallo comúnmente se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, ya que están relacionados con la magnitud del terremoto. [18]

Tabla 1. Magnitud de Momento

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

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

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

2.2. HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector Huachi Chico barrio La Victoria?

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector Huachi Chico barrio La Victoria

2.3.2. Variable Independiente

Peligro sísmico determinista

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se utilizará en este proyecto será: exploratorio y de laboratorio.

Es exploratorio debido a que en el barrio “La Victoria” del cantón Ambato no se ha realizado un estudio de peligro sísmico, la metodología es evaluar los espectros de respuestas de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro de respuesta propuesto por la NEC-15.

También se empleará la investigación de laboratorio ya que se realizarán ensayos que permitirán determinar el tipo de perfil de suelo mediante ensayo de penetración estándar SPT.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

El estudio de peligro sísmico determinista se lo realizará para el barrio La Victoria del cantón Ambato. Para esto es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y las GMPE's que se va a utilizar.

Muestra:

Se tomará lo recomendado por la NEC-15 que dice que se deben realizar mínimo tres perforaciones para un área de estudio, en este trabajo experimental el área de estudio es extenso se realizarán cinco perforaciones.

Los GMPE's que se utilizarán son:

- Akkar y Bommer (2010)

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

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente	Conceptualización	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Peligro sísmico Determinista	El peligro se evalúa en función del evento más grande que se pueda presentar en el área de estudio	Sismo	¿Cuál fue la magnitud del terremoto?	Experimental
		PGA	¿Cuál es el PGA obtenido?	-Experimental -Bibliográfico
Variable dependiente	Conceptualización	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Nivel de amenaza de las estructuras del barrio “La Victoria” del cantón Ambato	Probabilidad de ocurrencia de un sismo en un determinado sitio, durante un período de tiempo	Magnitud	¿La magnitud es de amenaza significativa?	-Experimental -Bibliográfica
		Distancia desde el punto sísmico hasta el punto de estudio	¿La distancia que hay es relevante en la amenaza producida?	-Experimental -Bibliográfica

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

PREGUNTAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	<ul style="list-style-type: none"> • Para evaluar el peligro en el barrio “La Victoria” del cantón Ambato mediante la determinación de espectros de respuesta específicas.

2. ¿De qué personas u objetos?	<ul style="list-style-type: none"> • Régimen tectónico, fallas seleccionadas y tipo de suelo en el área de estudios.
3. ¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> • Influencia del peligro sísmico determinista para las estructuras
4. ¿Quién?	<ul style="list-style-type: none"> • Joaquín Vega Tocumbe
5. ¿Dónde?	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato
6. ¿Cómo?	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación bibliográfica • Ensayo de laboratorio • Norma NEC-15 • Utilización de software ETABS

3.5.PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para el plan de procesamiento y análisis se de seguir el siguiente procedimiento:

- Identificación del régimen tectónico de acuerdo al área de estudio
- Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells-Coppersmith.
- Identificación del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT.
- Estimar la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs).
- Comparación de espectro de respuesta analizada con los de la NEC-15.
- Evaluar 3 diferentes tipos de estructuras con el espectro específico cuyas alturas sean las representativas en el área de estudio.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se requiere realizar las siguientes actividades:

- Seleccionar las fallas geológicas que son las más cercanas hacia el punto de estudio además debiendo contener la falla de subducción y las fallas corticales. También se debe obtener la longitud de dichas fallas y la distancia hacia cada uno de los puntos en estudio.
- Realizar el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) de acuerdo a lo estipulado en la norma NTE INEN 0689 y determinar el tipo de perfil según la NEC 2015.
- Realizar el ensayo de granulometría según la norma NTE INEN 0696 para cada una de las muestras obtenidas mediante el muestreador y determinar el tipo de suelo al que pertenece de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS).
- Calcular la Velocidad media de la onda de cortante (V_{s30}) según las ecuaciones dadas de acuerdo al tipo de suelo.
- Calcular las ecuaciones de atenuación de acuerdo al tipo de falla seleccionado.
- Determinar el espectro específico para el área de estudio y comparar con el espectro propuesto por la NEC 2015

4.1.1. Selección de Fallas Geológicas

En la siguiente figura se observa las fallas geológicas a las que está expuesta el territorio ecuatoriano. Las fallas corticales que están ubicadas en el área continental mientras que la falla de subducción se ubica en la costa ecuatoriana.

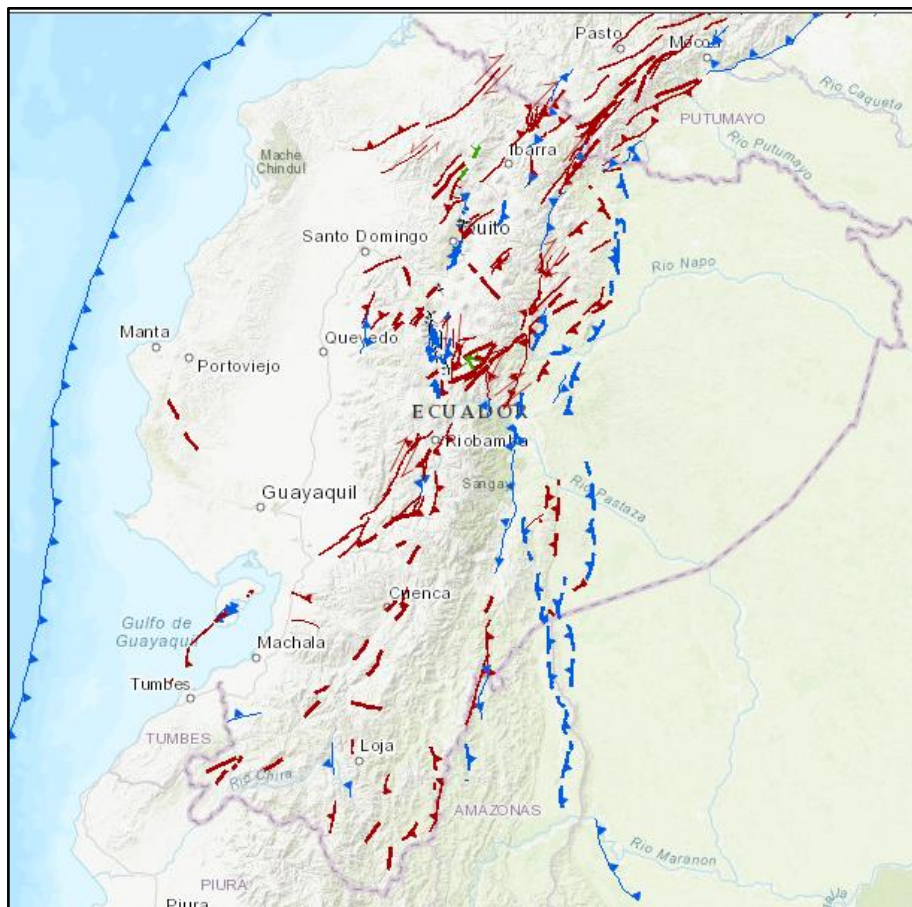


Figura 12. Fallas Geológicas del Ecuador

Fuente: IGEPN- Catálogo Homogenizado

A continuación, se observa las fallas corticales que están ubicadas en la provincia de Tungurahua.

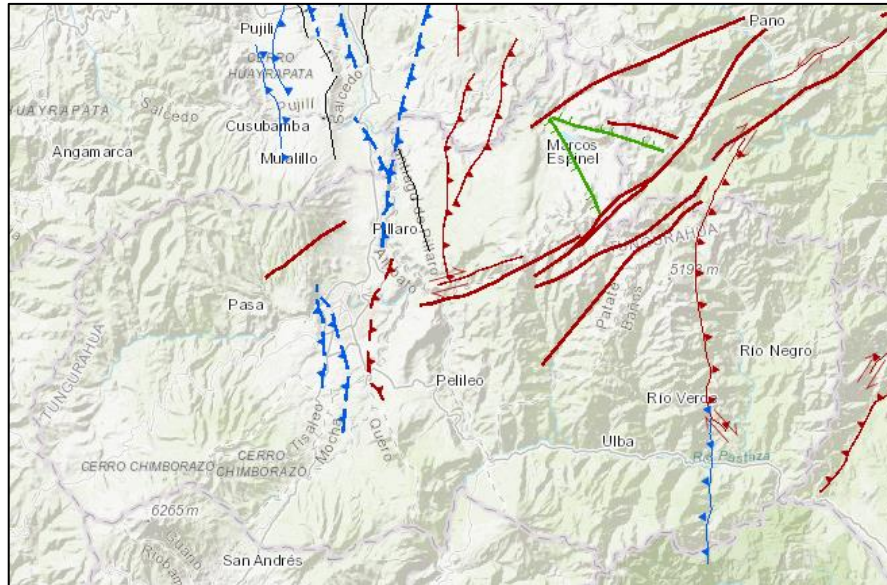


Figura 13. Fallas geológicas de Tungurahua

Fuente: IGEPN- Catálogo Homogenizado

En la figura se observa las principales fallas que afectan al área de estudio y las que serán tomadas en cuenta para el estudio de peligro sísmico determinístico.

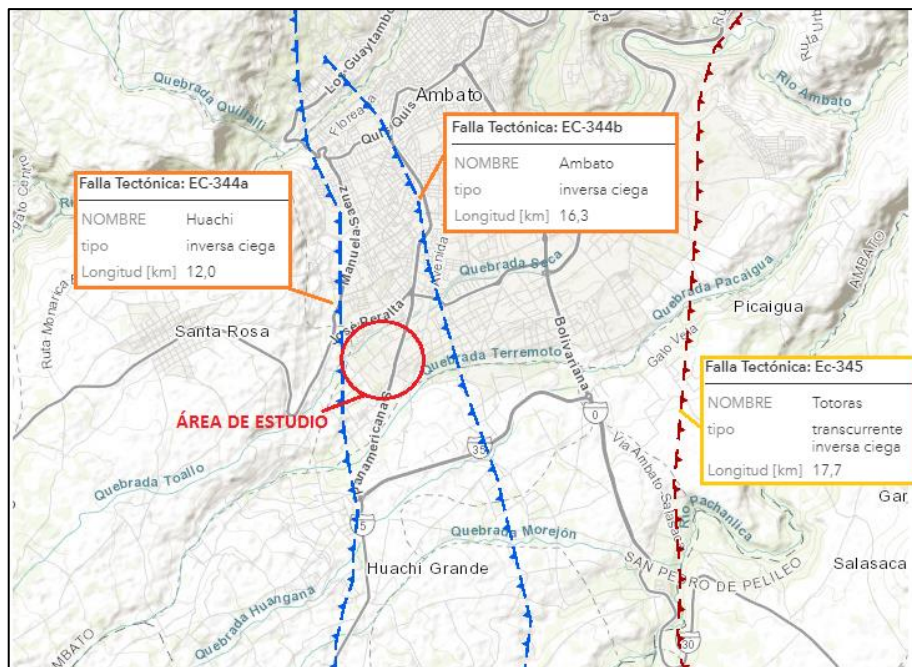


Figura 14. Fallas Geológicas cercanas al área de estudio

Fuente: IGEPN- Catálogo Homogenizado

A continuación, se observa el área de estudio que está limitada al Norte por las calles Juan Jaramillo y Gustavo L. Ramírez, al Sur por las calles Alfredo Pérez y Miguel de Santiago y Samaniego mientras que al Este está limitado por la Av. Atahualpa. Además se observa la ubicación de cada uno de los pozos para el ensayo SPT.

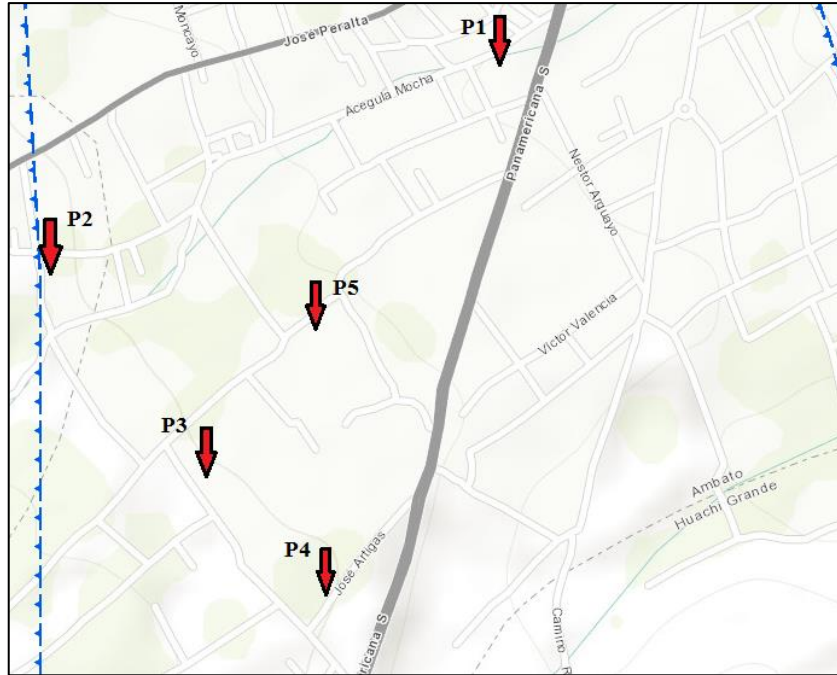


Figura 15. Pozos en estudio

Fuente: IGEPN- Catálogo Homogenizado

La ubicación y coordenadas de cada pozo en estudio se lo obtuvo mediante la utilización del software Google Earth y se detallan a continuación.

Tabla 2. Ubicación de cada pozo en estudio

Pozo	Dirección	X	Y	Elevación (m.s.n.m.)
P1	Juan Jaraillo – Polivio Chávez	763508.32 E	9858451.56 S	2763
P2	Gustavo Lemos – Alfredo Perez	762682.61 E	9858042.04 S	2806
P3	Miguel de Santiago – Calle S/N	763041.05 E	9857667.14 S	2802
P4	Anonio Salas- Miguel de Santiago	763244.20 E	9857435.00 S	2800
P5	Gabriel G. Mogorvejo- Atahualpa Villacrés	763197.25 E	9857957.39 S	2785

Fuente: Google Earth

A continuación, se detalla las fallas seleccionadas con su longitud respectiva además de la distancia medida perpendicularmente del punto hacia cada falla seleccionada:

Tabla 3. Fallas Geológicas respecto al área de estudio

Código	Nombre	Tipo	Longitud (km)	Distancia (km)
EC-223	Subducción	Inversa	1536.50	294.30
EC-344a	Huachi	Inversa ciega	12.00	0.54
EC-344b	Ambato	Inversa ciega	16.30	1.14
EC-345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	17.70	4.71
EC-54	Samanga	Inversa ciega	33.00	11.70

Fuente: IGEPN- Catálogo Homogenizado

4.1.2. Características del Suelo

Tabla 4. Clasificación de Suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS

Tipo	Sub-Tipos	Identificación		Símbolo de Grupo			
Suelos (partículas menores de 7,5 cm)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0,075 mm)	GRAVA Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ¹¹	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW	
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP	
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM	
				Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC	
			ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ¹¹	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
					Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
	ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.		Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	SM		
		Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla		Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC		

Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

A continuación, se determinará el tipo de suelo de acuerdo a su granulometría por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 5. Clasificación de Suelos- Pozo 1

PRIMER METRO				
Limpieza suelo vegetal				
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	3.80	1.18	98.82
N 10	2.000	3.00	0.93	99.07
N 40	0.420	39.60	12.32	87.68
N100	0.149	77.40	24.07	75.93
N200	0.074	87.40	27.19	72.81
PASA N200		110.40	34.34	
TOTAL		321.60		
TERCER METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	5.70	1.33	98.67
N 10	2.000	12.80	2.98	97.02
N 40	0.420	89.20	20.74	79.26
N100	0.149	100.20	23.30	76.70
N200	0.074	90.20	20.98	79.02
PASA N200		130.90	30.44	
TOTAL		429.00		
CUARTO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	33.00	6.57	93.43
N 10	2.000	22.30	4.44	95.56
N 40	0.420	90.00	17.91	82.09
N100	0.149	114.10	22.70	77.30
N200	0.074	106.90	21.27	78.73
PASA N200		135.70	27.00	
TOTAL		502.00		
QUINTO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	44.50	9.87	90.13
N 10	2.000	16.80	3.73	96.27
N 40	0.420	68.00	15.08	84.92

TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N100	0.149	90.50	20.07	79.93
N200	0.074	99.00	21.95	78.05
PASA N200		131.90	29.25	
TOTAL		450.70		

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla anterior se determina que las muestras es un suelo grueso debido a que más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 y también más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4 por lo tanto el suelo en estudio es arena.

Tabla 6. Clasificación de Suelos- Pozo 2

PRIMER METRO				
Limpieza suelo vegetal				
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	MM	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	0.80	0.18	99.82
N 10	2.000	11.90	2.62	97.38
N 40	0.420	95.20	20.96	79.04
N100	0.149	140.80	31.01	68.99
N200	0.074	85.60	18.85	81.15
PASA N200		117.60	25.90	
TOTAL		451.90		
TERCER METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	1.90	0.44	99.56
N 10	2.000	10.20	2.35	97.65
N 40	0.420	88.70	20.47	79.53
N100	0.149	127.80	29.49	70.51
N200	0.074	81.90	18.90	81.10
PASA N200		119.40	27.56	
TOTAL		429.90		
CUARTO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	1.00	0.29	99.71
N 10	2.000	5.60	1.62	98.38
N 40	0.420	63.40	18.36	81.64

TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N100	0.149	104.50	30.25	69.75
N200	0.074	67.70	19.60	80.40
PASA N200		102.80	29.76	
TOTAL		345.00		

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla anterior se determina que las muestras es un suelo grueso debido a que más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 y también más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4 por lo tanto el suelo en estudio es arena.

Tabla 7. Clasificación de Suelos- Pozo 3

PRIMER METRO				
-Relleno escombros -Cangagua				
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	10.50	3.71	96.29
N 10	2.000	8.50	3.00	97.00
N 40	0.420	36.50	12.90	87.10
N100	0.149	56.60	20.01	79.99
N200	0.074	70.60	24.96	75.04
PASA N200		97.30	34.39	
TOTAL		280.00		
TERCER METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	2.80	1.30	98.70
N 10	2.000	6.60	3.06	96.94
N 40	0.420	26.20	12.16	87.84
N100	0.149	40.30	18.70	81.30
N200	0.074	56.80	26.36	73.64
PASA N200		81.90	38.00	
TOTAL		214.60		
CUARTO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	8.20	4.07	95.93
N 10	2.000	5.60	2.78	97.22
N 40	0.420	28.30	14.06	85.94
N100	0.149	40.60	20.17	79.83

TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N200	0.074	51.30	25.48	74.52
PASA N200		66.30	32.94	
TOTAL		200.30		

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla anterior se determina que las muestras es un suelo grueso debido a que más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 y también más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4 por lo tanto el suelo en estudio es arena.

Tabla 8. Clasificación de Suelos- Pozo 4

PRIMER METRO				
-Relleno arenas -Cangagua				
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	16.20	5.10	94.90
N 10	2.000	8.80	2.77	97.23
N 40	0.420	47.40	14.93	85.07
N100	0.149	60.10	18.93	81.07
N200	0.074	73.80	23.24	76.76
PASA N200		110.30	34.74	
TOTAL		316.60		
TERCER METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	2.70	1.30	98.70
N 10	2.000	10.70	5.14	94.86
N 40	0.420	42.00	20.17	79.83
N100	0.149	40.70	19.55	80.45
N200	0.074	46.40	22.29	77.71
PASA N200		65.40	31.41	
TOTAL		207.90		

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla anterior se determina que las muestras es un suelo grueso debido a que más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 y también más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4 por lo tanto el suelo en estudio es arena.

Tabla 9. Clasificación de Suelos- Pozo 5

PRIMER METRO				
-Relleno escombros -Cngagua				
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	10.40	2.75	97.25
N 10	2.000	16.80	4.44	95.56
N 40	0.420	74.50	19.68	80.32
N100	0.149	86.60	22.87	77.13
N200	0.074	82.40	21.76	78.24
PASA N200		107.20	28.31	
TOTAL		377.90		
TERCER METRO				
TAMIZ	mm	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
N 4	4.760	8.70	1.91	98.09
N 10	2.000	24.30	5.33	94.67
N 40	0.420	172.10	37.75	62.25
N100	0.149	74.00	16.23	83.77
N200	0.074	66.20	14.52	85.48
PASA N200		109.70	24.06	
TOTAL		455.00		

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla anterior se determina que las muestras es un suelo grueso debido a que más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 y también más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4 por lo tanto el suelo en estudio es arena.

4.1.3. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Para este ensayo se lo realiza de acuerdo a lo especificado en la norma INEN 0689, donde detalla los pasos a seguir que son los siguientes:

- Una vez apoyado el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de 75 +/- 5 cm sobre la cabeza de golpe. [20]
- Para levantar el martinete se debe usar cabo de manila o similar, y el cabo no se debe enrollar más de dos vueltas en caso de ser accionado mecánicamente. [20]
- Debe cuidarse que la barra rígida de acero que sirve de guía esté completamente vertical con lo que se asegura que la energía de los golpes no disminuya por efectos de la fricción. [20]
- El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm y el número de golpes necesarios para esta primera parte solo es un valor relativo de orientación. [20]
- Se inicia el ensayo contando el número de golpes (N) necesarios para que penetre cada 15 cm, lo que determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. [20]
- Si sobrepasan los 50 golpes en un tramo determinado se debe anotar el número de golpes y la longitud de penetración del muestreador. [20]
- Con el fin de cortar la muestra en el fondo se deberá girar por lo menos dos revoluciones esto cuando esté hincado y justo antes de extraer el muestreador a la superficie. [20]
- La muestra se describirá correctamente de acuerdo a INEN 693, y luego cerrar herméticamente para el envío al laboratorio. [20]

4.1.4. Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico

Se tienen seis tipos de perfil de suelos los que se presentan a continuación:

Tabla 10. Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: Peligro Sísmico. NEC_SE_DS 2015

Donde:

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

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

4.1.5. Velocidad media de la onda de cortante Vs30

La mayoría de las normas, utilizan la velocidad de propagación de ondas de corte en los primeros treinta metros de suelos medidos desde la superficie (Vs30) como un índice para caracterizar la amplificación sísmica del suelo y con ello clasificar sitios con distinta demanda sísmica. [21]

La velocidad media de la onda de cortante se calcula con la siguiente fórmula correspondiente a Kayabali (1996) que se realizó para suelos granulares:

$$V_s = 175 + (3.75 * N)$$

Donde:

N: Número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Se obtendrá los valores de V_{s30} de acuerdo a los ensayos SPT realizados en cada punto de estudio debiendo ser para suelo tipo **C**, 360 m/s <V_s< 760 m/s y para suelo tipo **D**, 180 m/s <V_s< 360 m/s.

4.1.6. Ensayos SPT en cada pozo de estudio

Tabla 11. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 1

PROFUNDIDAD EN METROS	Número de golpes c/15 cm		NSPT (Total)	V _{S30} (m/s) Parcial	V _{S30} (m/s) promedio parcial	V _{S30} (m/s) Promedio P1
0-1	15 cm		Suelo vegetal			
	30 cm					
	45 cm					
	15 cm		Suelo vegetal			
	30 cm					
	45 cm					
1-2	15 cm	5	19	246.25	236.875	
	30 cm	11				
	45 cm	8				
	15 cm	8	14	227.5		
	30 cm	6				
	45 cm	8				
2-3	15 cm	11	31	291.25	326.875	
	30 cm	14				
	45 cm	17				
	15 cm	27	50	362.5		
	30 cm	22				
	45 cm	28				
3-4	15 cm	19	46	347.5	385.00	
	30 cm	22				
	45 cm	24				
	15 cm	26	66	422.5		
	30 cm	31				
	45 cm	35				
4-5	15 cm	30	61	403.75	424.375	
	30 cm	31				
	45 cm	30				
	15 cm	31	72	445		
	30 cm	36				
	45 cm	36				

Elaborado por: Joaquín Vega

Tabla 12. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 2

PROFUNDIDAD EN METROS	Número de golpes c/15 cm		NSPT (Total)	V_{S30} (m/s) Parcial	V_{S30} (m/s) promedio parcial	V_{S30} (m/s) Promedio P2
0-1	15 cm		Suelo vegetal			408.125
	30 cm					
	45 cm					
	15 cm		Suelo vegetal			
	30 cm					
	45 cm					
1-2	15 cm	13	32	295	332.5	
	30 cm	15				
	45 cm	17				
	15 cm	23	52	370		
	30 cm	25				
	45 cm	27				
2-3	15 cm	19	70	437.5	439.375	
	30 cm	35				
	45 cm	35				
	15 cm	35	71	441.25		
	30 cm	35				
	45 cm	36				
3-4	15 cm	22	67	426.25	452.5	
	30 cm	32				
	45 cm	35				
	15 cm	40	81	478.75		
	30 cm	41				
	45 cm	40				

Elaborado por: Joaquín Vega

Tabla 13. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 3

PROFUNDIDAD EN METROS	Número de golpes c/15 cm		NSPT (Total)	V_{S30} (m/s) Parcial	V_{S30} (m/s) promedio parcial	V_{S30} (m/s) Promedio P3
0-1	15 cm		Relleno escombros			406.875
	30 cm					
	45 cm					
	15 cm		Cangagua			
	30 cm					
	45 cm					
1-2	15 cm	14	41	328.75	375.625	
	30 cm	15				
	45 cm	26				
	15 cm	30	66	422.5		
	30 cm	32				
	45 cm	34				
2-3	15 cm	10	31	291.25	371.875	
	30 cm	12				
	45 cm	19				
	15 cm	26	74	452.5		
	30 cm	36				
	45 cm	38				
3-4	15 cm	32	76	460	473.125	
	30 cm	36				
	45 cm	40				
	15 cm	40	83	486.25		
	30 cm	41				
	45 cm	42				

Elaborado por: Joaquín Vega

Tabla 14. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 4

PROFUNDIDAD EN METROS	Número de golpes c/15 cm		NSPT (Total)	V _{S30} (m/s) Parcial	V _{S30} (m/s) promedio parcial	V _{S30} (m/s) Promedio P4
0-1	15 cm		Relleno arena			441.25
	30 cm					
	45 cm					
	15 cm		Cangagua			
	30 cm					
	45 cm					
1-2	15 cm	15	63	411.25	443.125	
	30 cm	26				
	45 cm	37				
	15 cm	37	80	475		
	30 cm	39				
	45 cm	41				
2-3	15 cm	22	64	415	439.375	
	30 cm	32				
	45 cm	32				
	15 cm	33	77	463.75		
	30 cm	37				
	45 cm	40				

Elaborado por: Joaquín Vega

Tabla 15. Ensayo de Penetración Estándar- Pozo 5

PROFUNDIDAD EN METROS	Número de golpes c/15 cm		NSPT (Total)	V _{S30} (m/s) Parcial	V _{S30} (m/s) promedio parcial	V _{S30} (m/s) Promedio P5
0-1	15 cm		Relleno escombros			381.25
	30 cm					
	45 cm					
	15 cm		Cangagua			
	30 cm					
	45 cm					
1-2	15 cm	7	29	283.75	341.875	
	30 cm	12				
	45 cm	17				
	15 cm	22	60	400		
	30 cm	29				
	45 cm	31				
2-3	15 cm	18	51	366.25	420.625	
	30 cm	23				

	45 cm	28				
	15 cm	37	80	475		
	30 cm	39				
	45 cm	41				

Elaborado por: Joaquín Vega

Tabla 16. Valores Vs30

Punto	V_{s30} (m/s) Promedio en cada punto	V_{s30} (m/s) Promedio Total	Tipo de perfil
1	343.28	396.16	C
2	408.13		
3	406.88		
4	441.25		
5	381.25		

Elaborado por: Joaquín Vega

En los ensayos realizados que se resumen en los cuadros presentados anteriormente se sumó los dos últimos valores de cada tramo obteniendo así un nuevo valor y con esos valores se calculó el Vs₃₀, además se calculó un Vs30 que es el promedio parcial por cada estrato que en lo posterior es un factor necesario para el Vs30 que es el promedio total que se usará en los siguientes cálculos.

Con la utilización de la tabla de “Clasificación de los perfiles de suelo” de la NEC-2015 se determina el tipo de perfil que se tiene de acuerdo al Vs30 dando como resultado un suelo tipo **C** ya que $720 \text{ m/s} > V_s > 360 \text{ m/s}$, con esto se confirma el tipo de perfil de acuerdo al número de golpes y a la velocidad de onda de corte.

4.1.7. Ecuaciones de atenuación para cortical intraplaca

Para sismos de tipo corticales superficiales cuya profundidad es menor o igual a 30 km.

4.1.7.1. Modelo Boore y Atkinson (2008)

Estas ecuaciones son una actualización de los GMPE que fueron publicados por Boore y sus colegas en 1997. Los datos de sismos para el desarrollo de los GMPE en este estudio fue la base de datos compilada en el proyecto PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) NGA en 2008. [22]

Estas ecuaciones de predicción están en función de magnitud de momento (M), distancia de la fuente al sitio (R_{JB}), y la velocidad de onda de cortante (V_{S30}) y tipo de falla. [22]

Esta ecuación es aplicable para $M = 5 - 8M_w$, $R_{JB} < 200$ km, $V_{S30} = 180 - 1300$ m/s

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

Donde:

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

M : Magnitud de momento

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

V_{S30} : Velocidad media de la onda de cortante (m/s)

Las funciones de distancia y magnitud:

La función de distancia está dada por:

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

Dónde:

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

(4.1)

c_1, c_2, c_3 y h : Son coeficientes de escala de distancia (Ver Anexo B-2).

La magnitud de referencia, $M_{ref} = 4.5$ es un valor arbitrario. Esta es la magnitud aproximada de gran parte de los datos utilizados para determinar los coeficientes fijos. La distancia de referencia, $R_{ref} = 1$ km esto es conveniente porque las curvas que describen la dependencia de la distancia giran alrededor de $R = R_{ref}$. [22]

La escala de magnitud viene dada de acuerdo a las siguientes condiciones:

a) $M \leq M_h$

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

b) $M > M_h$

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

Donde U, SS, NS y RS son variables para indicar el tipo de falla no especificada, transcurrente, normal e inverso toman los valores de acuerdo a la Tabla 17. M_h representa la forma de escala de magnitud, este coeficiente se debe establecer durante el análisis. [22]

Tabla 17. Valores de variables para los diferentes tipos de fallas

Tipo de falla	U	SS	NS	RS
No especificado	1	0	0	0
Transcurrente	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Inverso	0	0	0	1

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

Categorías:

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

Función de amplificación del sitio:

La ecuación de amplificación del sitio está dada por:

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (4.4)$$

Donde F_{LIN} y F_{NL} son términos lineales y no lineales respectivamente. [22]

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref}) \quad (4.5)$$

Donde b_{lin} es un coeficiente dependiente del periodo, y V_{ref} es la velocidad de referencia especificada igual a 760 m/s. Estos coeficientes fueron prescritos de manera empírica según el trabajo de Choi y Stewart 2005.

El término no lineal está dado por:

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

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

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

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

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

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

Donde a_1 (=0.03 g) y a_2 (=0.09 g) para amplificación lineal y no lineal respectivamente, pga_{low} =0.06 g es una variable aplicada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales, pga_{4nl} es la predicción de PGA en g para V_{ref} = 760 m/s dado por la ecuación principal con $F_s=0$ y $\varepsilon = 0$

Las tres ecuaciones para la porción no lineal de la respuesta del suelo (Ecuación 4.6 – 4.8) son necesarios por dos razones:

- Para evitar que la amplificación no lineal aumente indefinidamente a medida que pga_{4nl} disminuye
- Para suavizar la transición del comportamiento lineal al no lineal.

Los coeficientes c y d de la ecuación 4.7 está dada por:

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

y

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

Donde:

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

y

$$\Delta y = b_{nl} \ln\left(\frac{a_2}{p_{ga_low}}\right) \quad (4.12)$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos periodos, se calcula de acuerdo a las siguientes condiciones y V_{S30} viene dado por:

a) $V_{S30} \leq V_1$

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

b) $V_1 < V_{S30} \leq V_2$

$$b_{nl} = (b_1 + b_2) \ln(V_{S30}/V_2)/\ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (4.14)$$

c) $V_2 < V_{S30} \leq V_{ref}$

$$b_{nl} = (b_1 + b_2) \ln(V_{S30}/V_2)/\ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (4.15)$$

d) $V_{ref} \leq V_{S30}$

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

Donde $V_1 = 180 \text{ m/s}$, $V_2 = 300 \text{ m/s}$, y b_1 y b_2 son dependientes del periodo (Véase en Anexo B-1). [22]

4.1.7.2. Modelo Akkar y Bommer (2010)

Presenta una actualización que corrige las ecuaciones de Akkar y Bommer (2007) y presentan un nuevo GMPE, estas ecuaciones predicen los desplazamientos espectrales (SD); y una ecuación también fue derivada para la aceleración máxima de suelo (PGA). [23]

Limitaciones del modelo:

Magnitudes de $5 - 7.6 M_w$

Distancia < 100 km

Ecuación Akkar y Bommer:

$$\log(\text{PSA}) = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log\sqrt{R_{jb}^2 + b_6^2} + b_7S_S + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma$$

Donde:

PSA está en cm/s^2 .

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, \sigma_1, \sigma_2$ = Coeficientes para la predicción de Pseudoaceleración espectral. (Ver Anexo C-1)

M = Magnitud de Momento

R_{jb} = Distancia perpendicular a la proyección vertical en la superficie (Tabla 3)

Además, se toman los siguientes valores para las variables SS y SA de acuerdo al V_{S30} :

- Suelo blando: $SS=1; SA=0; V_{S30} < 360\text{m/s}$
- Suelo rígido: $SS=0; SA=1; V_{S30} < 360\text{m/s}$
- Roca: $SS=0; SA=0; V_{S30} > 750\text{m/s}$

Para las variables FN y FR se toman de acuerdo al tipo de falla como se indica a continuación:

- 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 que se da por la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados. Los valores de σ_1 y σ_2 se muestran en el Anexo C-1 : [23]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (4.17)$$

4.1.7.3. Modelo Kanno (2006)

En este estudio, se establece una base de datos de registros de movimientos fuertes en Japón desde el año 1963 hasta 2003 para identificar una nueva relación de atenuación estándar para Japón, tanto para la aceleración de respuesta como para el valor pico. [24]

En este estudio, el modelo sólo tiene tres variables: magnitud del sismo, distancia más corta al plano de falla sísmica y profundidad focal. [24]

Se tienen dos ecuaciones donde una es para eventos superficiales y la otra para eventos profundos:

Si $D \leq 30$ Km

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

Si $D > 30$ Km

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

Para este estudio se utilizará la primera ecuación debido a que tenemos un evento superficial.

Dónde:

- **pre**= PGA en cm/s^2
- **D** = Profundidad focal (Km)
- **$a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2$ y $\varepsilon_1, \varepsilon_2$** son coeficientes de regresión que se muestran el Anexo D-1.
- **e_1** = 0,5 para todos los períodos
- **X** = Distancia de origen

Para terremotos poco profundos, se utiliza un esquema de ponderación adoptado por Midorikawa y Ohtake (2003), donde considera:

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

4.1.8. Ecuaciones de atenuación para subducción

4.1.8.1. Modelo de Youngs (1997)

El artículo presenta relaciones de atenuación para los sismos de la zona de subducción, se tiene dos tipos de sismos, interplaca e intraplaca. [25]

Estas ecuaciones deben usarse para magnitudes M_w mayor a 5 y profundidades focales esté entre 10 y 229 km. [25]

$$\ln y = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 * \ln(R + 1.097e^{0.617*M}) + 0.00648H + 0.3643Z_t$$

Donde:

y= aceleración espectral en g

M= Magnitud de momento

R= Distancia en km desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio

H= Profundidad focal (50 km)

Z_t = Tipo de fuente, 0 para interplaca, 1 para intraplaca

C_1, C_2, C_3 = Coeficientes de las relaciones de atenuación para la aceleración espectral horizontal (5% de amortiguación) para terremotos de subducción. (Ver Anexo E-1)

Categorías:

- Para suelo profundo $Z_{ds} = 1$; $Z_r = 0$; $Z_{ss} = 0$; profundidad hasta lecho rocoso es mayor de 20m.

- Para suelo poco profundo $Z_{ds} = 0$; $Z_r = 0$; $Z_{ss} = 1$; profundidad hasta la roca madre es menor de 20m.

4.1.8.2. Modelo Zhao (2006)

En el estudio se presenta un modelo de atenuación espectral de aceleración para Japón. El conjunto de datos incluye un gran número de fuertes movimientos sísmicos principal y réplicas hasta el 2003 de Tokach. Se utilizan términos de tipo de sitio, en lugar de términos de corrección de sitios individuales. [26]

De una manera determinista, los ingenieros también utilizan modelos de atenuación para estimar las fuerzas y/o desplazamientos inducidos en estructuras de ingeniería. [26]

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

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

Dónde:

Y= PGA (cm/s^2) o 5% de espectro de respuesta de aceleración amortiguada para un período espectral T.

a, b, c, d, e= Términos obtenidos del análisis de regresión (Ver Anexo F-1)

Ck= Término de clase de sitio para un tipo de suelo determinado. (Ver Anexo F-3)

r= Factor de modificación de distancia simple

Mw= Magnitud de Momento

x= Distancia a la fuente (km)

h= Profundidad focal (km)

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

Cuando $h > hc$ el término de la profundidad $(h-hc)$ toma efecto con δh que es una variable ficticia, por lo tanto $\delta h = 0$ cuando $h < hc$ y $\delta h = 1$ cuando $h \geq hc$.

Los valores para las variables en un período de 0 segundos son los siguientes: $S_R= 0.251$; $S_I= 0.0$; $S_S= 2.607$; $S_{SL}= -0.528$. Los valores para cada período se observan en el Anexo F-1.

Profundidades focales:

Evento cortical: $h = 0 - 25$ km

Eventos interplaca: $h = 10 - 50$ km

Evento intraplaca: $h = 15 - 162$ km

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

- El parámetro inverso **FR** se aplica solo a eventos corticales con un mecanismo de fallas inversas y 0 para todos los demás eventos.
- El parámetro tipo tectónico **SI** se aplica a eventos de tipo interplaca y 0 para los demás eventos.
- **SS** se aplica solo a eventos de subducción y 0 para los demás eventos.
- **SSL** es un término de modificación de trayectoria independiente de magnitud para los eventos intraplaca.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1. Magnitud de las fallas

De acuerdo a la ecuación propuesta por Wells y Coppersmith en la Tabla 1, se obtuvo los siguientes resultados:

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

Donde:

a,b: Coeficientes (De acuerdo al tipo de falla)

SRL: Longitud de rotura superficial (km)

Tabla 18. Magnitud para cada falla

NOMBRE	TIPO	a	b	SRL (Km)	Mw
Subducción	Inversa	5.00	1.22	1536.50	8.89
Huachi	Inversa ciega			12.00	6.32
Ambato	Inversa ciega			16.30	6.48
Totoras	Transcurrente inversa ciega			17.70	6.52
Samanga	Inversa ciega			33.00	6.85

Elaborado por: Joaquín Vega

4.2.2. Cálculo de Espectros según cada modelo

Un espectro de respuesta puede estar basado por las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociados con el sitio de localización de la estructura. Se utiliza para representar los efectos dinámicos del sismo. [4]

En esta investigación se comparará los espectros específicos de acuerdo a cada modelo descritos anteriormente con el espectro propuesto por la NEC-2015.

4.2.2.1. Espectros según el Modelo Boore y Atkinson 2008

En la siguiente figura se observa el espectro calculado mediante este método para las fallas intraplaca (cortical).

Tabla 19. Datos para el Modelo Boore y Atkinson

Datos:	Falla de Huachi	Falla de Ambato	Falla de Totoras	Falla de Samanga
R _{jb} (< 200 km)	0.54	1.14	4.71	11.7
M _w (5- 8)	6.32	6.48	6.52	6.85
R _{ref}	1			
M _{ref}	4.5			
V _{ref}	760			
V _{s30} (180- 1300 m/s)	396.16			
Coeficientes para el cálculo se presentan en el ANEXO B				

Elaborado por: Joaquín Vega

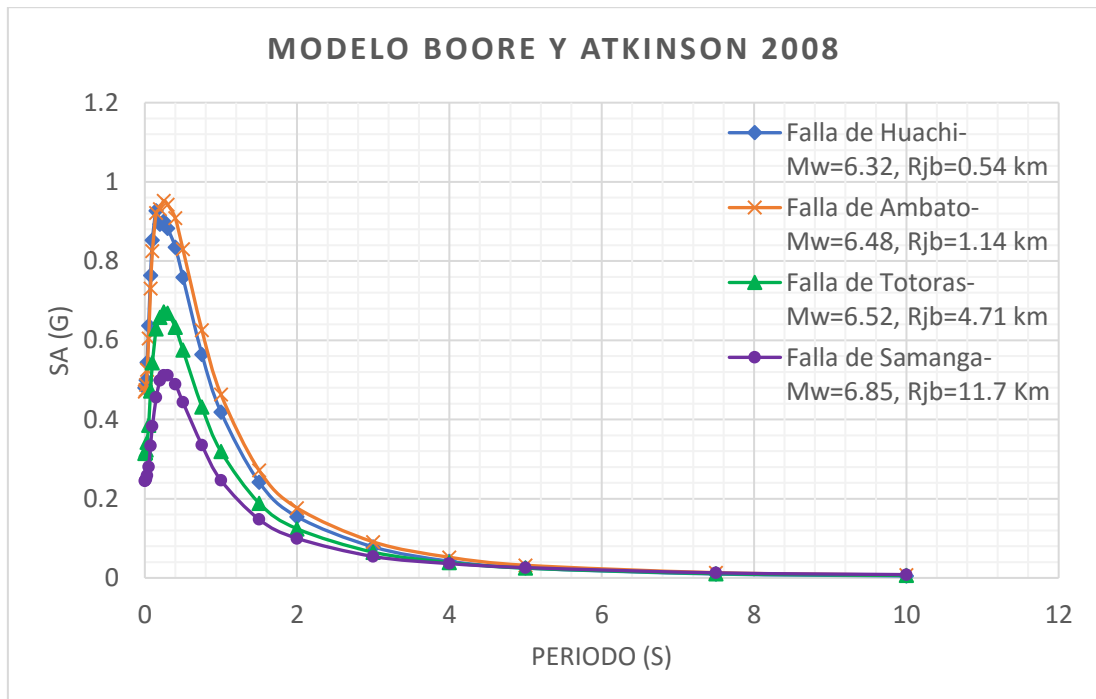


Figura 16. Espectro de aceleración- Modelo Boore y Atkinson (2008).

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se puede decir que los espectros que presentan el pico más alto de respuesta en aceleración es la falla de Ambato con 0.95 g en un período de 0.25 segundos y la falla de Huachi con una aceleración de 0.93 g en un período de 0.15 segundos, mientras que la que

la falla de Samanga presenta la menor aceleración con 0.51 g en un período de 0.25 segundos. En conclusión, de acuerdo al gráfico las fallas que están cercanas al área de estudio son las que producen mayor aceleración.

4.2.2.2. Espectros según el Modelo Akkar y Bommer 2010

En la figura se presenta el espectro calculado mediante el modelo propuesto por Akkar y Bommer:

Tabla 20. Datos para el Modelo de Akkar y Bommer

Datos:	Falla de Huachi	Falla de Ambato	Falla de Totoras	Falla de Samanga
Rjb (< 100 km)	0.54	1.14	4.71	11.7
Mw (5- 7.6)	6.32	6.48	6.52	6.85
Tipo de falla (Inversa)	FN=0, FR=1			
Tipo de suelo (Rígido)	SS=0, SA=1			
V _{s30} (m/s)	396.16			
Coeficientes para el cálculo se presentan en el ANEXO C				

Elaborado por: Joaquín Vega

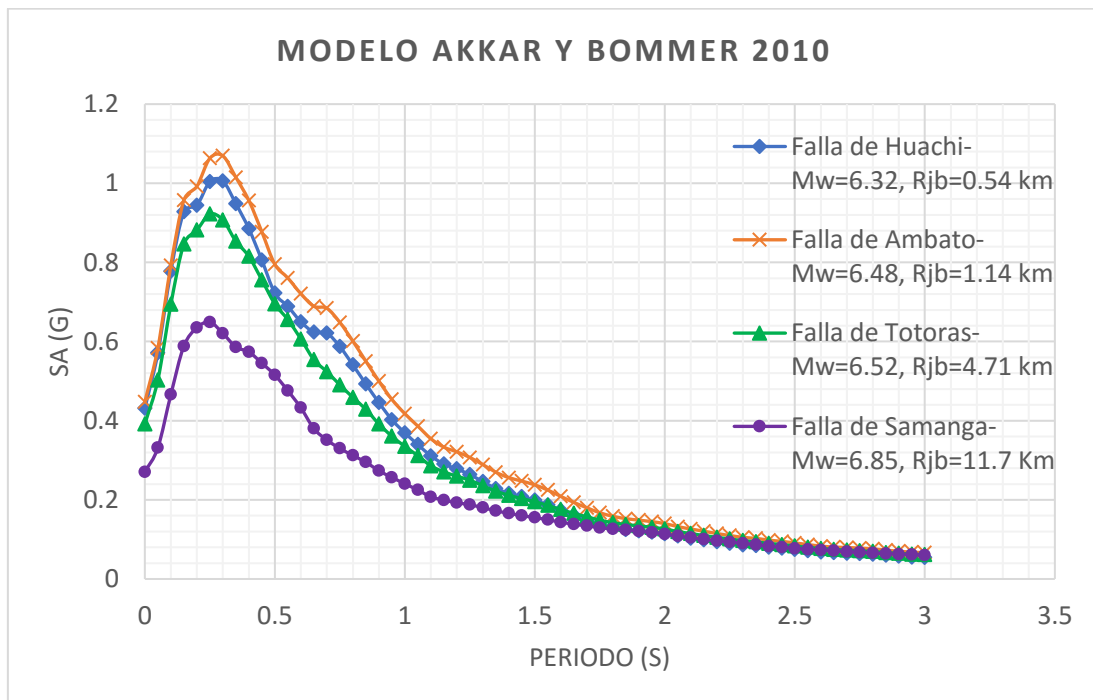


Figura 17. Espectro de aceleración- Modelo Akkar y Bommer 2010

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se puede decir que los espectros que presentan el pico más alto de respuesta en aceleración es la falla de Ambato con 1.07 g en un período de 0.3 segundos y la falla de Huachi con una aceleración de 1.0 g en un período de 0.3 segundos, mientras que la que la falla de Samanga presenta la menor aceleración con 0.65 g en un período de 0.25 segundos.

4.2.2.3. Espectros según el Modelo Kanno 2006

El espectro de acuerdo a este modelo se presenta en el siguiente gráfico

Tabla 21. Datos para el Modelo de Kanno

Datos:	Falla de Huachi	Falla de Ambato	Falla de Totoras	Falla de Samanga
Rjb	0.54	1.14	4.71	11.7
Mw (> 5.5)	6.32	6.48	6.52	6.85
X (< 25 km)	6.0			
D (km)	15			
e1	0.50			
V _{s30} (m/s)	396.16			
Coeficientes para el cálculo se presentan en el ANEXO D				

Elaborado por: Joaquín Vega

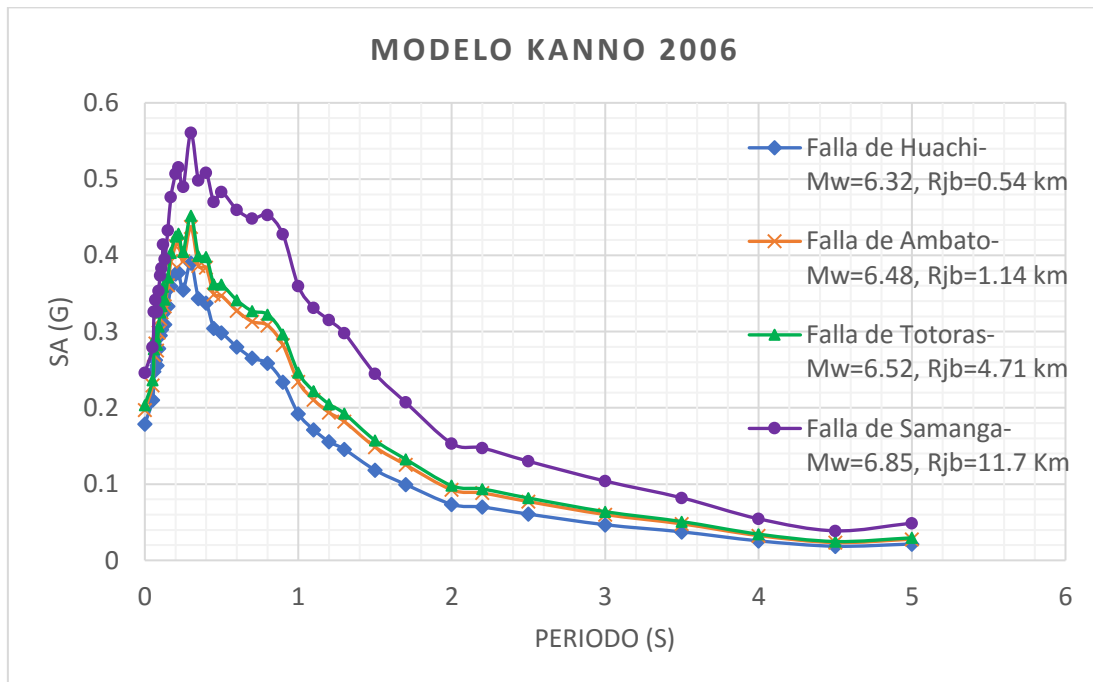


Figura 18. Espectro de aceleración- Modelo Kanno 2006

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se puede decir que los espectros que presentan el pico más alto de respuesta en aceleración es la falla de Samanga con 0.56 g en un período de 0.3 segundos, mientras que la que la falla de Huachi presenta la menor aceleración con 0.39 g en un período de 0.3 segundos.

4.2.2.4. Espectros según el Modelo Youngs 1997

De acuerdo a este modelo el espectro de aceleración para subducción se observa en la siguiente figura.

Tabla 22. Datos para el Modelo de Youngs

Datos:	Falla de Subducción
Rjb	294.3
Mw	8.89
H	50
Interplaca	0
Coeficientes para el cálculo se presentan en el ANEXO E	

Elaborado por: Joaquín Vega

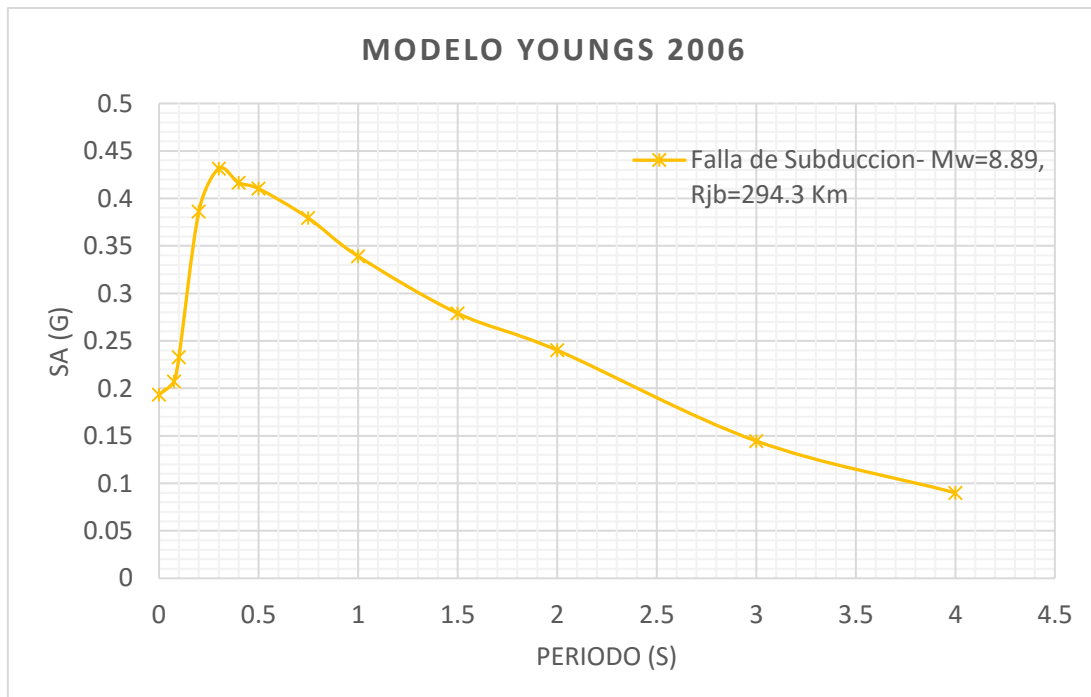


Figura 19. Espectro de aceleración- Modelo Youngs 2006

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se puede decir que el espectro presenta el pico más alto de respuesta en aceleración en 0.43 g en un período de 0.3 segundos. En posteriores gráficos se realizará una comparación y análisis correspondiente.

4.2.2.5. Espectros según el Modelo Zhao 2006

De acuerdo a este modelo el espectro de aceleración para subducción se observa en la siguiente figura.

Tabla 23. Datos para el Modelo de Zhao

Datos:	Falla de Subducción
Mw	8.89
X distancia (Km)	294.3
H	50
hc	0
Tipo de evento	
Interplaca	IN
Inversa	R
Tipo de suelo	C2 (Suelo duro)
Coeficientes para el cálculo se presentan en el ANEXO F	

Elaborado por: Joaquín Vega

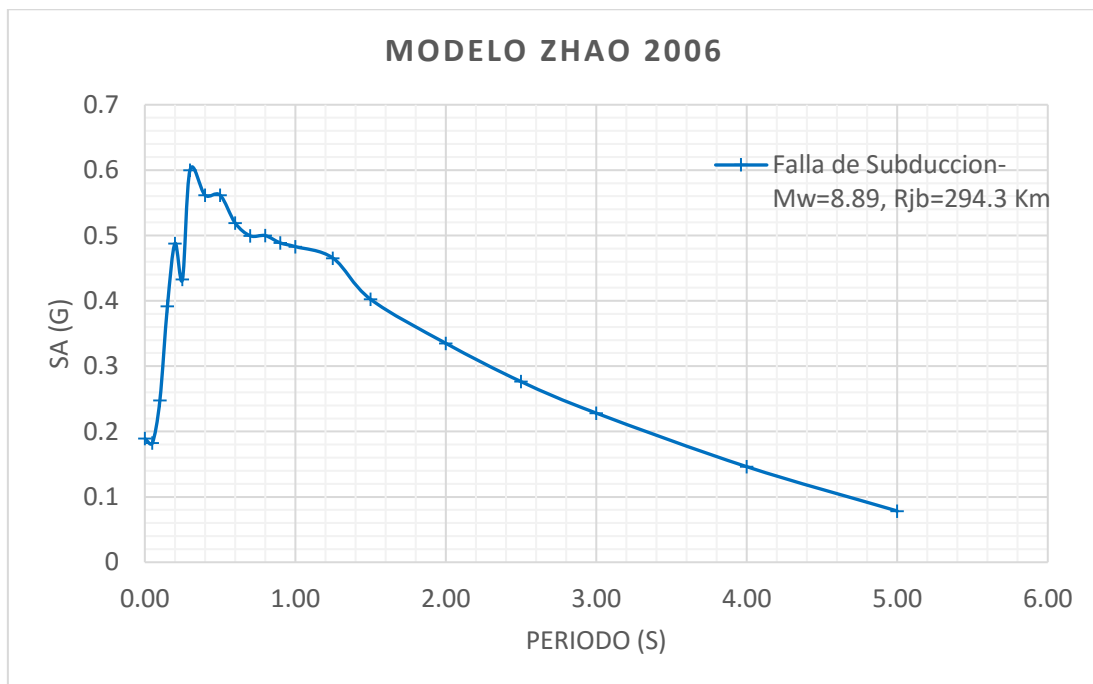


Figura 20. Espectro de aceleración- Modelo Zhao 2006

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se puede decir que el espectro presenta el pico más alto de respuesta en aceleración en 0.60 g en un período de 0.3 segundos. En posteriores gráficos se realizará una comparación y análisis correspondiente.

A continuación se realiza una tabla de resumen de cada uno de los modelos:

Tabla 24. Valores de aceleración máximas y sus porcentajes

MODELO BOORE Y ATKINSON				
Fallas	Aceleración máxima (g)	Período (s)	VARIACIÓN % DE ACELERCIÓN	
Huachi	0.93	0.2	Modelos	%
Ambato	0.96	0.4	Ambato- Huachi	3.12
Totoras	0.67	0.3	Ambato- Totoras	30.21
Samanga	0.48	0.3	Ambato-Samanga	50.0
MODELO AKKAR Y BOMMER				
Fallas	Aceleración máxima (g)	Período (s)	VARIACIÓN % DE ACELERCIÓN	
Huachi	1.00	0.3	Modelos	%
Ambato	1.07	0.3	Ambato- Huachi	6.54
Totoras	0.92	0.25	Ambato- Totoras	14.02
Samanga	0.65	0.25	Ambato-Samanga	39.25
MODELO KANNO				
Fallas	Aceleración máxima (g)	Período (s)	VARIACIÓN % DE ACELERCIÓN	
Huachi	0.39	0.3	Modelos	%
Ambato	0.44	0.3	Samanga- Ambato	21.43
Totoras	0.45	0.3	Samanga- Totoras	19.64
Samanga	0.56	0.3	Samanga- Huachi	30.36
MODELO YOUNGS				
Fallas	Aceleración máxima (g)		Período (s)	
Subducción	0.43		0.25	
MODELO ZHAO				
Fallas	Aceleración máxima (g)		Período (s)	
Subducción	0.60		0.30	

Elaborado por: Joaquín Vega

En la tabla se puede observar que 9 de 14 aceleraciones máximas obtenidas ocurren en un período de 0.3 segundos las cuales representan un 64.29%, mientras que los 3 valores restantes ocurren en un período de 0.25 segundos que representa el 21.43% y finalmente los 2 períodos restantes tienen un período de 0.2 y 0.4 segundos que representan el 7.14% cada una.

4.2.3. Espectros con los modelos para cada una de las fallas

Se presentan los diferentes tipos de modelos para el cálculo del espectro para cada una de las fallas.

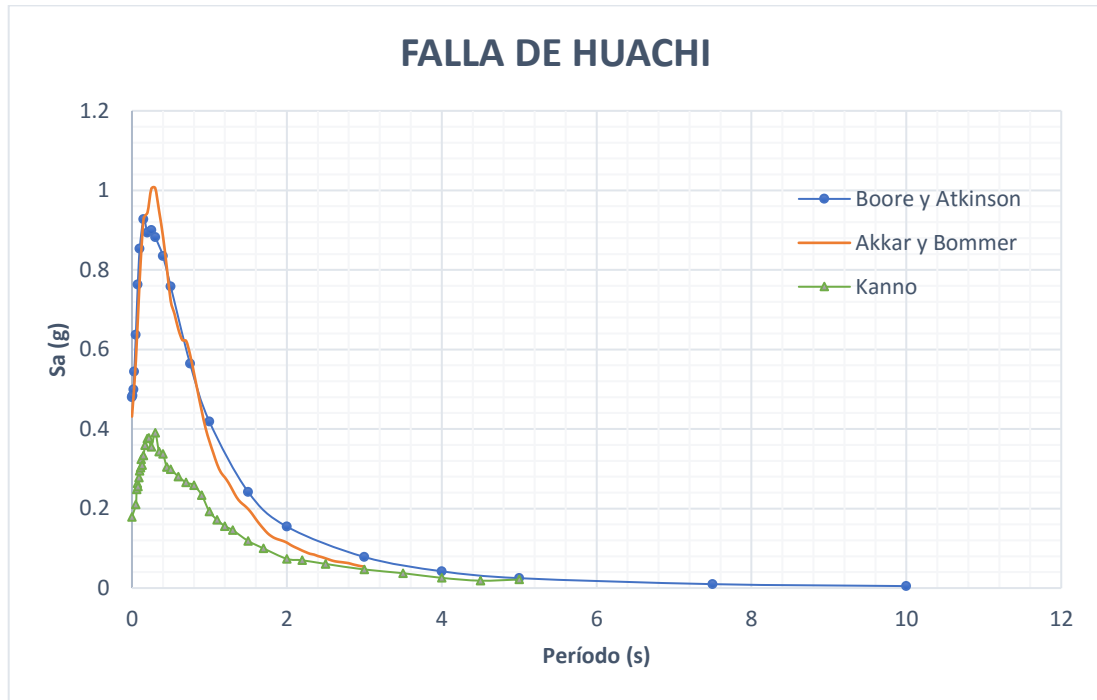


Figura 21. Espectros de aceleración para la Falla de Huachi

Elaborado por: Joaquín Vega

Se realiza un cuadro de comparación entre el pico más alto de los espectros respecto a los demás espectros que se resumen a continuación:

Tabla 25. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Huachi

Modelo	Akkar y Bommer	Boore y Atkinson	Kanno	Valoración entre:	
				Akkar y B. vs. Boore y A.	Akkar y B. vs. Kanno
Picos más altos en aceleración (g)	1.00	0.93	0.39	0.07	0.61
DIFERENCIA PORCENTUAL					
Akkar y B. vs. Boore y A.				7.00 %	
Akkar y B. vs. Kanno				61.00 %	

Elaborado por: Joaquín Vega

En el cuadro anterior se observa que el modelo de Akkar y Bommer es el espectro de mayor aceleración con un valor de 1.00 g. seguidamente del modelo de Boore y Atkinson con una

ligera diferencia del 7% respecto al pico más alto mientras que el modelo de Kanno tiene una diferencia del 61.0% respecto al pico máximo. Además, se puede observar que la aceleración disminuye mientras aumenta el período.

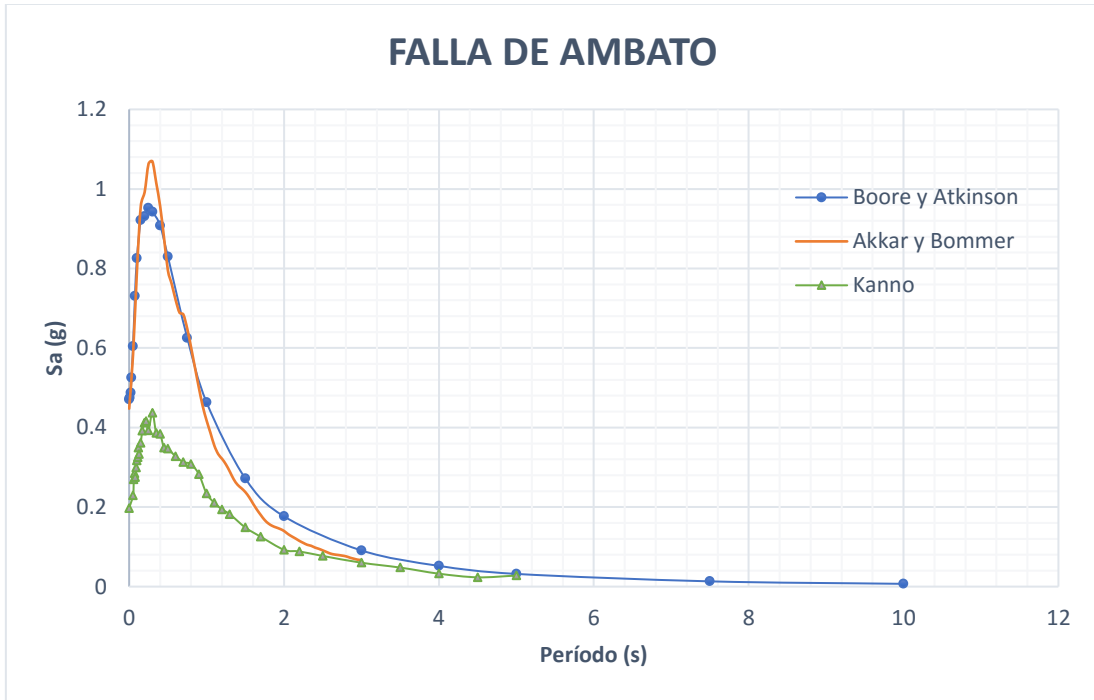


Figura 22. Espectros de aceleración para la Falla de Ambato

Elaborado por: Joaquín Vega

Se realiza un cuadro de comparación entre el pico más alto de los espectros respecto a los demás espectros que se resumen a continuación:

Tabla 26. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Ambato

Modelo	Akkar y Bommer	Boore y Atkinson	Kanno	Valoración entre:	
				Akkar y B. vs. Boore y A.	Akkar y B. vs. Kanno
Picos más altos en aceleración (g)	1.07	0.96	0.44	0.11	0.63
DIFERENCIA PORCENTUAL					
Akkar y B. vs. Boore y A.				10.28 %	
Akkar y B. vs. Kanno				58.88 %	

Elaborado por: Joaquín Vega

En el cuadro anterior se observa que el modelo de Akkar y Bommer es el espectro de mayor respuesta con un valor de 1.07 g. seguidamente del modelo de Boore y Atkinson con una diferencia del 10.28 % respecto al pico más alto mientras que el modelo de Kanno tiene una diferencia del 58.88% respecto al pico máximo.

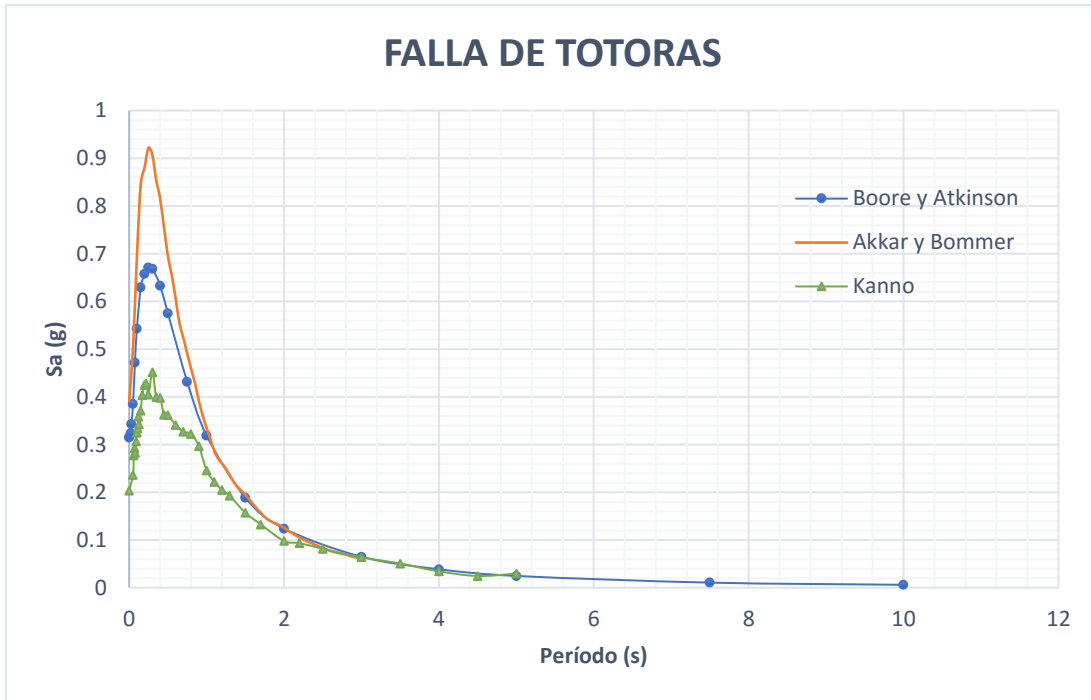


Figura 23. Espectros de aceleración para la Falla de Totoras

Elaborado por: Joaquín Vega

Se realiza un cuadro de comparación entre el pico más alto de los espectros respecto a los demás espectros que se resumen a continuación:

Tabla 27. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Totoras

Modelo	Akkar y Bommer	Boore y Atkinson	Kanno	Valoración entre:	
				Akkar y B. vs. Boore y A.	Akkar y B. vs. Kanno
Picos más altos en aceleración (g)	0.92	0.69	0.45	0.25	0.47
DIFERENCIA PORCENTUAL					
Akkar y B. vs. Boore y A.				27.17 %	
Akkar y B. vs. Kanno				51.09 %	

Elaborado por: Joaquín Vega

En el cuadro anterior se observa que el modelo de Akkar y Bommer es el espectro de mayor respuesta cuyo valor máximo alcanza a 0.92 g. seguidamente del modelo de Boore y Atkinson con una diferencia correspondiente al 27.17% respecto al valor máximo obtenido en esta falla mientras que el modelo de Kanno se aleja mayormente del pico más alto con un 51.09% de diferencia.

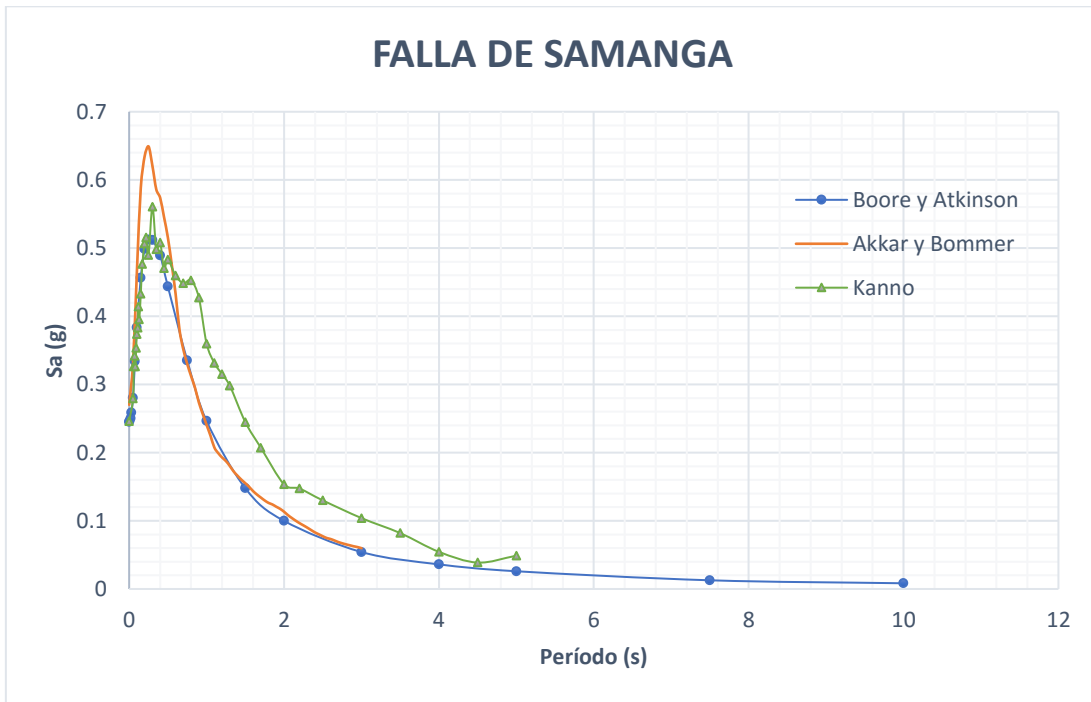


Figura 24. Espectros de aceleración para la Falla de Samanga

Elaborado por: Joaquín Vega

Se realiza un cuadro de comparación entre el pico más alto de los espectros respecto a los demás espectros que se resumen a continuación:

Tabla 28. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Samanga

Modelo	Akkar y Bommer	Boore y Atkinson	Kanno	Valoración entre:	
				Akkar y B. vs. Kanno.	Akkar y B. vs. Boore y A.
Picos más altos en aceleración (g)	0.65	0.48	0.56	0.09	0.17
DIFERENCIA PORCENTUAL					
Akkar y B. vs. Boore y A.				26.15 %	
Akkar y B. vs. Kanno				13.85 %	

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla anterior se puede decir que el modelo de Akkar y Bommer es el espectro de mayor respuesta cuyo máximo valor alcanza a 0.65 g., seguidamente del modelo de Kanno con una diferencia de 13.85% respecto al pico máximo mientras que el modelo de Boore y Atkinson es más distante con un 26.15% de diferencia.

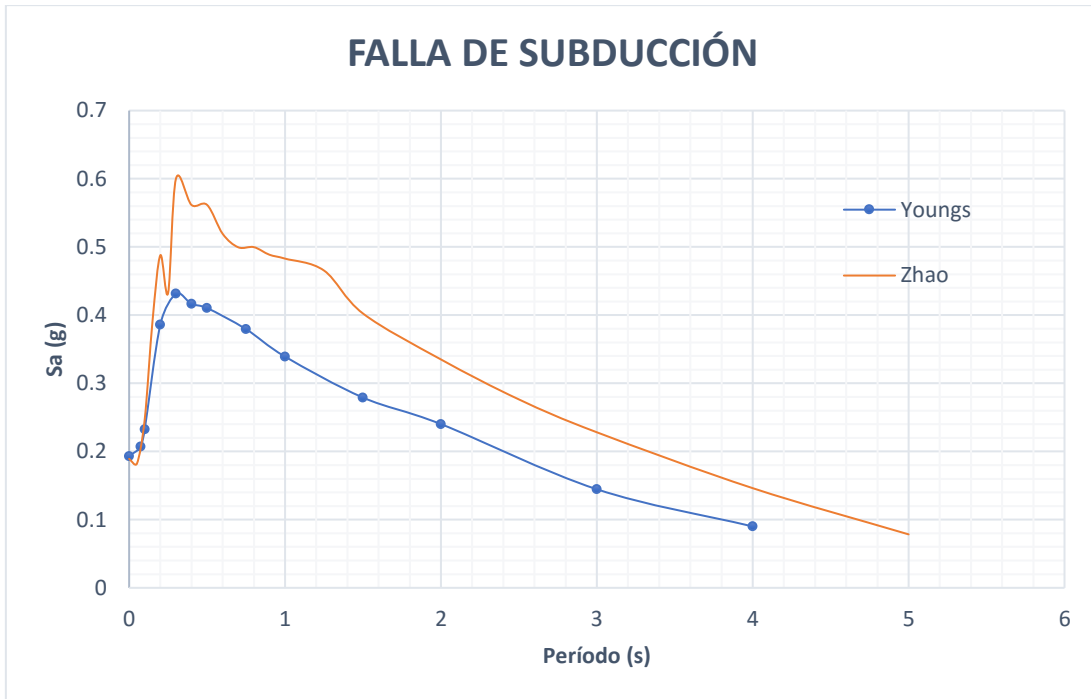


Figura 25. Espectros de aceleración para la Falla de Subducción

Elaborado por: Joaquín Vega

Se realiza un cuadro de comparación entre el pico más alto de los espectros respecto a los demás espectros que se resumen a continuación:

Tabla 29. Diferencia de aceleración respecto al pico máximo en la Falla de Subducción

Modelo	Zhao	Youngs	Valoración entre:
			Zhao vs. Youngs
Picos más altos en aceleración (g)	0.60	0.43	0.17
DIFERENCIA PORCENTUAL			
Zhao vs. Youngs			28.33 %

Elaborado por: Joaquín Vega

Del cuadro anterior se puede decir que el modelo de Zhao es el espectro de mayor respuesta con una aceleración que alcanza a 0.17 g, seguidamente del modelo de Youngs con una diferencia de 28.33 % respecto al pico máximo del gráfico.

A continuación, se presenta un resumen de las aceleraciones máximas obtenidas de acuerdo a cada tipo de falla.

Tabla 30. Valores de aceleraciones máximas y su variación porcentual

Falla	Modelo	Aceleración máxima (g)	Período (s)	VARIACIÓN % DE ACELERCIÓN			
				Akkar y B. vs. Boore y A.	Akkar y B. vs. Kanno	Boore y A. vs. Kanno	
HUACHI	Boore y Atkinson	0.93	0.2	7.0%	61.0%	58.06%	
	Akkar y Bommer	1.00	0.3				
	Kanno	0.39	0.3				
AMBATO	Boore y Atkinson	0.96	0.4	10.28%	58.88%	45.88%	
	Akkar y Bommer	1.07	0.3				
	Kanno	0.44	0.3				
TOTORAS	Boore y Atkinson	0.67	0.3	27.17%	51.09%	32.84%	
	Akkar y Bommer	0.92	0.25				
	Kanno	0.45	0.3				
SAMANGA	Boore y Atkinson	0.48	0.3	26.15%	13.85%	14.29%	
	Akkar y Bommer	0.65	0.25				
	Kanno	0.56	0.3				
FALLA DE SUBDUCCIÓN							
SUBDUCCIÓN	Modelo	Aceleración máxima (g)	Período (s)	VARIACIÓN % DE ACELERCIÓN			
					Zhao vs. Youngs		
	Youngs	0.43	0.25	28.33%			
Zhao	0.60	0.3					

Elaborado por: Joaquín Vega

En la tabla se puede observar que 9 de 14 aceleraciones máximas obtenidas ocurren en un período de 0.3 segundos las cuales representan un 64.29%, mientras que los 3 valores restantes ocurren en un período de 0.25 segundos que representa el 21.43% y finalmente los 2 períodos restantes tienen un período de 0.2 y 0.4 segundos que representan el 7.14% cada una.

4.2.4. Espectro de la NEC-15 vs Espectros propuestos para cada falla

Se realiza la comparación para cada tipo de falla con el espectro general propuesto por la NEC-2015, obteniendo los siguientes gráficos:

Tabla 31. Valores del espectro según la NEC-2015

ESPECTRO ELÁSTICO			
T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)
0	0.4800	2.6	0.2539
0.1	1.1845	2.7	0.2445
0.2	1.1904	2.8	0.2358
0.3	1.1904	2.9	0.2276
0.4	1.1904	3	0.2201
0.5	1.1904	3.1	0.2130
0.6	1.1003	3.2	0.2063
0.7	0.9431	3.3	0.2001
0.8	0.8252	3.4	0.1942
0.9	0.7335	3.5	0.1886
1	0.6602	3.6	0.1834
1.1	0.6002	3.7	0.1784
1.2	0.5501	3.8	0.1737
1.3	0.5078	3.9	0.1693
1.4	0.4716	4	0.1650
1.5	0.4401	4.1	0.1610
1.6	0.4126	4.2	0.1572
1.7	0.3883	4.3	0.1535
1.8	0.3668	4.4	0.1500
1.9	0.3475	4.5	0.1467
2	0.3301	4.6	0.1435
2.1	0.3144	4.7	0.1405
2.2	0.3001	4.8	0.1375
2.3	0.2870	4.9	0.1347
2.4	0.2751	5	0.1320
2.5	0.2641		

Elaborado por: Joaquín Vega

A continuación, se grafica el espectro de acuerdo a los datos obtenidos en la tabla anterior.

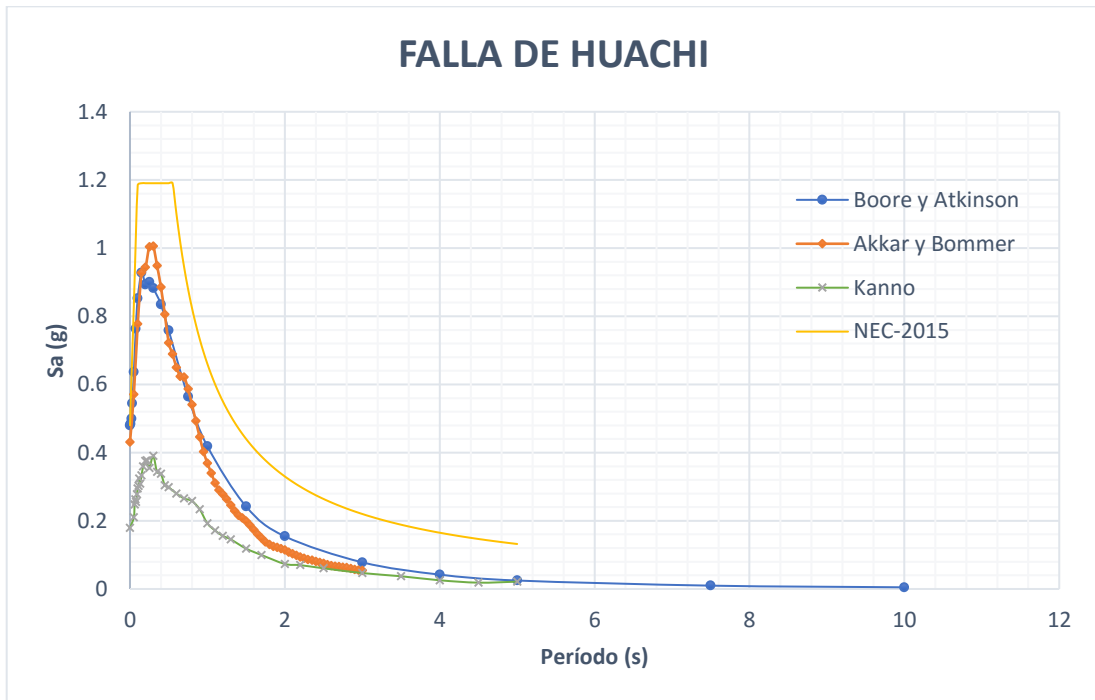


Figura 26. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Huachi

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se concluye que el espectro de la NEC-2015 tiene una aceleración de 1.19 g superando así con un 15.97 % al espectro según el modelo de Akkar y Bommer.

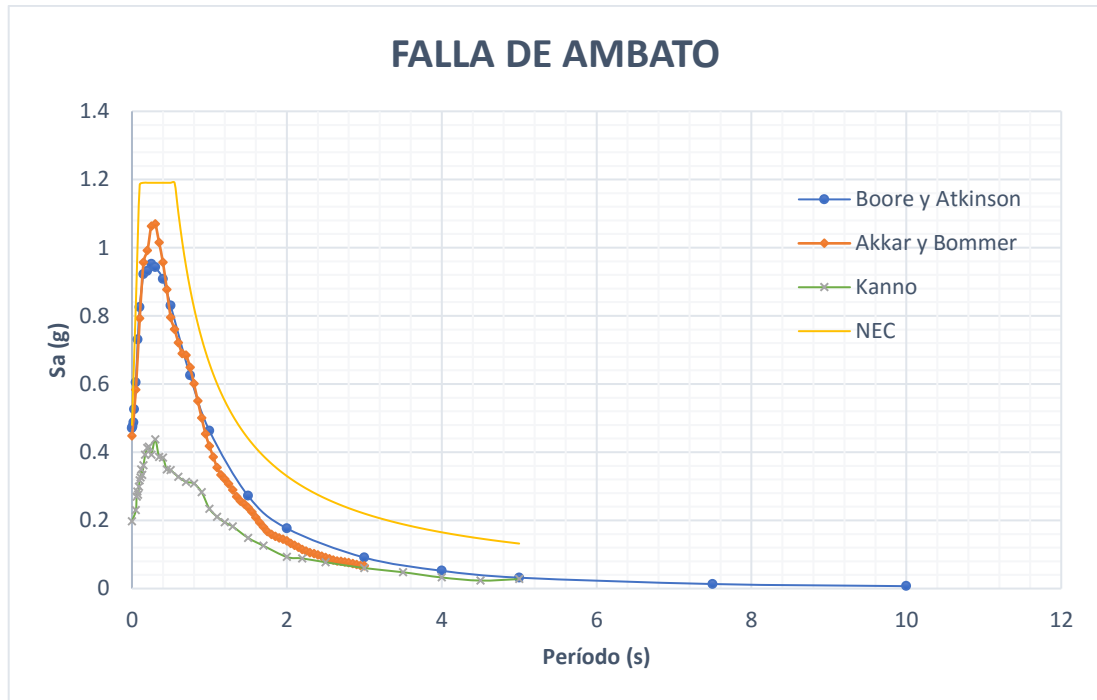


Figura 27. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Ambato

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se concluye que el espectro de la NEC-2015 tiene una aceleración de 1.19 g superando así con un 10.08 % al espectro siguiente que corresponde al modelo de Akkar y Bommer.

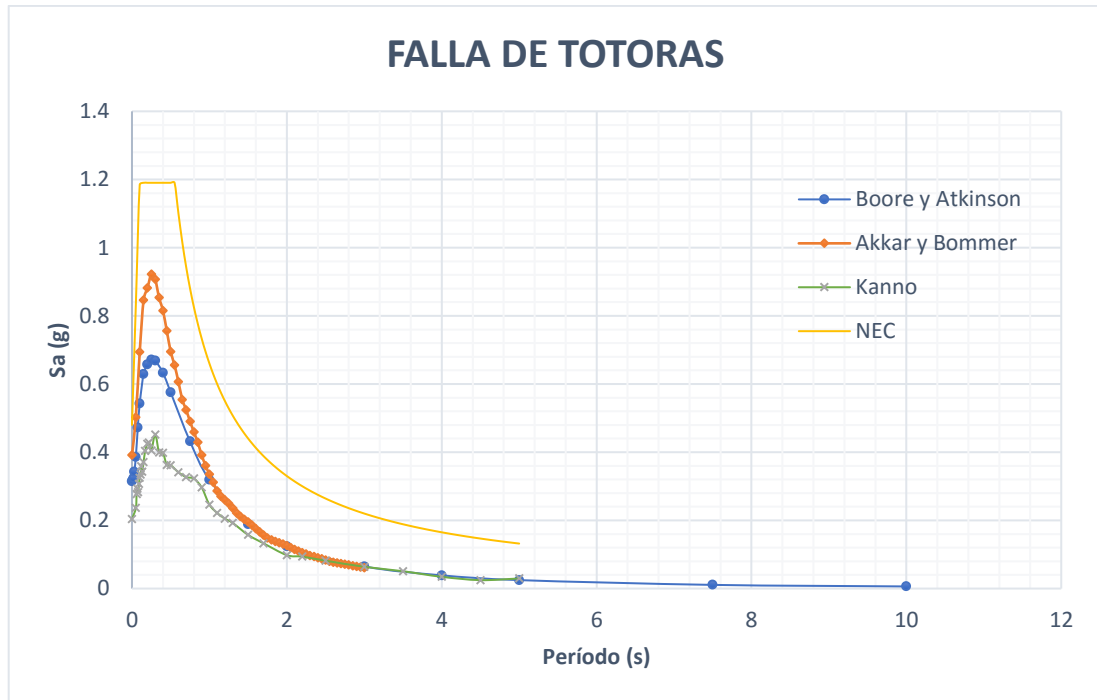


Figura 28. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Totoras

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se concluye que el espectro de la NEC-2015 tiene una aceleración de 1.19 g superando así con un 22.69 % al espectro siguiente que corresponde al modelo de Akkar y Bommer.

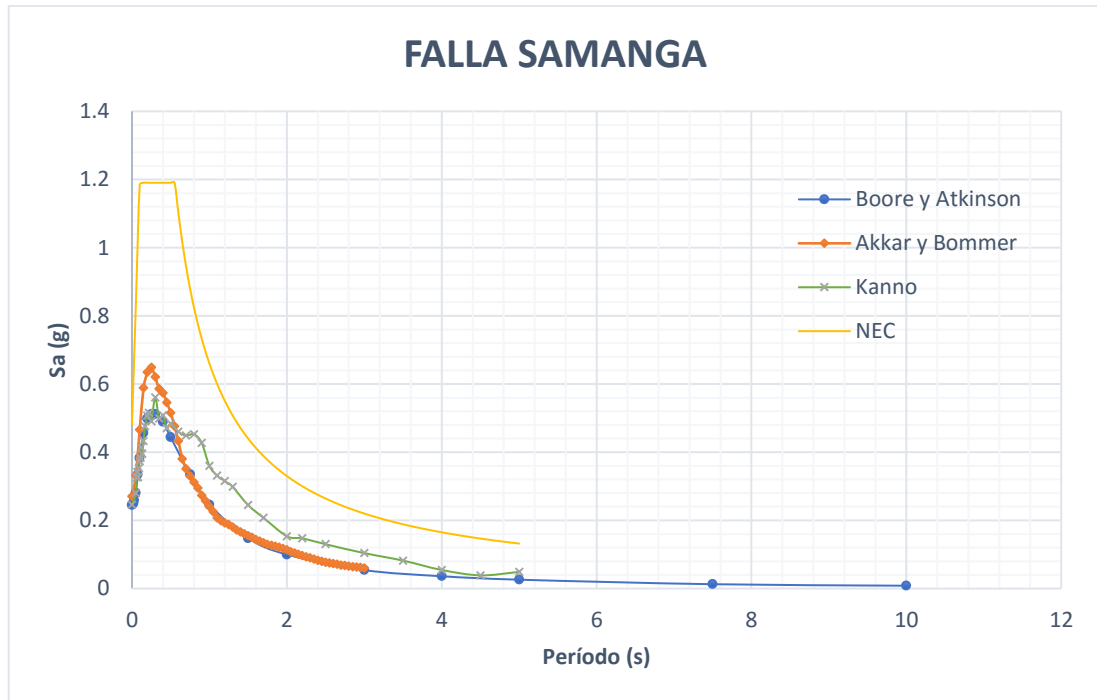


Figura 29. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Samanga

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se concluye que el espectro de la NEC-2015 tiene una aceleración de 1.19 g superando así con un 47.06 % al espectro siguiente que corresponde al modelo de Akkar y Bommer.

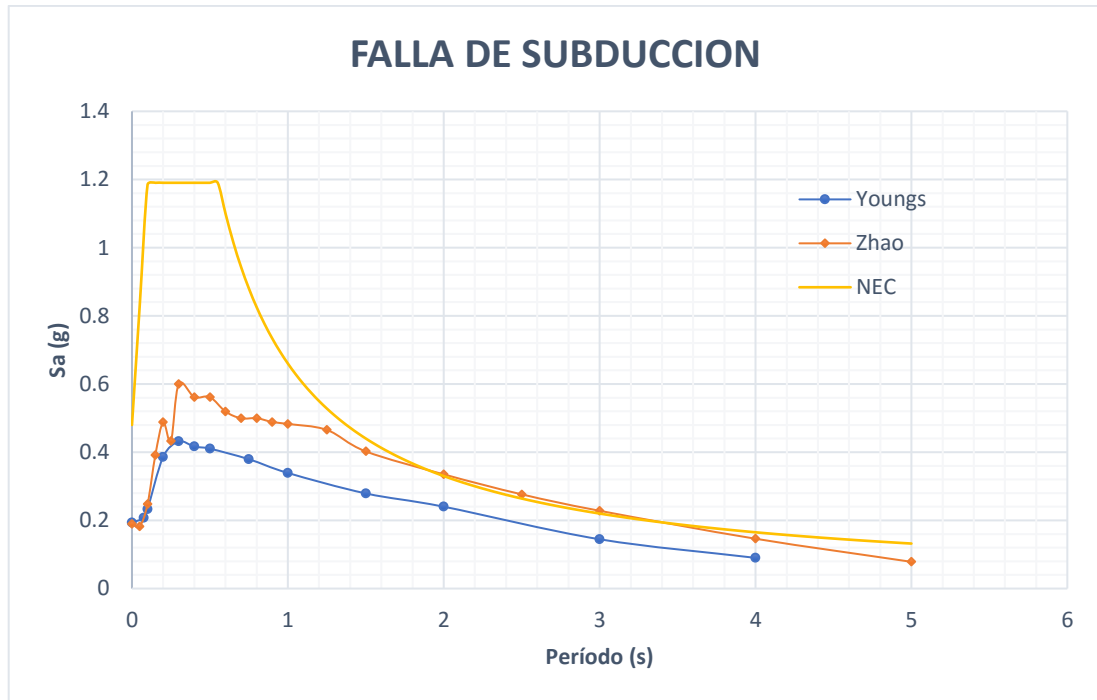


Figura 30. Espectro de aceleración según la NEC-2015 vs Modelos propuestos para la falla de Subducción

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se concluye que el espectro de la NEC-2015 tiene una aceleración de 1.19 g superando así con un 49.58 % al espectro siguiente que corresponde al modelo de Zhao y con una diferencia de 63.87% respecto al modelo de Youngs.

4.2.5. Espectro de la NEC-2015 vs Espectros de todos los modelos

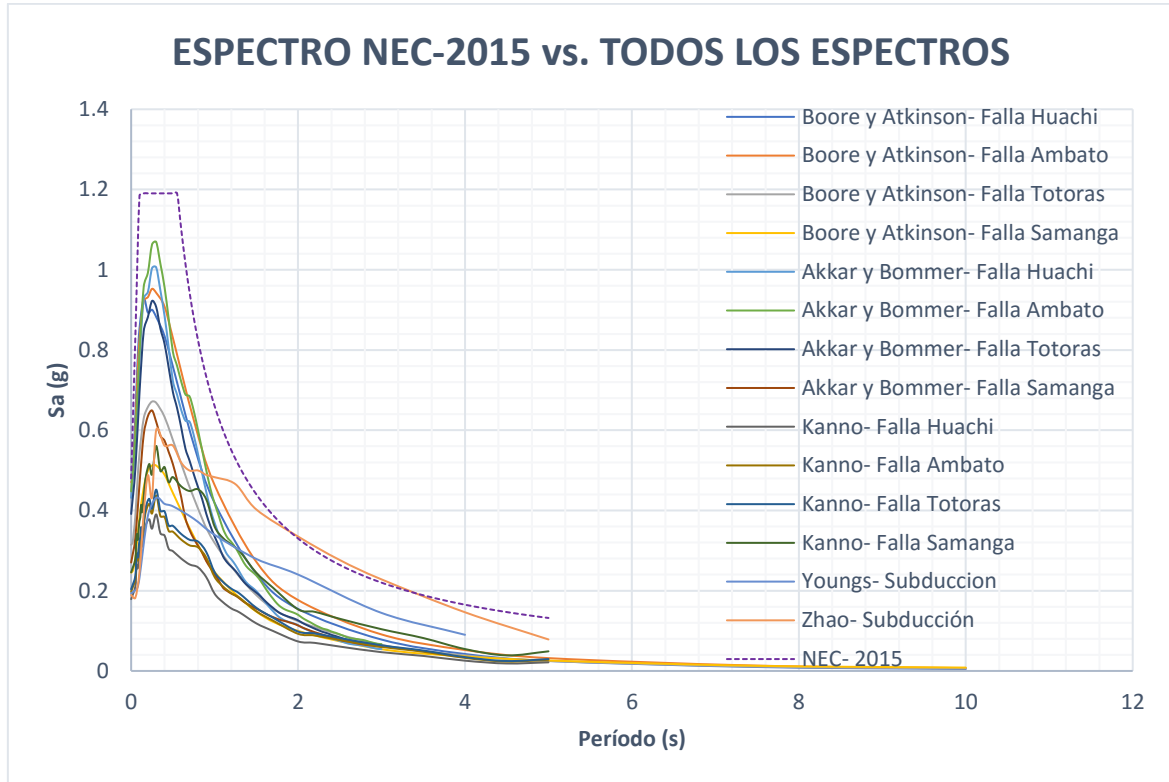


Figura 31. Espectro de la NEC-2015 comparado con todos los espectros

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se observa que el espectro calculado de acuerdo a la NEC-2015 supera a cada uno de los espectros propuestos además se observa que mientras el período aumenta la aceleración disminuye desde el pico máximo de cada espectro de manera rápida llegando así hasta una aceleración mínima. La meseta del espectro propuesto de acuerdo a la norma está en un período entre 0.2 a 0.5 por lo que las estructuras de 2 a 5 pisos serían las más vulnerables.

4.2.6. Espectro crítico vs. Espectro según la NEC-2015

Para generar el espectro crítico se seleccionaron los puntos críticos en aceleración con su respectivo período de cada modelo propuesto obteniendo así la siguiente tabla.

Tabla 32. Coordenadas para el espectro crítico

T(s)	Sa (g)
0	0.48004003
0.01	0.4841621
0.02	0.4995072
0.03	0.54438652
0.05	0.63682625
0.075	0.7635303
0.1	0.85303264
0.15	0.95692671
0.2	0.99184751
0.25	1.06292953
0.3	1.06920501
0.35	1.01497779
0.4	0.95650179
0.45	0.8772989
0.5	0.82995217
0.55	0.7606224
0.6	0.72091607
0.65	0.68912158
0.7	0.68413927
0.75	0.64841765
0.8	0.60101249
0.85	0.55033436
0.9	0.50017007
1	0.48292632
1.5	0.40234608
2	0.33499969
2.5	0.27638239
3	0.22818489
4	0.1462051
5	0.07841629

Elaborado por: Joaquín Vega

A continuación, se presenta el gráfico resultante para el espectro crítico y comprado con el espectro según la NEC-2015.

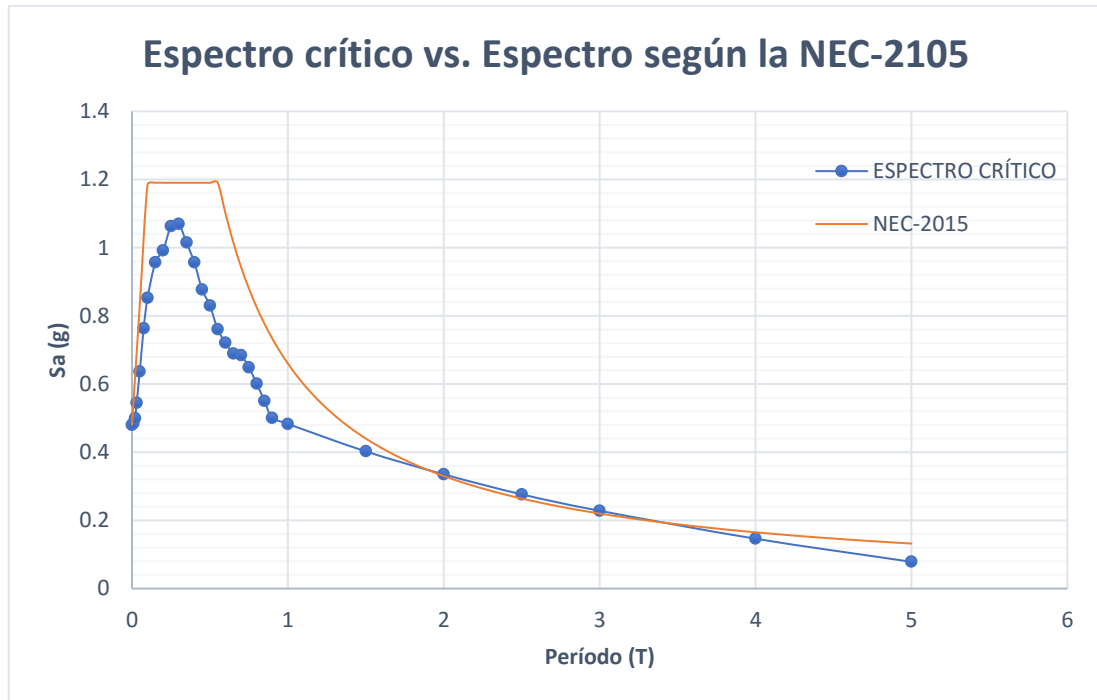


Figura 32. Espectro crítico comparado con la NEC-2015

Elaborado por: Joaquín Vega

De la figura se puede concluir que el espectro de la NEC-2015 es superior al espectro crítico con un 10.1%, como ya se esperaba de acuerdo a los análisis anteriores y que mientras el período aumenta la aceleración disminuye hasta llegar a una aceleración mínima que no provocaría daño estructural.

4.3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ESTRUCTURAS TIPO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

4.3.1. Estructuras Tipo

Se muestra una estructura tipo de tres plantas la misma que está ubicado dentro del área de estudio. Es una estructura que es usada como una vivienda unifamiliar.

Se observa que la construcción es de hormigón armado con un sistema de pórticos. A continuación, se muestra una planta tipo.

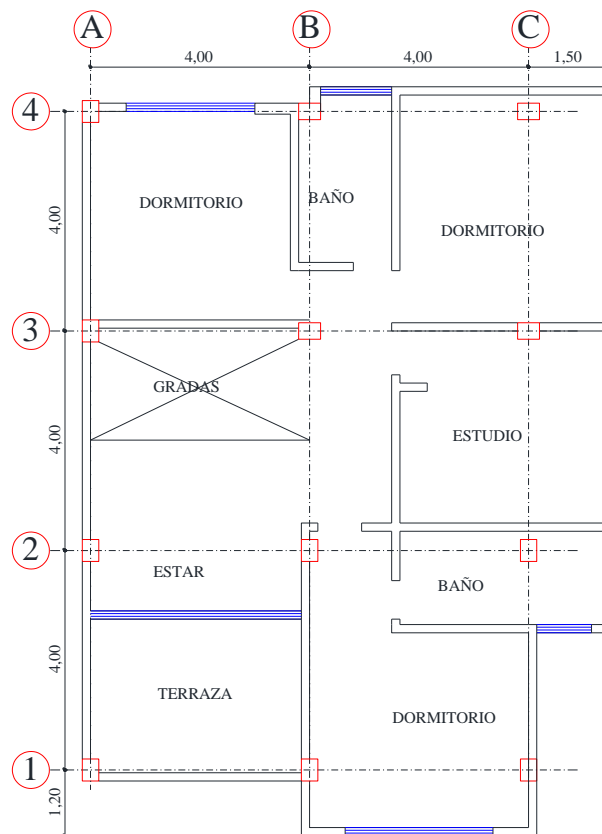


Figura 33. Planta tipo de la estructura de tres pisos

Elaborado por: Joaquín Vega

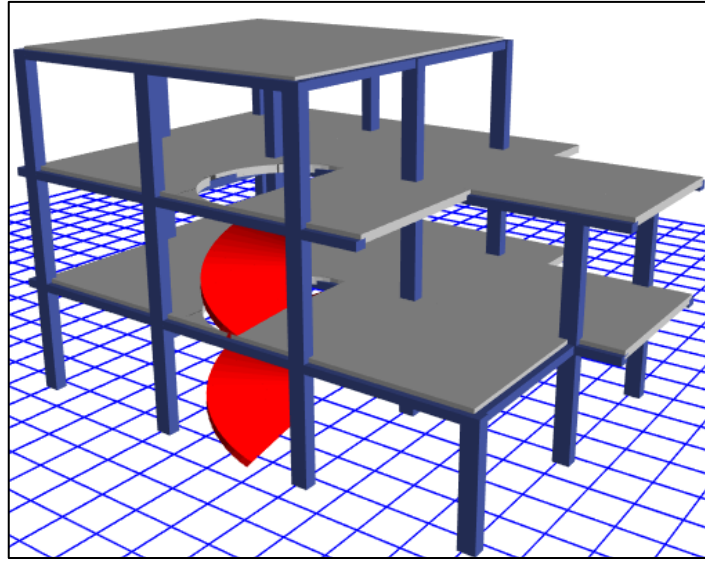


Figura 34. Vista en elevación del modelado en Etabs 2016 de la estructura de tres pisos

Elaborado por: Joaquín Vega

A continuación, se muestra la configuración de la estructura de dos plantas:

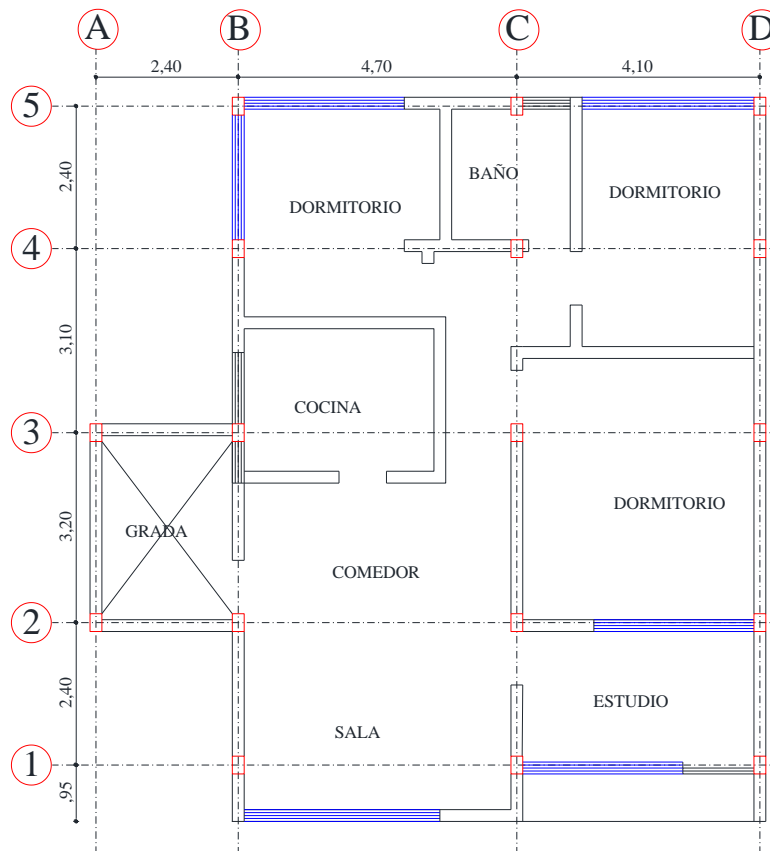


Figura 35. Planta tipo de la estructura de dos pisos

Elaborado por: Joaquín Vega

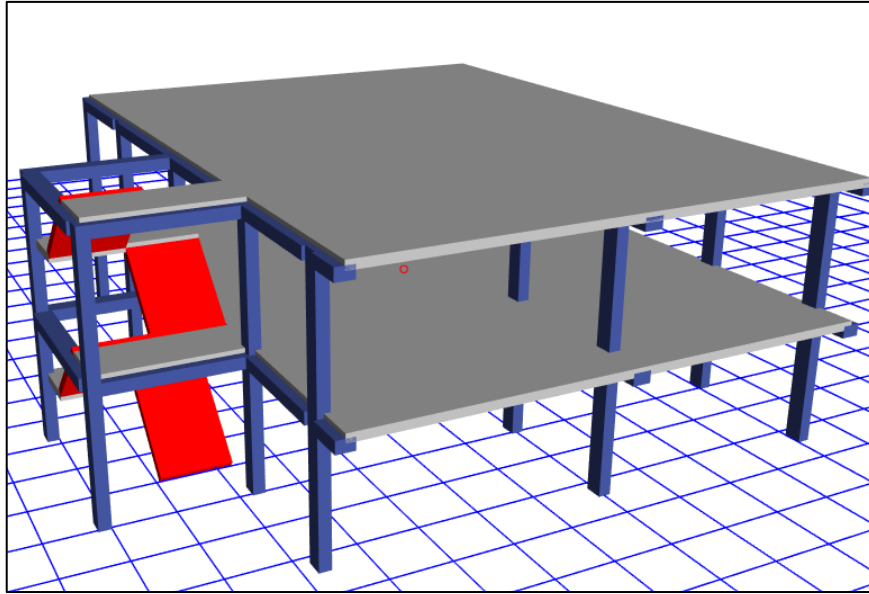


Figura 36. Vista en elevación del modelado en Etabs 2016 de la estructura de dos pisos

Elaborado por: Joaquín Vega

A continuación, se muestra la configuración de la estructura de un piso.

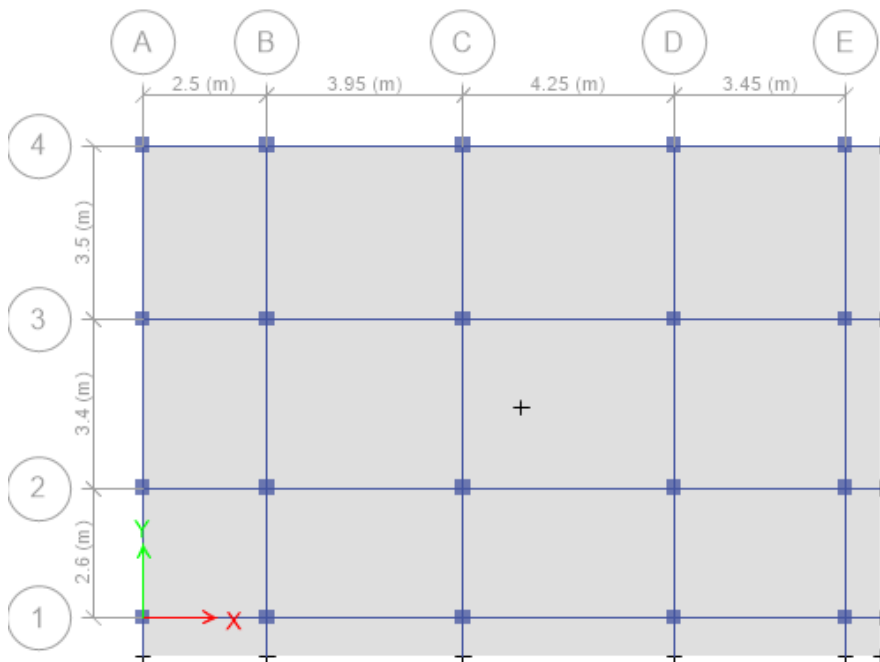


Figura 37. Planta tipo de la estructura de una planta

Elaborado por: Joaquín Vega

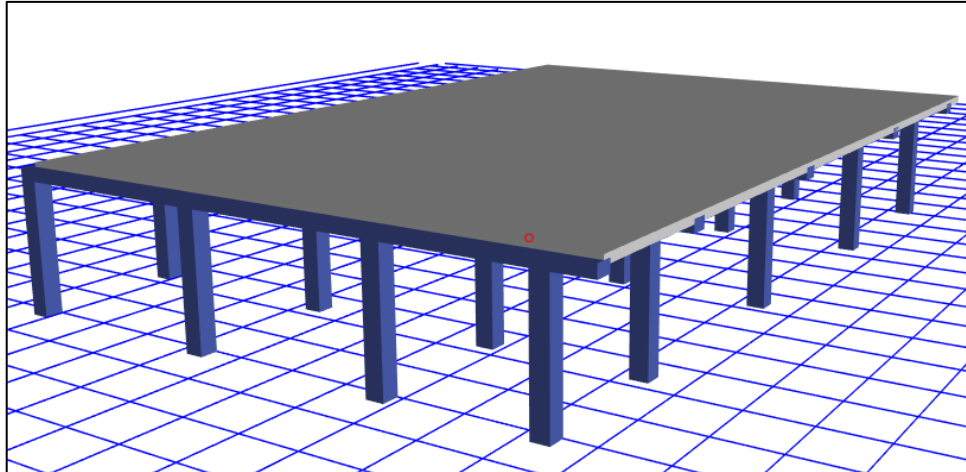


Figura 38. Vista en elevación del modelado en Etabs 2016 de una estructura de un piso

Elaborado por: Joaquín Vega

4.3.1.1. Características estructurales

En los siguientes cuadros se muestran las secciones de los elementos estructurales, además de acuerdo a la información obtenida la losa corresponde a un tipo alivianado bidireccional.

Tabla 33. Secciones y características de elementos estructurales

Características	Secciones
Número de pisos	3
Sección de columnas (cm)	30x40
Sección de vigas (cm)	30x20
Espesor de losa (cm)	20
Altura Total de la estructura(m)	8.64

Elaborado por: Joaquín Vega

- La resistencia a la compresión del hormigón se asume un valor de 240 kg/cm², debido a que es una construcción reciente.

Tabla 34. Secciones y características de elementos estructurales

Características	Secciones
Número de pisos	2
Sección de columnas (cm)	25x30
Sección de vigas (cm)	30x20
Espesor de losa (cm)	20
Altura Total de la estructura(m)	4.60

Elaborado por: Joaquín Vega

- La resistencia a la compresión del hormigón se asume un valor de 210 kg/cm^2 , debido a que es una construcción de aproximadamente 20 años atrás.

En el siguiente cuadro se muestra las secciones de los elementos estructurales:

Tabla 35. Secciones y características de elementos estructurales

Características	Secciones
Número de pisos	1
Sección de columnas (cm)	30x30
Sección de vigas (cm)	30x20
Espesor de losa (cm)	20
Altura Total de la estructura(m)	2.40

Elaborado por: Joaquín Vega

- La resistencia a la compresión del hormigón se asume un valor de 210 kg/cm^2 , debido a que es una construcción antigua.

4.3.1.2.Reducción de los espectros

Se verifica el comportamiento estructural de la construcción para el área de estudio.

Se procede a reducir los espectros tanto el obtenido de acuerdo a la NEC-2015 como el espectro específico para la zona para posteriormente ingresarlo al programa ETABS 2016 y realizar la comparación del comportamiento con cada espectro.

Para reducir el espectro se utiliza la siguiente ecuación propuesta por la NEC-2015:

$$C = \frac{S_a * I}{R * \phi P * \phi E}$$

Donde:

C= Coeficiente sísmico

S_a= Espectro de respuesta elástica de aceleraciones (g)

ϕP * ϕE= Coeficientes de regularidad en planta y elevación

R= Factor de reducción de resistencia sísmica

I= Coeficiente de importancia

- Los valores propuestos para cada factor de acuerdo a la NEC-2015 para la estructura de **tres pisos** son los siguientes:

ϕP = 0.9, debido a que se observa que las plantas de cada piso no son semejantes

ϕE = 1.0, las alturas de cada piso son similares por lo tanto no hay irregularidad en elevación

R = 5.0, la estructura corresponde a un sistema de pórticos con vigas banda

I = 1.0, de acuerdo a la NEC las viviendas se ubican en la categoría de “Otras estructuras”

- Los valores propuestos para cada factor de acuerdo a la NEC-2015 para la estructura de **dos pisos** son los siguientes:

ϕP = 1.0, ϕE = 1.0, debido a que es una estructura simétrica

R = 5.0, la estructura corresponde a un sistema de pórticos con vigas banda

I = 1.0, de acuerdo a la NEC las viviendas se ubican en la categoría de “Otras estructuras”

- Los valores propuestos para cada factor de acuerdo a la NEC-2015 para la estructura de **un piso** son los siguientes:

$\phi P = 1.0$, $\phi E = 1.0$, debido a que es una estructura simétrica

$R = 5.0$, la estructura corresponde a un sistema de pórticos con vigas banda

$I = 1.0$, de acuerdo a la NEC las viviendas se ubican en la categoría de “Otras estructuras”

4.3.1.3. Determinación del período de vibración

Período fundamental de vibración

Para el cálculo del período fundamental de vibración se utilizó la siguiente ecuación propuesto por la NEC-2015.

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T = Período de vibración.

α = Impedancia del semiespacio

Para las estructuras tipo se trabajará con los siguientes valores:

$C_t = 0.055$, $\alpha = 0.9$, correspondientes a un tipo de estructura sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores.

- Para estructura de tres pisos

$$T = 0.055 * 8.64^{0.9}$$

$$T = 0.38 \text{ Seg.}$$

- Para estructura de dos pisos

$$T = 0.055 * 4.60^{0.9}$$

$$T = 0.217 \text{ Seg.}$$

- Para estructura de un piso

$$T = 0.055 * 2.40^{0.9}$$

$$T = 0.12 \text{ Seg.}$$

El valor de T obtenido al utilizar estos métodos es una estimación inicial razonable del período estructural que permite el cálculo de las fuerzas sísmicas a aplicar sobre la estructura y realizar su dimensionamiento. [4]

Períodos límites de vibración

De acuerdo a la propuesta de la NEC-2015 se obtienen los siguientes valores y resultados.

$$T_0 = 0.1F_s \frac{F_d}{F_a}$$

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

Donde:

T_0, T_c = Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Fa, Fd, Fs= Coeficiente de amplificación de suelo

A continuación, se tiene los valores de cada factor obtenido de la NE-2015 que son correspondientes a la provincia de Tungurahua para un suelo tipo C:

Zona sísmica: V

Factor Z= 0.4

Fa= 1.2

F_d= 1.11

F_s= 1.11

Entonces reemplazando valores en las ecuaciones anteriormente propuestas da como resultado los siguientes valores:

$$T_0 = 0.1 * 1.11 \frac{1.11}{1.2}$$

$$T_0 = \mathbf{0.103 \text{ seg}}$$

$$T_c = 0.55 * 1.11 \frac{1.11}{1.2}$$

$$T_c = \mathbf{0.56 \text{ seg}}$$

Del análisis realizado en Etabs 2016 se encuentra un nuevo valor correspondiente a la aceleración para el período calculado para la estructura tipo.

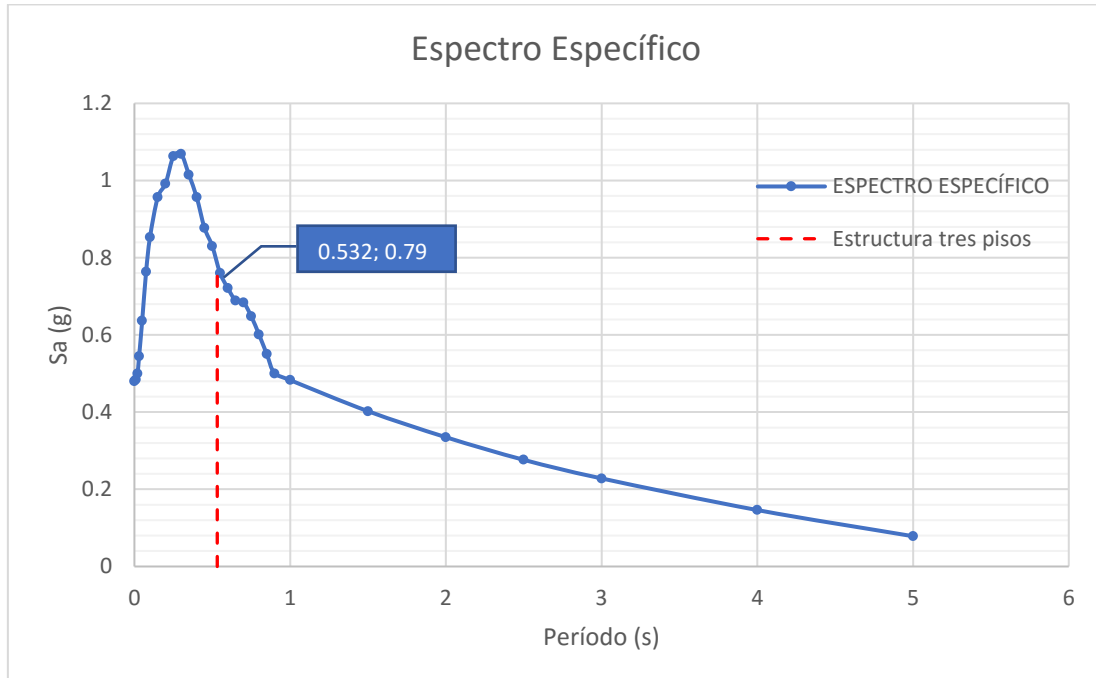


Figura 39. Espectro específico y los valores de aceleración correspondiente a la estructura tipo de tres pisos

Elaborado por: Joaquín Vega

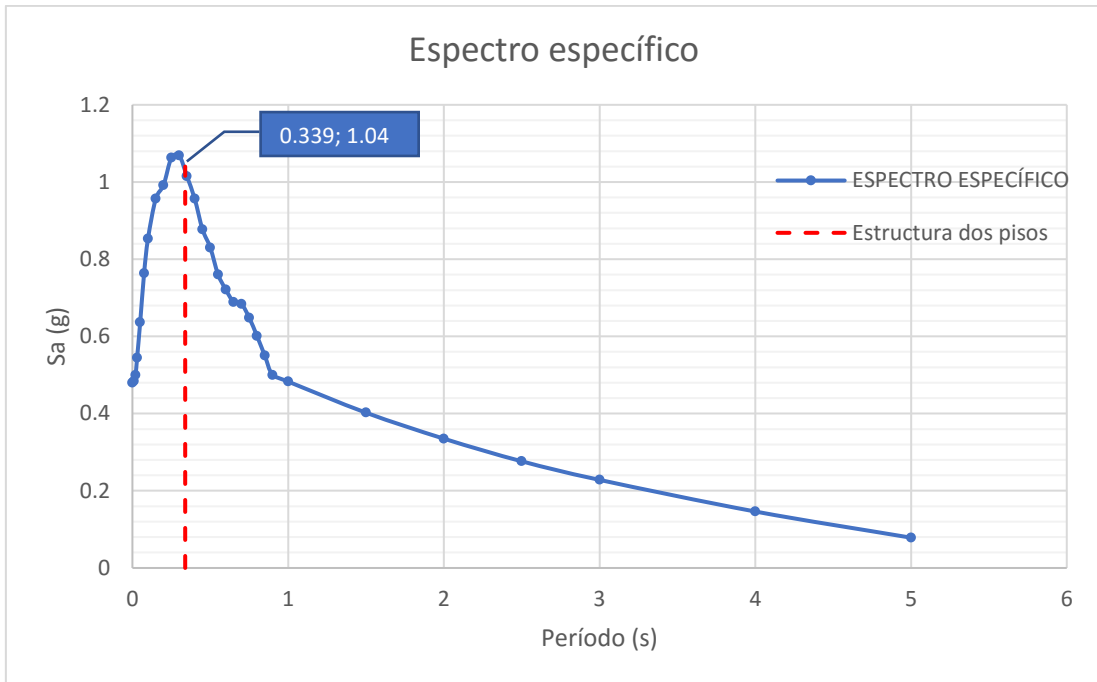


Figura 40. Espectro específico y los valores de aceleración correspondiente a la estructura tipo de dos pisos

Elaborado por: Joaquín Vega

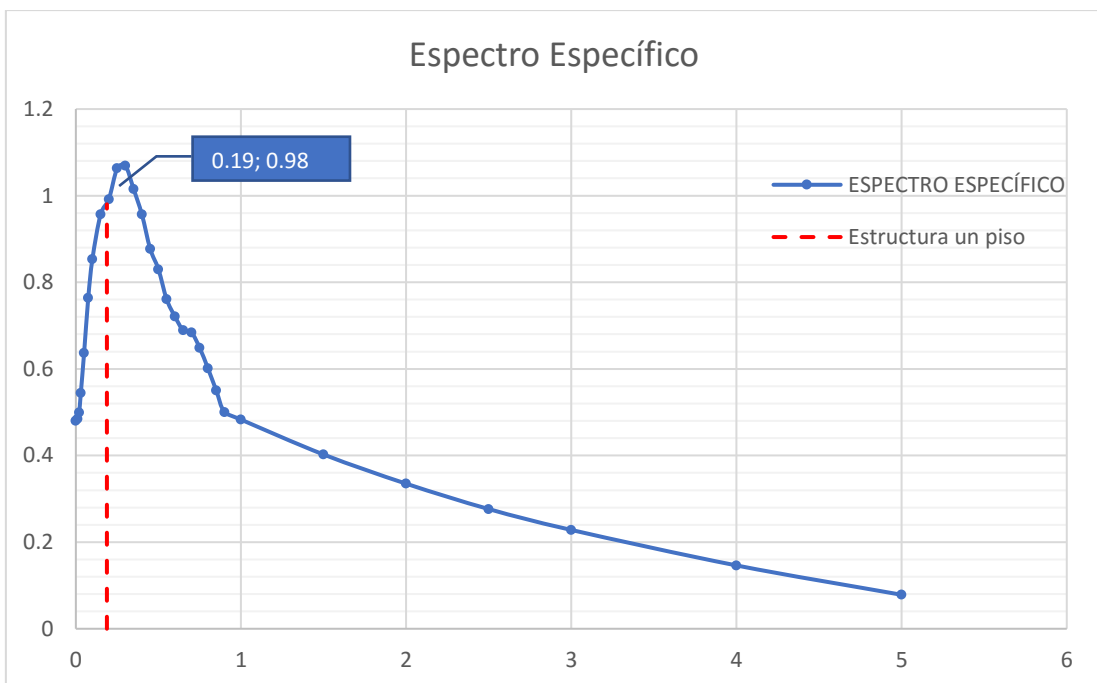


Figura 41. Espectro específico y los valores de aceleración correspondiente a la estructura tipo de un piso

Elaborado por: Joaquín Vega

Se calcula el coeficiente sísmico en base a las aceleraciones obtenidas mediante el programa Etabs 2016.

Para este cálculo se utilizará la ecuación propuesta por la NEC-2015

$$C = \frac{Sa * I}{R * \phi P * \phi E}$$

Donde:

C= Coeficiente sísmico

Sa= Espectro de respuesta elástica de aceleraciones (g)

$\phi P * \phi E$ = Coeficientes de regularidad en planta y elevación

R= Factor de reducción de resistencia sísmica

I= Coeficiente de importancia

Entonces:

- Para estructura de tres pisos

$$Sa = 0.79$$

$$C = \frac{0.79 * 1}{5 * 0.9 * 1} = 0.1756$$

- Para estructura de dos pisos

$$Sa = 1.04$$

$$C = \frac{1.04 * 1}{5 * 1 * 1} = 0.208$$

- Para estructura de un piso

$$Sa = 0.98$$

$$C = \frac{0.98 * 1}{5 * 1 * 1} = 0.196$$

Determinación del coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura k:

Tabla 36. Valores de k

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

Fuente: NEC-2015

Como el período T calculado de acuerdo al software tiene un valor de 0.532 entonces el valor k es el siguiente:

- Para estructura de tres pisos
 $k = 0.75 + 0.5(0.532) = 1.016 \text{ seg}$
- Para estructura de dos pisos
 $k = 1$
- Para estructura de un piso
 $k = 1$

Los valores calculados **C** y **k** son valores que se requieren digitar en el software para que los resultados sean los correctos.

4.3.1.4. Análisis estático

- **Períodos de vibración**

Mediante el uso del programa se calcula el período fundamental **T₂**, obtenidos en base a las propiedades estructurales y sus características de deformación de los elementos por medio de un análisis modal.

Tabla 37. Períodos de vibración

Períodos de vibración	Estructura tipo de tres pisos	Estructura tipo de dos pisos	Estructura tipo de un piso
To	0.103 seg		
Tc	0.56 seg		
T1 (NEC-2015)	0.38 seg	0.217 seg	0.12 seg
T2 (Étabs 2016)	0.532 seg	0.339 seg	0.19 seg

Elaborado por: Joaquín Vega

Se observa que el período calculado con la NEC 2015 es menor en comparación al valor obtenido mediante el programa.

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

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

- Estructura de tres pisos

$$0.38 \leq 0.532 \not\leq 0.49$$

- Estructura de dos pisos

$$0.217 \leq 0.339 \not\leq 0.28$$

- Estructura de un piso

$$0.12 \leq 0.19 \not\leq 0.16$$

El período fundamental de vibración T_2 no cumple la condición establecida por lo tanto el valor es mayor esto debido a que la estructura es más flexible de lo que recomienda la NEC-2015.

- **Modos de vibración de la estructura**

Se recomienda que los dos primeros modos tengan un comportamiento traslacional y a partir del tercer modo sea rotacional.

Para que el comportamiento sea traslacional la relación entre el porcentaje de participación modal de la masa en rotación Rz y el porcentaje de masa mayor en traslación Ux, Uy tiene que ser menor al 30%.

De acuerdo a estudios realizados los efectos de torsión accidental son de gran incidencia, cuando la relación antes mencionada es mayor al 30%. [27]

Tabla 38. Modos de vibración de la estructura de tres pisos

Modo	Período	Ux	Uy	Rz	(Rz/Ux,Uy) %	Observación
1	0.532	0.0081	0.7768	0.0433	5.574	Traslacional
2	0.494	0.6974	0.0222	0.0888	12.733	Traslacional
3	0.428	0.1016	0.0159	0.6895	687.5	Rotacional

Fuente: Etabs 2016. V16

De la tabla anterior se puede decir que existen dos modos de tipo traslacional correspondientes al primero y segundo modo que cumplen la condición de ser menor al 30%, mientras que el tercer modo es de tipo rotacional debido a su alto porcentaje. Por lo tanto, cumple con lo establecido por la norma NEC-2015

Tabla 39. Modos de vibración de la estructura de dos pisos

Modo	Período	Ux	Uy	Rz	(Rz/Ux,Uy) %	Observación
1	0.339	0.0572	0.4629	0.377	81.44	Rotacional
2	0.291	0.7908	0.0925	0.004	0.56	Traslacional
3	0.227	0.033	0.3461	0.519	149.96	Rotacional

Fuente: Etabs 2016. V16

De la tabla anterior se puede decir que el primer y tercer modo son de tipo rotacional por lo que se puede presumir que las secciones de las columnas son insuficientes que provocan que la estructura tienda a tener un comportamiento de tipo rotatorio de manera excesiva.

Tabla 40. Modos de vibración de la estructura de un piso

Modo	Período	Ux	Uy	Rz	(Rz/Ux,Uy) %	Observación
1	0.19	0.9977	0.0008	0.0017	0.17	Traslacional
2	0.178	0.0015	0.9054	0.0966	10.67	Traslacional
3	0.152	0.0008	0.0938	0.9017	916.30	Rotacional

Fuente: Etabs 2016. V16

De la tabla anterior se puede decir que existen dos modos de tipo traslacional correspondientes al primero y segundo modo que cumplen la condición de ser menor al 30%, mientras que el tercer modo es de tipo rotacional debido a su alto porcentaje. Por lo tanto, cumple con lo establecido por la norma NEC-2015

- **Acumulación del 90% de la masa**

Se deben considerar en el análisis:

Todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios períodos de vibración, [4]

Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas. [4]

Tabla 41. Acumulación de masa en la estructura de tres pisos

Modo	Sum UX	Sum UY
1	0.0081	0.7768
2	0.7054	0.799
3	0.8071	0.8148
4	0.8784	0.8572
5	0.938	0.943
6	0.9502	0.9515

Fuente: Etabs 2016. V16

En la tabla se observa que la acumulación de masa del mínimo 90% se cumple en el quinto modo con lo que se puede decir que la estructura cumple esta condición propuesto por la NEC-15.

Tabla 42. Acumulación de masa en la estructura de dos pisos

Modo	Sum UX	Sum UY
1	0.0572	0.4629
2	0.8481	0.555
3	0.881	0.9015
4	0.8943	0.9516
5	0.9907	0.9655
6	0.9951	0.997

Fuente: Etabs 2016. V16

En la tabla se observa que la acumulación de masa del mínimo 90% se cumple en el sentido X en el quinto modo mientras que en el sentido Y cumple en el tercer modo con lo que se puede decir que la estructura cumple esta condición propuesto por la NEC-15.

Tabla 43. Acumulación de masa en la estructura de un piso

Modo	Sum UX	Sum UY
1	0.0008	0.9977
2	0.9062	0.9992

Fuente: Etabs 2016. V16

En la tabla se observa que la acumulación de masa del mínimo 90% se cumple en el segundo modo con lo que se puede decir que la estructura cumple esta condición propuesto por la NEC-15.

- **Derivas elásticas**

A continuación, se muestra la comparación de las derivas elásticas obtenidas con el espectro de la NEC-2015 y el específico.

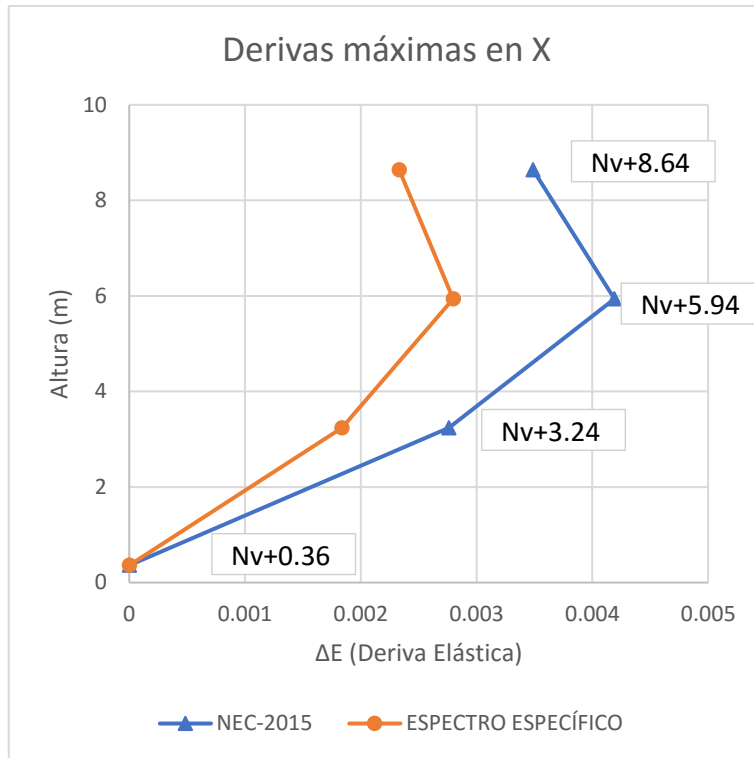


Figura 42. Derivas elásticas para la estructura de tres pisos en el sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

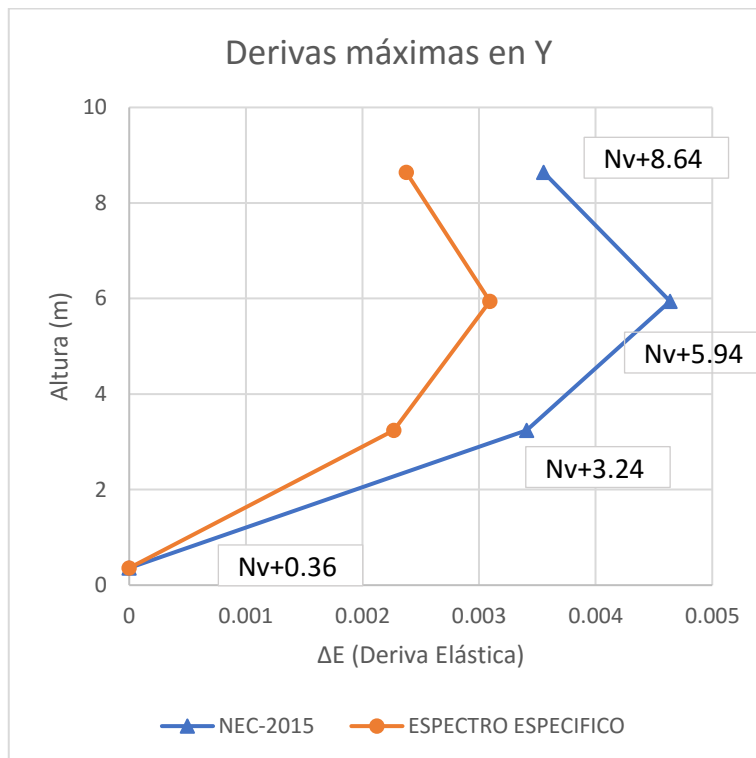


Figura 43. Derivas elásticas para la estructura de tres pisos en el sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

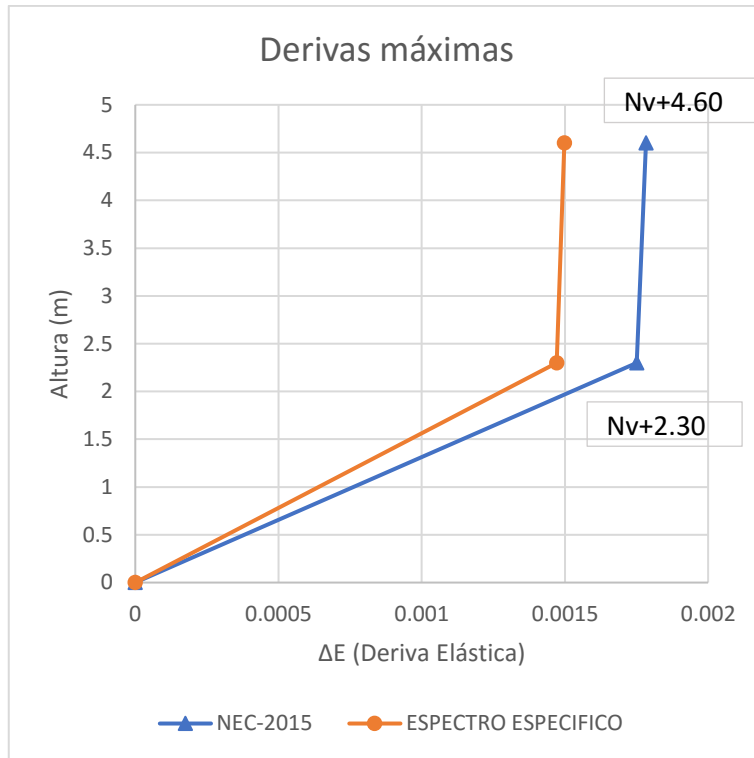


Figura 44. Derivas elásticas para la estructura de dos pisos en el sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

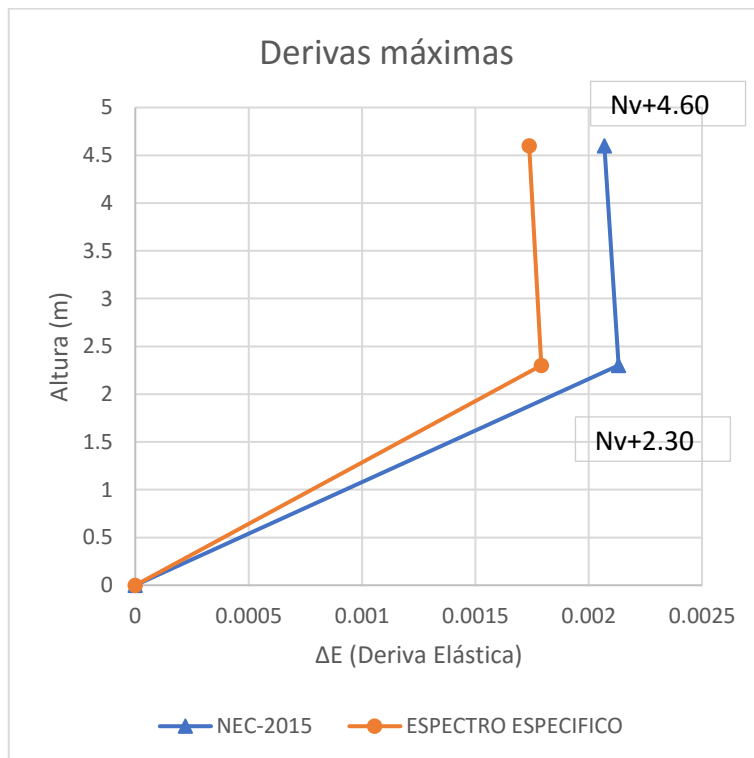


Figura 45. Derivas elásticas para la estructura de dos pisos en el sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

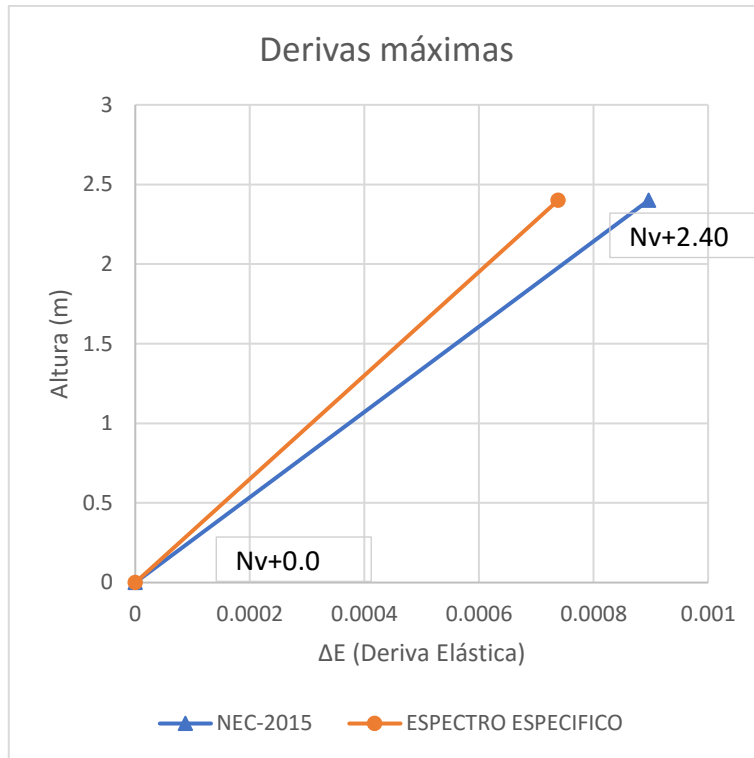


Figura 46. Derivas elásticas para la estructura de un piso en el sentido X

Fuente: Etabs 2016. V16

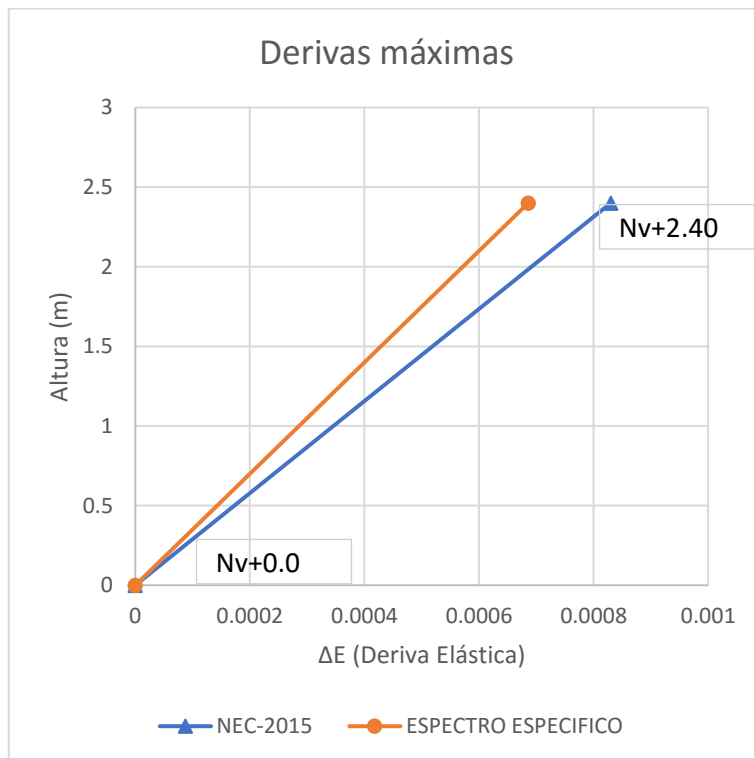


Figura 47. Derivas elásticas para la estructura de un piso en el sentido Y

Fuente: Etabs 2016. V16

En la siguiente tabla se observa la deriva máxima elástica e inelástica para la estructura en cada sentido:

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

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

Dónde:

Δ_M = Deriva máxima inelástica

Δ_E = Desplazamiento obtenido en aplicación de fuerzas laterales de diseño reducido

R = Factor de reducción de resistencia

Tabla 44. Derivas máximas elásticas e inelásticas para las estructuras

ESTRUCTURA DE TRES PISOS				
Nivel +5.94	Derivas máximas en X		Derivas máximas en Y	
	Δ_E	Δ_M (%)	Δ_E	Δ_M (%)
Espectro NEC-15	0.004191	1.57	0.004638	1.67
Espectro Específico	0.002798	1.04	0.003093	1.16
ESTRUCTURA DE DOS PISOS				
Nivel +2.30	Derivas máximas en X		Derivas máximas en Y	
	Δ_E	Δ_M (%)	Δ_E	Δ_M (%)
Espectro NEC-15	0.001783	0.668	0.002132	0.799
Espectro Específico	0.001498	0.5618	0.001791	0.6716
ESTRUCTURA DE UN PISO				
Nivel +2.40	Derivas máximas en X		Derivas máximas en Y	
	Δ_E	Δ_M (%)	Δ_E	Δ_M (%)
Espectro NEC-15	0.000896	0.33	0.00083	0.31
Espectro Específico	0.000738	0.27	0.000686	0.26

Elaborado por: Joaquín Vega

En la tabla anterior se observa que las derivas inelásticas no superan el 2% ya sea con el espectro de la NEC-15 o con el Espectro específico por lo tanto la estructura es estable. Además, se observa que las derivas producto del espectro específico es menor que las derivas con la NEC-15 esto debido a que la aceleración del espectro específico es menor.

4.3.1.5. Análisis dinámico

- **Validación del análisis dinámico**

El valor del cortante dinámico total en la base obtenida por cualquier método de análisis dinámico no debe ser: [4]

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

En este caso como la estructura no es simétrica en planta, se considera como una estructura irregular.

Tabla 45. Análisis dinámico en la estructura de tres pisos

Estructura de tres pisos				
Espectros	Sentido X		Sentido Y	
	Vestático (kg)	Vdinámico (kg)	Vestático (kg)	Vdinámico (kg)
Espectro NEC-15	55230	41875.06	55230	43675.9
	Vdin/est= 75.82%		Vdin/est= 79.08%	
Espectro Específico	36736	29736.37	36736	29790.69
	Vdin/est= 80.95%		Vdin/est= 81.09%	
Estructura de dos pisos				
Espectros	Sentido X		Sentido Y	
	Vestático (kg)	Vdinámico (kg)	Vestático (kg)	Vdinámico (kg)
Espectro NEC-15	39722	32861.1	39722	25407.2
	Vdin/est= 82.73%		Vdin/est= 63.96%	
Espectro Específico	33365	29351.07	33365	21963.76
	Vdin/est= 87.97%		Vdin/est= 65.83%	
Estructura de un piso				
Espectros	Sentido X		Sentido Y	
	Vestático (kg)	Vdinámico (kg)	Vestático (kg)	Vdinámico (kg)
Espectro NEC-15	25481	25450.42	25481	23893.39
	Vdin/est= 99.88%		Vdin/est= 93.77%	
Espectro Específico	20976	21057.15	20976	19582.73
	Vdin/est= 100.39%		Vdin/est= 93.36%	

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla anterior se concluye que para la estructura de tres pisos el espectro específico es el que más se acerca a las condiciones establecidas por la NEC-15 pero no cumple con un valor de cortante dinámico óptimo que debería ser superior al 85%. Mientras que para la estructura de dos pisos no cumple la condición de ser mayor al 80% requerido y para la estructura de un piso cumple la condición en los dos sentidos.

- **Derivas de piso**

A continuación, se tiene una tabla con las derivas de piso elásticas obtenidas de acuerdo a cada espectro ingresado en el sentido X y Y.

Tabla 46. Derivas de piso elásticas para la estructura de tres pisos

ESTRUCTURA DE TRES PISOS				
Nivel +5.94	Derivas máximas en X		Derivas máximas en Y	
	Δ_E	Δ_M (%)	Δ_E	Δ_M (%)
Espectro NEC-15	0.0042	1.57%	0.0045	1.69%
Espectro Específico	0.0029	1.09%	0.0031	1.16%
ESTRUCTURA DE DOS PISOS				
Nivel +2.30	Derivas máximas en X		Derivas máximas en Y	
	Δ_E	Δ_M (%)	Δ_E	Δ_M (%)
Espectro NEC-15	0.00166	0.62	0.00199	0.75
Espectro Específico	0.00147	0.55	0.00172	0.65
ESTRUCTURA DE UN PISO				
Nivel +2.40	Derivas máximas en X		Derivas máximas en Y	
	Δ_E	Δ_M (%)	Δ_E	Δ_M (%)
Espectro NEC-15	0.000955	0.35	0.00105	0.39
Espectro Específico	0.00079	0.29	0.00086	0.32

Elaborado por: Joaquín Vega

De la tabla presentada se puede decir que las mayores derivas se producen con el espectro de la NEC-15, esto debido a que el espectro específico es menor que el propuesto por la Norma.

4.4.VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente en la presente investigación “El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector Huachi Chico barrio La Victoria”. Se determinó que el espectro obtenido mediante la NEC-15 supera al espectro determinístico calculado por medio de las ecuaciones de atenuación. Teniendo el valor de aceleración máxima $S_a(g) = 1.19$ de acuerdo al espectro de la NEC-15, mientras que una aceleración máxima de $S_a(g) = 1.069$ que corresponde al espectro determinista teniendo así una diferencia del 10.16%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Entre las fallas consideradas la falla de Ambato es la que presenta mayor peligro para el sector La Victoria, esto debido a que es la falla más cercana con una longitud mayor.
- De los gráficos realizados mediante las ecuaciones de atenuación se concluye que la falla de Ambato calculado mediante el modelo de Akkar y Bommer es el más crítico y produce mayores aceleraciones espectrales alcanzando valores de hasta 1.07 g en un período de 0.3 segundos.
- En la tabla 30 se observa que el 64.29% de las aceleraciones máximas ocurren en un período de 0.3 segundos, el 21.43% de las aceleraciones máximas se dan en un período de 0.25 segundo mientras que en un periodo de 0.2 y 0.4 se dan en el 7.14% de las aceleraciones calculadas. Por lo tanto, se concluye que las estructuras de 2 a 3 pisos son las más propensas a sufrir daños ante un posible evento sísmico.
- De la figura 30 se concluye que los espectros específicos según el modelo de Zhao correspondientes a la falla de subducción tienen una aceleración un poco mayor que el espectro de la NEC-15 en un período comprendido entre 2 a 3.5 segundos por lo que probablemente las estructuras superiores a los 20 pisos podrían sufrir daños, pero estos serían mínimos.
- De los espectros calculados se concluye que las fallas corticales son las más críticas en estructuras que tengan un periodo de vibración bajo, mientras que la falla de subducción no generaría mayores daños a cualquier tipo de estructuras.

- El espectro calculado con las especificaciones de la NEC-15 supera al espectro determinístico donde su máxima aceleración tiene una variación del 10.1%. con esto se puede decir que las estructuras calculadas mediante las especificaciones de la NEC-15 no tendrían problemas en resistir ante un evento sísmico.
- Del análisis estructural mediante el uso del software Etabs se concluye que el espectro de la NEC-15 es la que mayor demanda tiene en el funcionamiento y respectivos chequeos realizados.
- La estructura de tres pisos tiene un período fundamental de 0.532 seg. Por lo que se puede decir que la estructura es un poco dúctil ya que supera a 0.49 seg. calculado mediante la NEC-15. No se registra problemas de torsión debido a que cumplen lo requerido que es menor al 30% los dos primeros modos mientras que el tercer modo es rotacional. Las derivas de piso inelásticas son menores al 2% lo que garantiza un buen comportamiento estructural.
- La estructura de dos pisos tiene un período fundamental de 0.339 seg. Por lo que se puede decir que la estructura es un poco dúctil ya que supera a 0.28 seg calculado de acuerdo a la NEC-15. Se registra problemas de torsión debido a que no cumplen con lo requerido ya que el primer modo supera el 30% generando así posibles problemas de torsión. Las derivas de piso inelásticas son menores al 2% lo que garantiza un buen comportamiento estructural.
- La estructura de un piso tiene un período fundamental de 0.19 seg. Por lo que se puede decir que la estructura es un poco dúctil ya que supera a 0.16 seg. calculado mediante la NEC-15. No se registra problemas de torsión debido a que cumplen lo requerido que es menor al 30% los dos primeros modos teniendo así un comportamiento traslacional mientras que el tercer modo es rotacional. Las derivas de piso inelásticas son menores al 2% lo que garantiza un buen comportamiento estructural.

5.2. RECOMENDACIONES

- Debido a que las aceleraciones del espectro de la NEC-15 son superiores a las aceleraciones del espectro determinista se recomienda utilizar el espectro generado por la NEC-15 en posteriores diseños estructurales, teniendo un criterio conservacionista en el desempeño de la estructura ante un posible evento sísmico.
- En estructuras existentes dentro del área de estudio se recomienda realizar la evaluación del desempeño estructural mediante el espectro generado por el método determinístico debido a que este espectro corresponde para el tipo de suelo específico de la zona.
- Se recomienda contar con un mapa de microzonificación sísmica de acuerdo al tipo de suelo existente en la ciudad de Ambato para así tener diseños adecuados de acuerdo a la realidad de cada zona.
- En Ambato existen fallas corticales que atraviesan gran parte de la ciudad por lo tanto sería de vital importancia seguir realizando este tipo de investigaciones con la finalidad de mejorar las condiciones de futuras construcciones.
- Se recomienda actualizar este tipo de investigaciones utilizando nuevos coeficientes debido a que los factores para determinar las Ecuaciones de Predicción de Movimiento se encuentran en constante actualización.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1] Martínez M., Evaluación del uso de espectros de diseño al análisis del riesgo sísmico. Aplicación a Barcelona (España). (2009). En línea. Disponible: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6881>. [Último acceso: 15 03 2018].

[2] Valverde J. y Otros, (2001). Microzonificación Sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la Ciudad de Quito. FlacsoAndes. En línea. Disponible: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/126795-opac>. [Último acceso: 26 02 2018].

[3] Quizanga D., (2015). Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. En línea. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=author&value=Quizanga+Mart%C3%ADnez%2C+Diego+Marcelo>.

[4] NEC, (2015). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, En línea. Disponible: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

[5] Cobos P. (2017). Estudio de Peligro sísmico determinista para las estructuras de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi. Universidad Técnica de Ambato. En línea. Disponible: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25147/1/Tesis%201100%20-%20Cobos%20Torres%20Fabricio%20Pa%C3%BA1.pdf>

[6] GeoEnciclopedia, ElegantThemes, En línea. Disponible: <http://www.geoenciclopedia.com/cinturon-de-fuego-del-pacifico/>.

[7] Quinde P. y Reinoso E., «SciELO,» Junio 2016. En línea. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001.

- [8] Yépez. F. Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y Futuros proyectos de mitigación. En línea. Disponible: <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=24693>.
- [9] La Hora. Ambato necesita identificar zonas de alto riesgo. Abril 2002. En línea. Disponible: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>.
- [10] Bolaños A. y Monroy O. (2004). Espectros de Peligro Sísmico Uniforme. En línea. Disponible: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1331>.
- [11] gob.mx. Servicio Geológico Mexicano. En línea. Disponible: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>.
- [12] Instituto Geofísico, «IGEPN,» (2018). En línea. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/glosario?letter=s>.
- [13] Sistema Nacional de Protección Civil México, SEGOB, 10 (2012). En línea. Disponible: http://sismos.gob.mx/en/sismos/Tipos_de_sismos.
- [14] Parra H. (2016). Desarrollo metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador Continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito. En línea. Disponible: http://oa.upm.es/39353/1/HUMBERTO_PARRA_CARDENAS_V-2.pdf.
- [15] Benito B. y Jimenez E. Peligrosida Sísmica. (1999). En línea. Disponible: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9999110013A/12067>.
- [16] NEC, 2011. En línea. Disponible: <http://giec.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/09/NEC2011-CAP2-PELIGRO-SISMICO-Y-REQUISITOS-DE-DISENO-SISMO-RESISTENTE-2013.pdf>.

- [17] Mata L., (2002). Identificación de zonas de suelos susceptibles a Falla en los Distritos Centrales de la ciudad de Adapazari, Turquía. En línea. Disponible: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAP7091.pdf>.
- [18] Wells C. (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://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.527.9732&rep=rep1&type=pdf>.
- [19] Catálogo Homogenizado 1587-2011.(2011). Escuela Politécnica Nacional. En línea. Disponible: <http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-catalogo-homogenizado>.
- [20] NTE INEN 0689.Mecánica de suelos, Eensayo de Penetración Estándar. En línea. Disponible: <https://archive.org/details/ec.nte.0689.1982>.
- [21] Montalva G. y Catalan P. «UDEC,» [En línea]. Available: <http://vu2018.admin.hosting.ing.udec.cl/descargas/46.pdf>. [Último acceso: 04 2018].
- [22] 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>
- [23] 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>
- [24] 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
- [25] 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>

[26] 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>

[27] C. Medina y S. Medina. (2017). Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en Estructuras Irregulares. Revista Politécnica, vol. 39. En línea. Disponible: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v39n2/2477-8990-rpolit-39-02-00051.pdf>

[28] Ortiz O. Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica en Ecuador. (2013). En línea. Disponible: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1221>.

2. ANEXOS
ANEXO A



Fotografía 1. Excavación de suelo vegetal



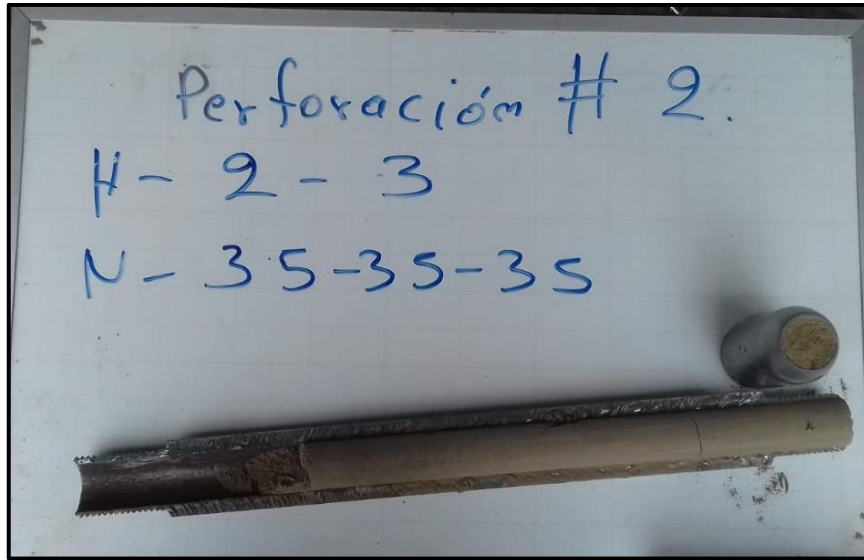
Fotografía 2. Medición cada 15 cm para el número de golpes



Fotografía 3. Extracción de muestra de suelo



Fotografía 4. Cuchareta con muestra de suelo



Fotografía 5. Muestra obtenida en la cuchareta



Fotografía 6. Peso de la muestra de suelo



Fotografía 7. Muestra de suelo tamizando



Fotografía 8. Muestra de suelo tamizado

ANEXO B

B- 1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período, para el modelo de Boore y Atkinson [22]

PERIODO	b _{lin}	b ₁	b ₂
PGA	-0.36	-0.64	-0.14
0.01	-0.36	-0.64	-0.14
0.02	-0.34	-0.63	-0.12
0.03	-0.33	-0.62	-0.11
0.05	-0.29	-0.64	-0.11
0.075	-0.23	-0.64	-0.11
0.1	-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: Boore, D. Atkinson, M. (2008). 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.

B- 2. Coeficientes de escala de distancia (M_{ref} = 4,5 y R_{ref} = 1,0 km para todos los períodos, excepto R_{ref}=5.0 km para pga4nl), en el modelo de Boore y Atkinson [22]

PERIODO	c ₁	c ₂	c ₃	h
PGA	-0.6605	0.1197	-0.01151	1.35
0.01	-0.6622	0.12	-0.01151	1.35
0.02	-0.666	0.1228	-0.01151	1.35
0.03	-0.6901	0.1283	-0.01151	1.35
0.05	-0.717	0.1317	-0.01151	1.35
0.075	-0.7205	0.1237	-0.01151	1.55
0.1	-0.7081	0.1117	-0.01151	1.68

0.15	-0.6961	0.09884	-0.01113	1.86
0.2	-0.583	0.04273	-0.00952	1.98
0.25	-0.5726	0.02977	-0.00837	2.07
0.3	-0.5543	0.01955	-0.0075	2.14
0.4	-0.6443	0.04394	-0.00626	2.24
0.5	-0.6914	0.0608	-0.0054	2.32
0.75	-0.7408	0.07518	-0.00409	2.46
1	-0.8183	0.1027	-0.00334	2.54
1.5	-0.8303	0.09793	-0.00255	2.66
2	-0.8285	0.09432	-0.00217	2.73
3	-0.7844	0.07282	-0.00191	2.83
4	-0.6854	0.03758	-0.00191	2.89
5	-0.5096	-0.02391	-0.00191	2.93
7.5	-0.3724	-0.06568	-0.00191	3
10	-0.09824	-0.138	-0.00191	3.04

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

B- 3. Coeficiente de escala de magnitud [22]

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

5	-1.28408	-1.2127	-1.50904	-1.41093	0.14271	-0.39006	0	8.5
7.5	-1.43145	-1.31632	-1.81022	-1.59217	0.52407	-0.37578	0	8.5
10	-2.15446	-2.16137	-2.53323	-2.14635	0.40387	-0.48492	0	8.5

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

B- 4. Valores de variables para los diferentes tipos de fallas [22]

Tipo de falla	U	SS	NS	RS
No especificado	1	0	0	0
Transcurrente	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Inverso	0	0	0	1

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

ANEXO C

C- 1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudoaceleración [23]

T	b1	b2	b3	b4	b5	b6
0	1.04159	0.91333	-0.0814	-2.92728	0.2812	7.86638
0.05	2.11528	0.72571	-0.07351	-3.33201	0.33534	7.74734
0.1	2.11994	0.75179	-0.07448	-3.10538	0.30253	8.21405
0.15	1.64489	0.83683	-0.07544	-2.75848	0.2549	8.31786
0.2	0.92065	0.96815	-0.07903	-2.49264	0.2179	8.21914
0.25	0.13978	1.13068	-0.08761	-2.33824	0.20089	7.20688
0.3	-0.84006	1.37439	-0.10349	-2.19123	0.18139	6.54299
0.35	-1.32207	1.47055	-0.10873	-2.12993	0.17485	6.24751
0.4	-1.7032	1.5593	-0.11388	-2.12718	0.17137	6.57173
0.45	-1.97201	1.61645	-0.11742	-2.16619	0.177	6.78082
0.5	-2.76925	1.83268	-0.13202	-2.12969	0.16877	7.17423
0.55	-3.51672	2.02523	-0.14495	-2.04211	0.15617	6.7617
0.6	-3.92759	2.08471	-0.14648	-1.88144	0.13621	6.10103
0.65	-4.4949	2.21154	-0.15522	-1.79031	0.12916	5.19135
0.7	-4.62925	2.21764	-0.15491	-1.798	0.13495	4.46323
0.75	-4.95053	2.29142	-0.15983	-1.81321	0.1392	4.27945
0.8	-5.32863	2.38389	-0.16571	-1.77273	0.13273	4.37011
0.85	-5.75799	2.50635	-0.17479	-1.77068	0.13096	4.62192

0.9	-5.82689	2.50287	-0.17367	-1.76295	0.13059	4.65393
0.95	-5.90592	2.51405	-0.17417	-1.79854	0.13535	4.8454
1	-6.17066	2.58558	-0.17938	-1.80717	0.13599	4.97596
1.05	-6.60337	2.69584	-0.18646	-1.73843	0.12485	5.04489
1.1	-6.90379	2.77044	-0.19171	-1.71109	0.12227	5.00975
1.15	-6.9618	2.75857	-0.1889	-1.66588	0.11447	5.08902
1.2	-6.99236	2.73427	-0.18491	-1.5912	0.10265	5.03274
1.25	-6.74613	2.62375	-0.17392	-1.52886	0.09129	5.08347
1.3	-6.51719	2.51869	-0.1633	-1.46527	0.08005	5.14423
1.35	-6.55821	2.52238	-0.16307	-1.48223	0.08173	5.29006
1.4	-6.61945	2.52611	-0.16274	-1.48257	0.08213	5.3349
1.45	-6.62737	2.49858	-0.1591	-1.4331	0.07577	5.19412
1.5	-6.71787	2.49486	-0.15689	-1.35301	0.06379	5.1575
1.55	-6.80776	2.50291	-0.15629	-1.31227	0.05697	5.27441
1.6	-6.83632	2.51009	-0.15676	-1.3326	0.0587	5.54539
1.65	-6.88684	2.54048	-0.15995	-1.40931	0.0686	5.93828
1.7	-6.946	2.57151	-0.16294	-1.47676	0.07672	6.36599
1.75	-7.09166	2.62938	-0.16794	-1.54037	0.08428	6.82292
1.8	-7.22818	2.66824	-0.17057	-1.54273	0.08325	7.11603
1.85	-7.29772	2.67565	-0.17004	-1.50936	0.07663	7.31928
1.9	-7.35522	2.67749	-0.16934	-1.46988	0.07065	7.25988
1.95	-7.40716	2.68206	-0.16906	-1.43816	0.06525	7.25344
2	-7.50404	2.71004	-0.1713	-1.44395	0.06602	7.26059
2.05	-7.55598	2.72737	-0.17291	-1.45794	0.06774	7.4032
2.1	-7.53463	2.71709	-0.17221	-1.46662	0.0694	7.46168
2.15	-7.50811	2.71035	-0.17212	-1.49679	0.07429	7.51273
2.2	-8.09168	2.91159	-0.1892	-1.55644	0.08428	7.77062
2.25	-8.11057	2.92087	-0.19044	-1.59537	0.09052	7.87702
2.3	-8.16272	2.93325	-0.19155	-1.60461	0.09284	7.91753
2.35	-7.94704	2.85328	-0.18539	-1.57428	0.09077	7.61956
2.4	-7.96679	2.85363	-0.18561	-1.57833	0.09288	7.59643
2.45	-7.97878	2.849	-0.18527	-1.57728	0.09428	7.50338
2.5	-7.88403	2.81817	-0.1832	-1.60381	0.09887	7.53947
2.55	-7.68101	2.7572	-0.17905	-1.65212	0.1068	7.61893
2.6	-7.72574	2.82043	-0.18717	-1.88782	0.14049	8.12248
2.65	-7.53288	2.74824	-0.18142	-1.89525	0.14356	7.92236
2.7	-7.41587	2.69012	-0.17632	-1.87041	0.14283	7.49999
2.75	-7.34541	2.65352	-0.17313	-1.86079	0.1434	7.26668
2.8	-7.24561	2.61028	-0.16951	-1.85612	0.14444	7.11861
2.85	-7.07107	2.56123	-0.16616	-1.90422	0.15127	7.36277
2.9	-6.99332	2.52699	-0.16303	-1.89704	0.15039	7.45038
2.95	-6.95669	2.51006	-0.16142	-1.90132	0.15081	7.60234
3	-6.92924	2.45899	-0.15513	-1.76801	0.13314	7.2195
T	b7	b8	b9	b10	σ_1	σ_2

0	0.08753	0.01527	-0.04189	0.08015	0.261	0.0994
0.05	0.04707	-0.02426	-0.0426	0.08649	0.272	0.1142
0.1	0.02667	-0.00062	-0.04906	0.0791	0.2728	0.1167
0.15	0.02578	0.01703	-0.04184	0.0784	0.2788	0.1192
0.2	0.06557	0.02105	-0.02098	0.08438	0.2821	0.1081
0.25	0.0981	0.03919	-0.04853	0.08577	0.2871	0.099
0.3	0.12847	0.0434	-0.05554	0.09221	0.2902	0.0976
0.35	0.16213	0.06695	-0.04722	0.09003	0.2983	0.1054
0.4	0.21222	0.09201	-0.05145	0.09903	0.2998	0.1101
0.45	0.24121	0.11675	-0.05202	0.09943	0.3037	0.1123
0.5	0.25944	0.13562	-0.04283	0.08579	0.3078	0.1163
0.55	0.26498	0.14446	-0.04259	0.06945	0.307	0.1274
0.6	0.27718	0.15156	-0.03853	0.05932	0.3007	0.143
0.65	0.28574	0.15239	-0.03423	0.05111	0.3004	0.1546
0.7	0.30348	0.15652	-0.04146	0.04661	0.2978	0.1626
0.75	0.31516	0.16333	-0.0405	0.04253	0.2973	0.1602
0.8	0.32153	0.17366	-0.03946	0.03373	0.2927	0.1584
0.85	0.3352	0.1848	-0.03786	0.02867	0.2917	0.1543
0.9	0.34849	0.19061	-0.02884	0.02475	0.2915	0.1521
0.95	0.35919	0.19411	-0.02209	0.02502	0.2912	0.1484
1	0.36619	0.19519	-0.02269	0.02121	0.2895	0.1483
1.05	0.37278	0.19461	-0.02613	0.01115	0.2888	0.1465
1.1	0.37756	0.19423	-0.02655	0.0014	0.2896	0.1427
1.15	0.38149	0.19402	-0.02088	0.00148	0.2871	0.1435
1.2	0.3812	0.19309	-0.01623	0.00413	0.2878	0.1439
1.25	0.38782	0.19392	-0.01826	0.00413	0.2863	0.1453
1.3	0.38862	0.19273	-0.01902	-0.00369	0.2869	0.1427
1.35	0.38677	0.19082	-0.01842	-0.00897	0.2885	0.1428
1.4	0.38625	0.19285	-0.01607	-0.00876	0.2875	0.1458
1.45	0.38285	0.19161	-0.01288	-0.00564	0.2857	0.1477
1.5	0.37867	0.18812	-0.01208	-0.00215	0.2839	0.1468
1.55	0.37267	0.18568	-0.00845	-0.00047	0.2845	0.145
1.6	0.36952	0.18149	-0.00533	-0.00006	0.2844	0.1457
1.65	0.36531	0.17617	-0.00852	-0.00301	0.2841	0.1503
1.7	0.35936	0.17301	-0.01204	-0.00744	0.284	0.1537
1.75	0.35284	0.16945	-0.01386	-0.01387	0.284	0.1558
1.8	0.34775	0.16743	-0.01402	-0.01492	0.2834	0.1582
1.85	0.34561	0.1673	-0.01526	-0.01192	0.2828	0.1592
1.9	0.34142	0.16325	-0.01563	-0.00703	0.2826	0.1611
1.95	0.3372	0.16171	-0.01848	-0.00351	0.2832	0.1642
2	0.33298	0.15839	-0.02258	-0.00486	0.2835	0.1657
2.05	0.3301	0.15496	-0.02626	-0.00731	0.2836	0.1665
2.1	0.32645	0.15337	-0.0292	-0.00871	0.2832	0.1663
2.15	0.32439	0.15264	-0.03484	-0.01225	0.283	0.1661

2.2	0.31354	0.1443	-0.03985	-0.01927	0.283	0.1627
2.25	0.30997	0.1443	-0.04155	-0.02322	0.283	0.1627
2.3	0.30826	0.14412	-0.04238	-0.02626	0.2829	0.1633
2.35	0.32071	0.14321	-0.04963	-0.02342	0.2815	0.1632
2.4	0.31801	0.14301	-0.0491	-0.0257	0.2826	0.1645
2.45	0.31401	0.14324	-0.04812	-0.02643	0.2825	0.1665
2.5	0.31104	0.14332	-0.0471	-0.02769	0.2818	0.1681
2.55	0.30875	0.14343	-0.04607	-0.02819	0.2818	0.1688
2.6	0.31122	0.14255	-0.05106	-0.02966	0.2838	0.1741
2.65	0.30935	0.14223	-0.05024	-0.0293	0.2845	0.1759
2.7	0.30688	0.14074	-0.04887	-0.02963	0.2854	0.1772
2.75	0.30635	0.14052	-0.04743	-0.02919	0.2862	0.1783
2.8	0.30534	0.13923	-0.04731	-0.02751	0.2867	0.1794
2.85	0.30508	0.13933	-0.04522	-0.02776	0.2869	0.1788
2.9	0.30362	0.13776	-0.04203	-0.02615	0.2874	0.1784
2.95	0.29987	0.13584	-0.03863	-0.02487	0.2872	0.1783
3	0.29772	0.13198	-0.03855	-0.02469	0.2876	0.1785

Fuente: Akkar, S. Bommer, J. (2010).Ecuaciones empíricas para la predicción de PGA, PGV y aceleraciones espectrales en Europa, la región mediterránea y Oriente Medio.

ANEXO D

D- 1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de PGA 5% [24]

T	a1	b1	c1	d1	$\epsilon 1$
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, et al. (2006). Una nueva relación de atenuación para el movimiento de tierra fuerte en Japón en base a los datos registrados.

ANEXO E

E- 1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo [25]

PERIODO	C1	C2	C3	C4	C5
0	0	0	-2.329	1.45	-0.1
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1
0.3	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1
0.4	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1
0.5	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1
1	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1
1.5	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1

2	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1
3	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1
4	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1

Fuente: Youngs, R. Chiou, S. (1997). Relaciones de atenuación de movimiento en el suelo para los terremotos de la zona de subducción.

ANEXO F

F- 1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria. [26]

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

Fuente: Zhao, et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante

F- 2 Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción [26]

CH	C1	C2	C3	C4	Ck	σ	τ	σ_T
0,293	1,111	1,344	1,355	1,420	1,355	0,604	0,398	0,723

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

Fuente: Zhao, et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante

F- 3 Definiciones de clase de sitio utilizadas en el presente estudio y la clase de sitio NEHRP aproximadamente correspondiente.

Clase de suelo	Descripción	Periodo Natural	V ₃₀	NEHRP Clase de Sitio
Roca dura			V ₃₀ > 1100	A
SC I	Roca	T< 0.2 sec	V ₃₀ > 600	A+ B
SC II	Suelo Duro	0.2=T<0.4 sec	300< V ₃₀ = 600	C
SC III	Suelo Medianamente duro	0.4= T< 0.6 sec	200< V ₃₀ = 300	D
SC IV	Suelo suave	T= 0.6 sec	V ₃₀ = 200	E+ F

Fuente: Zhao, et al. (2006). Relaciones de atenuación del movimiento del suelo fuerte en Japón usando la clasificación del sitio basada en el período predominante