



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 SAN ANTONIO.

AUTOR:

DOMÉNICA ISABEL CONSTANTE IBARRA

TUTOR:

Ing. Mg. CARLOS NAVARRO

Ambato-Ecuador
2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Carlos Navarro, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR SAN ANTONIO”, es de autoría de la Srta. Doménica Isabel Constante Ibarra, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, mayo de 2018

Ing. Mg. Carlos Navarro

AUTORÍA

Yo, Doménica Isabel Constante Ibarra con C.I: 150108917-9, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el Trabajo Experimental con el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR SAN ANTONIO”, es de mi completa autoría.

Ambato, mayo de 2018

Doménica Isabel Constante Ibarra

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, mayo de 2018

Doménica Isabel Constante Ibarra

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR SAN ANTONIO”, del egresado Doménica Isabel Constante Ibarra, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, mayo de 2018

Para constancia firman.

Ing. Mg. Juan Garcés

Ing. Mg. Christian Medina

DEDICATORIA

A Dios por ser la luz de mi vida, porque jamás abandona ninguno de los pasos que mi amada familia y yo damos.

A mi madre, aquella mujer que posee mi total admiración, que se ha encargado de enseñarme el significado de fortaleza, valentía y amor siendo el mejor ejemplo de ello.

A mi abuelita Marcelita por ser mi segunda madre y cumplir de la mejor manera el rol de padre para mi corazón.

A mis tías que han sabido siempre apoyarme e impulsarme, desde una sonrisa inocente de mi Rosita hasta el más destacado modelo de superación de María José.

A mis hermanas por ser mi motivación y demostrar que solo van superando las virtudes de todas en nuestro hogar.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios, padre celestial que es la fortaleza, soporte, guía y fuente de amor para todo mi hogar.

A la mejor madre del mundo, por ser mi mejor amiga, confidente, apoyo y ejemplo en todo ámbito de mi vida.

A la abuelita más incondicional por tratarme como su hija más consentida.

A mis tías y hermanas por ser fundamentales en mi desarrollo como ser humano.

A toda mi familia en sí, por dedicarme tanto esfuerzo y amor.

A todas aquellas personas que formaron parte de mi vida en estos años lejos de casa y aportaron con sus buenos corazones de alguna u otra manera para mi bienestar.

A la Universidad Técnica de Ambato por las facilidades brindadas para la presente investigación.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por el enriquecimiento en conocimientos generado durante toda la carrera.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

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

B. CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1 Tectónica de Placas	4
2.1.2 Terremotos.....	7
2.1.3 Medición de las dimensiones sísmicas.....	10
2.1.4 Peligrosidad Sísmica	13
2.1.5 Régimen Tectónico	15
2.1.6 Distancia fuente - sitio.....	15
2.1.7 Ensayo de Penetración Estándar	16
2.1.8 Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo	16

2.2 HIPÓTESIS	17
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	17
2.3.1 Variable Dependiente	17
2.3.2 Variable Independiente.....	17
CAPÍTULO III.....	18
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	18
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	18
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	19
3.3.1 Variable Independiente.....	19
3.3.2 Variable Dependiente	20
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	20
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	21
CAPÍTULO IV	22
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	22
4.1.1 Sismicidad Histórica	22
4.1.2 Selección de Fallas Geológicas.....	23
4.1.3 Magnitud de las Fallas Geológicas	25
4.1.4 Características del suelo	25
4.1.4.1 Tipos de Perfiles de Suelos	25
4.1.4.2 Clasificación del suelo	32
4.1.4.3. Velocidad media de la onda cortante V_{s30}	38
4.1.5 Ecuaciones de atenuación.....	39
4.1.5.1 Ecuaciones de atenuación para régimen tectónico cortical	39
4.1.5.1.1 Modelo Akkar y Bommer (2010).....	39
4.1.5.1.2 Modelo Boore y Atkinson (2008)	41
4.1.5.1.3 Modelo Kanno (2006)	44
4.1.5.2 Ecuaciones de atenuación para régimen tectónico de subducción	45
4.1.5.2.1 Modelo Youngs (1997).....	45
4.1.5.2.2 Modelo Zhao (2006).....	46
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	47
4.2.1 Cálculo de Espectros	47
4.2.1.1 Espectros para cada modelo de atenuación	48
4.2.1.1.1 Espectros calculados con el modelo de Akkar y Bommer (2010)	48
4.2.1.1.2 Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson (2008).....	49
4.2.1.1.3 Espectros calculados con el modelo de Kanno (2006)	50
4.2.1.1.4 Espectros calculados con el modelo de Youngs (1997)	50
4.2.1.1.5 Espectros calculados con el modelo de Zhao (2006)	51
4.2.1.2 Espectros para cada falla geológica seleccionada	51
4.2.1.2.1 Espectros para la Falla Huachi.....	51
4.2.1.2.2 Espectros para la Falla Ambato.....	52
4.2.1.2.3 Espectros para la Falla Totoras	52
4.2.1.2.4 Espectros para la Falla de Subducción	53

4.2.1.3 Espectros para cada falla geológica seleccionada comparados al de la NEC-15	53
4.2.1.3.1 Espectros para la Falla Huachi comparados al espectro de la NEC-15..	53
4.2.1.3.2 Espectros para la Falla Ambato comparados al espectro de la NEC-15	54
4.2.1.3.3 Espectros para la Falla Totoras comparados al espectro de la NEC-15	54
4.2.1.3.4 Espectros para la Falla de Subducción comparados al espectro de la NEC-15	55
4.2.1.4 Espectros de todos los modelos y fallas comparados al de la NEC-15	55
4.2.1.5 Espectro Específico comparado al de la NEC-15.....	56
4.2.2 Evaluación Estructural	57
4.2.2.1 Edificación uno.....	58
4.2.2.1.1 Período de vibración.....	59
4.2.2.1.2 Participación modal de masa	60
4.2.2.1.3 Cortante Basal	60
4.2.2.1.4 Derivas	62
4.2.2.2 Edificación dos	66
4.2.2.2.1 Período de vibración.....	67
4.2.2.2.2 Participación modal de masa	68
4.2.2.2.3 Cortante Basal	68
4.2.2.2.4 Derivas	70
4.2.2.3 Edificación tres	73
4.2.2.3.1 Período de vibración.....	74
4.2.2.3.2 Participación modal de masa	75
4.2.2.3.3 Cortante Basal	75
4.2.2.3.4 Derivas	77
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	80
CAPÍTULO V	81
5.1 CONCLUSIONES	81
5.2 RECOMENDACIONES	82
C. MATERIAL DE REFERENCIA	83
1. BIBLIOGRAFÍA	83
2. ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. ESCALA DE INTENSIDAD MODIFICADA DE MERCALLI.....	11
TABLA II. REGRESIONES DE LONGITUD DE RUPTURA, ANCHO DE RUPTURA, ÁREA DE RUPTURA Y MAGNITUD DE MOMENTO	12
TABLA III. VALORES DE Z EN FUNCIÓN A LA ZONA SÍSMICA ADOPTADA	14
TABLA IV. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.....	19
TABLA V. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE	20
TABLA VI. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	20
TABLA VII. CARACTERÍSTICAS DE FALLAS GEOLÓGICAS SELECCIONADAS	24
TABLA VIII. VALORES DE MAGNITUD DE MOMENTO.....	25
TABLA IX. PERFILES DE SUELO	26
TABLA X. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 1	27
TABLA XI. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 2.....	28
TABLA XII. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 3	29
TABLA XIII. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 4.....	30
TABLA XIV. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 5	31
TABLA XV. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	32
TABLA XVI. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 1	33
TABLA XVII. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 2.....	34
TABLA XVIII. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 3	35
TABLA XIX. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 4	36
TABLA XX. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 5.....	37
TABLA XXI. CORRELACIONES ENTRE NSPT - VS.....	38
TABLA XXII. VALORES DE V_{s30}	39
TABLA XXIII. VALORES DE VARIABLES FICTICIAS PARA DIFERENTES TIPOS DE FALLAS.....	42
TABLA XXIV. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO	47
TABLA XXV. VALORES DEL ESPECTRO ESPECÍFICO	56
TABLA XXVI. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN UNO	58
TABLA XXVII. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EDIFICACIÓN UNO	59
TABLA XXVIII. PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN MODAL DE MASA EDIFICACIÓN UNO	60
TABLA XXIX. VALORES DE DERIVAS ESTÁTICAS EDIFICACIÓN UNO	63
TABLA XXX. VALORES DE DERIVAS DINÁMICAS EDIFICACIÓN UNO	64
TABLA XXXI. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN DOS	66
TABLA XXXII. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EDIFICACIÓN DOS	67
TABLA XXXIII. PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN MODAL DE MASA EDIFICACIÓN DOS	68
TABLA XXXIV. VALORES DE DERIVAS ESTÁTICAS EDIFICACIÓN DOS	70
TABLA XXXV. VALORES DE DERIVAS DINÁMICAS EDIFICACIÓN DOS	71
TABLA XXXVI. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN TRES	73
TABLA XXXVII. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EDIFICACIÓN DOS	74
TABLA XXXVIII. PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN MODAL DE MASA EDIFICACIÓN TRES.....	75
TABLA XXXIX. VALORES DE DERIVAS ESTÁTICAS EDIFICACIÓN TRES	77
TABLA XL. VALORES DE DERIVAS DINÁMICAS EDIFICACIÓN TRES	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Direcciones y velocidades del movimiento de las placas en centímetros al año.....	4
Fig. 2. Proceso de ruptura de una placa continental y formación de corteza oceánica, a partir de fuente de calor en el interior de la tierra.	5
Fig. 3. Diagrama de un límite convergente entre dos placas.....	6
Fig. 4. Límite de falla transformante.	7
Fig. 5. Foco y epicentro de un terremoto.	8
Fig. 6. Falla normal.....	9
Fig. 7. Falla inversa.....	9
Fig. 8. Falla transformante.	10
Fig. 9. Proceso para determinar gráficamente la magnitud Richter.	11
Fig. 10. Mapa de zonificación sísmica.....	14
Fig. 11. Relaciones entre medidas de distancias utilizadas en el desarrollo de las relaciones de movimiento de suelo.	16
Fig. 12. Fallas geológicas del Ecuador.	23
Fig. 13. Fallas geológicas de Ambato.....	24
Fig. 14. Espectros de aceleración modelo Akkar y Bommer.	48
Fig. 15. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson.....	49
Fig. 16. Espectros de aceleración modelo Kanno.....	50
Fig. 17. Espectro de aceleración modelo Youngs.	50
Fig. 18. Espectro de aceleración modelo Zhao.	51
Fig. 19. Espectros de aceleración para la falla Huachi.	51
Fig. 20. Espectros de aceleración para la falla Ambato.....	52
Fig. 21. Espectros de aceleración para la falla Totoras.....	52
Fig. 22. Espectros de aceleración para la falla de subducción.	53
Fig. 23. Comparación entre espectros de la falla Huachi y el de la NEC-15.....	53
Fig. 24. Comparación entre espectros de la falla Ambato y el de la NEC-15.....	54
Fig. 25. Comparación entre espectros de la falla Totoras y el de la NEC-15.	54
Fig. 26. Comparación entre espectros de la falla de subducción y el de la NEC-15.....	55
Fig. 27. Comparación entre todos los espectros obtenidos y el de la NEC-15.	55
Fig. 28. Comparación entre el espectro específico obtenido y el de la NEC-15.....	57
Fig. 29. Modelación estructural de la edificación uno.....	59
Fig. 30. Cortante Estático edificación uno	61
Fig. 31. Cortante Dinámico en sentido X edificación uno.....	61
Fig. 32. Cortante Dinámico en sentido Y edificación uno.....	62
Fig. 33. Deriva Inelástica Estática en sentido X de la edificación uno.....	63
Fig. 34. Deriva Inelástica Estática en sentido Y de la edificación uno.....	64
Fig. 35. Deriva Inelástica Dinámica en sentido X de la edificación uno.	65
Fig. 36. Deriva Inelástica Dinámica en sentido Y de la edificación uno.	65
Fig. 37. Modelación estructural de la edificación dos.	67
Fig. 38. Cortante Estático edificación dos	68
Fig. 39. Cortante Dinámico en sentido X edificación dos	69

Fig. 40. Cortante Dinámico en sentido Y edificación dos	69
Fig. 41. Deriva Inelástica Estática en sentido X de la edificación dos.	70
Fig. 42. Deriva Inelástica Estática en sentido Y de la edificación dos.	71
Fig. 43. Deriva Inelástica Dinámica en sentido X de la edificación dos.	72
Fig. 44. Deriva Inelástica Dinámica en sentido Y de la edificación dos.	72
Fig. 45. Modelación estructural de la edificación tres.	74
Fig. 46. Cortante Estático edificación tres	75
Fig. 47. Cortante Dinámico en sentido X edificación tres	76
Fig. 48. Cortante Dinámico en sentido Y edificación tres	76
Fig. 49. Deriva Inelástica Estática en sentido X de la edificación tres.	77
Fig. 50. Deriva Inelástica Estática en sentido Y de la edificación tres.	78
Fig. 51. Deriva Inelástica Dinámica en sentido X de la edificación tres.	79
Fig. 52. Deriva Inelástica Dinámica en sentido Y de la edificación tres.	79

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A

Fotografía 1. Instalación en sitio del equipo.	86
Fotografía 2. Colocación de las medidas límites	86
Fotografía 3. Extracción de la cuchara partida.	87
Fotografía 4. Obtención de la muestra de suelo.	87
Fotografía 5. Ensayo granulométrico a las muestras de suelo.	88
Fotografía 6. Pesaje de las porciones de muestra de suelo retenidas en cada tamiz.	88

ANEXO B. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE AKKAR Y BOMMER 2010

B-1. Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral.....	89
B-1. Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral (continuación)	90

ANEXO C. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE BOORE Y ATKINSON 2008

C-1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del período	92
C-2. Coeficientes de escala de distancia (Mref = 4.5 y Rref = 1.0 km para todos los períodos. excepto Rref = 5.0 km para pga4nl).....	93
C-3. Coeficientes de escala de magnitud	94

ANEXO D. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE KANNO 2006

D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales	95
D-2. Valores de términos de corrección adicional	96

ANEXO E. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE YOUNGS 1997

E-1. Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) para terremotos de subducción para el suelo	97
---	----

ANEXO F. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE ZHAO 2006

F-1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria	97
F-2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción	98

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR SAN ANTONIO”

AUTOR: Doménica Isabel Constante Ibarra

TUTOR: Ing. Mg. Carlos Navarro

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo experimental se desarrolla una investigación para evaluar el peligro sísmico de manera determinista a base de la utilización de ecuaciones de predicción de movimiento de suelo y lo necesario para el desarrollo de las mismas, como la velocidad de onda cortante V_s , tipo de falla, magnitud de momento M_w y distancia más cercana a la proyección de la superficie de falla r_{jb} ; la finalidad es obtener espectros de aceleración tanto para régimen cortical como de subducción que rigen en el área de estudio. Una vez obtenido cada espectro para cada falla y modelo de atenuación planteado se procede a realizar una envolvente con los valores máximo de aceleración en diferentes períodos de cada uno de ellos, dicha envolvente será conocida como espectro específico y comparado con el espectro de la NEC-15. Como resultado de esa comparación se determinó que el espectro normado abarca satisfactoriamente a las aceleraciones máximas obtenidas en el estudio.

ABSTRACT

This research is developed to evaluate the seismic hazard in a deterministic way based on the use of prediction equations of soil movement and what is necessary for the development of them, such as the cutting wave speed V_s , fault type, moment magnitude M and distance to the projection on the surface of the fault r_{jb} ; the purpose is to obtain acceleration spectra for both cortical and subduction regimes that apply in the study area. Once each spectrum for each failure and attenuation model has been obtained, an envelope with the maximum acceleration values is carried out in different periods of each of them, this envelope will be known as a specific spectrum and compared with the spectrum of the NEC-15. As a result of this comparison, it was determined that the normed spectrum satisfactorily covers the maximum accelerations obtained in the study.

CAPÍTULO I

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE AMBATO SECTOR SAN ANTONIO.

1.2 ANTECEDENTES

Según Correa, C. considera: “La sismicidad histórica del Ecuador ha sido poco vinculada en el contexto de peligro sísmico; es importante la actualización de este tema en base al análisis de intensidades máximas registradas, estimación de aceleraciones máximas probables y energía sísmica liberada, resultados obtenidos permiten observar la relación que existe entre un evento sísmico y el tipo de material en donde tiene lugar, además el posible fenómeno al cual se encontraría asociado en un contexto tectónico regional, lo cual consecuentemente permite evaluar zonas generales de peligro sísmico.” [1]

Según Alvarado y Valdebenito consideran: “Entre los elementos que permiten cuantificar el peligro sísmico a nivel local, juegan papel fundamental los estudios de microzonificación. Estos estudios revisten una vital importancia, ya que mediante una microzonificación sísmica se puede dividir el territorio en áreas con características dinámicas similares y posteriormente generar directrices constructivas para la correcta edificación antisísmica, particularizando cada obra según el tipo de suelo en que será fundada.” [2]

Según Quinde y Reinoso consideran: “El principal objetivo de un estudio de peligro sísmico es el de caracterizar, de la manera más precisa posible, los niveles de movimiento del terreno que deberá soportar una determinada estructura. Se busca que el nivel de demanda sísmica se encuentre asociado a un nivel de desempeño de la estructura determinado previamente, de manera que se puedan controlar los daños que ocasionaría el evento sísmico.” [3]

Según Dr. Chunga considera: “Los resultados del análisis de riesgo sísmico determinístico son presentados como: (1) la individualización de modelos sismotectónicos y de estructuras sismogénicas (fallas activas y capaces), (2) identificación del posible máximo terremoto asociada con cada estructura sismogénica y con cada región sismotectónica, (3) una apropiada relación de atenuación que determina el movimiento sísmico en el terreno, y (4) la media de la aceleración máxima horizontal en el terreno.” [4]

Según Dr. Aguiar considera: “En todo estudio de peligrosidad sísmica se debe definir una ley de atenuación de los movimientos del suelo, la filosofía de esta ley es que con la distancia los movimientos del suelo disminuyen.” [5]

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los terremotos y los fenómenos asociados a ellos han sido protagonistas de un número inconmensurable de pérdidas humanas y materiales a lo largo de la historia. Los movimientos sísmicos no distinguen lugar ni momento, en especial si se habla de Sudamérica, en donde varios países, entre ellos Ecuador, se ven afectados por la existencia del cinturón de fuego, que tuvo lugar a causa de la tectónica de placas, el movimiento y colisión entre ellas, e incluye el 75% de los volcanes activos del mundo y también es responsable del 90% de los terremotos, dándole la capacidad de afectar de manera simultánea y con alta intensidad a los diferentes países que abarca. [6], [7]

En Ecuador, entre el interior estable de la placa América del Sur y la fosa de subducción se extiende una zona de deformación, que comprende la Cordillera y la planicie costera; el territorio ecuatoriano está situado sobre la zona de frontera de placa que acomoda el movimiento de la convergencia de la placa oceánica Nazca hacia el continente sudamericano, lo que lleva a que el país posea actividad sísmica intensa en el cinturón de fuego, a causa del movimiento constante de placas, lo que produce acumulación de tensión a liberar. Considerando este peligro sísmico inminente y con cuantificación de datos de aceleración,

velocidad, desplazamiento y magnitud, se establece una zonificación sísmica del país dividiendo el mapa en 6 zonas. Cabe recalcar que el nororiente y litoral ecuatoriano presenta una amenaza sísmica intermedia y muy alta respectivamente. [8], [9], [10]

En el sismo de Chile de 2010 quedó en manifiesto, una vez más, que las condiciones locales del suelo tienen un papel fundamental en la respuesta estructural, siendo así que los lugares más alejados del epicentro sufrieron mayor daño por su tipo de suelo malo, mientras que en zonas cercanas el daño fue mínimo debido a la mejor resistencia del suelo. Ambato siendo una ciudad ubicada en una zona sísmica alta no cuenta con condiciones locales de suelo para el diseño de estructuras, por lo que la necesidad de obtener este tipo de datos impulsa la realización de este trabajo con la finalidad de obtener información de calidad y sobre todo útil para ejecutar estructuras con mejores características sísmo resistentes. [8], [5]

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de Ambato sector San Antonio ubicado entre las calles Quis Quis, Av. Pichincha, Av. Rumiñahui y Los Shyris.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio
- Verificar el comportamiento estructural mediante análisis de tres estructuras tipo del sitio de estudio.
- Comparar el espectro obtenido con el espectro general dado por la NEC-15.

CAPÍTULO II

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

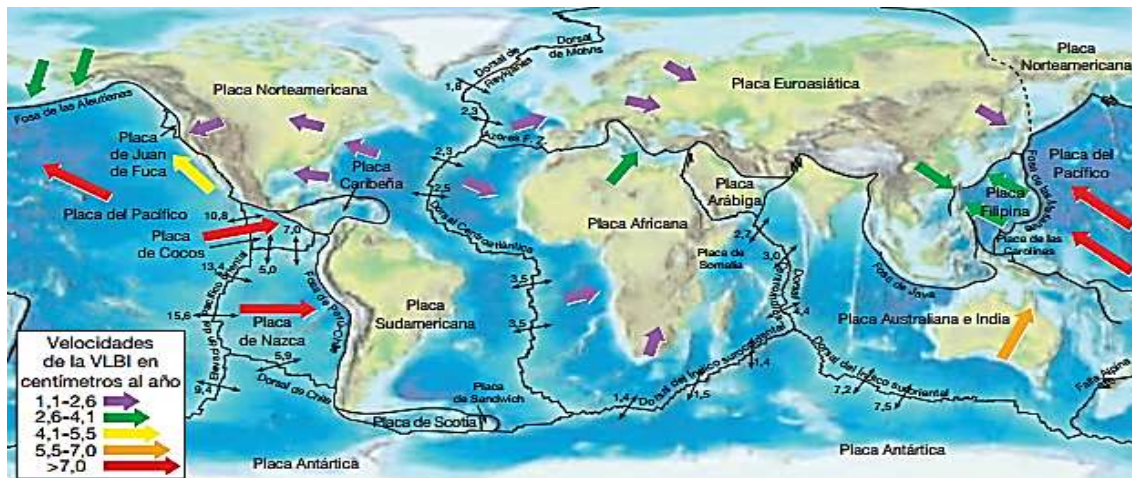
2.1.1 Tectónica de Placas

La estructuración de la tierra está muy bien definida por capas concéntricas que influyen directamente en procesos geológicos observables en el entorno, debido a que se manifiestan sobre todo, en la litosfera y en la corteza terrestre. [11]

Al examinar la superficie terrestre por medio de sistemas satelitales especializados y consideraciones geofísicas correspondientes, se observa que la litosfera está dividida en una serie de placas de hasta 100 Km de espesor, denominadas como placas tectónicas. Estas placas pueden desplazarse lateralmente, puesto que, en la profundidad, se deslizan sobre una capa viscosa denominada astenosfera. Se ha podido establecer que estas placas presentan distintos tipos de límites laterales, de acuerdo con los procesos que ocurren a lo largo de ellos, distinguiendo así límites. Tanto en estos límites como en el interior de las placas se suscitan terremotos y erupciones volcánicas, en especial en los convergentes y divergentes. [11]

Las placas tectónicas están compuestas por una variedad de rocas desde la superficie de la tierra hasta el manto superior, entre los límites de las placas se encuentran sectores de corteza oceánica y de corteza continental, lo que significa que las placas presentan una constitución altamente compleja. [11]

Fig. 1. Direcciones y velocidades del movimiento de las placas en centímetros al año



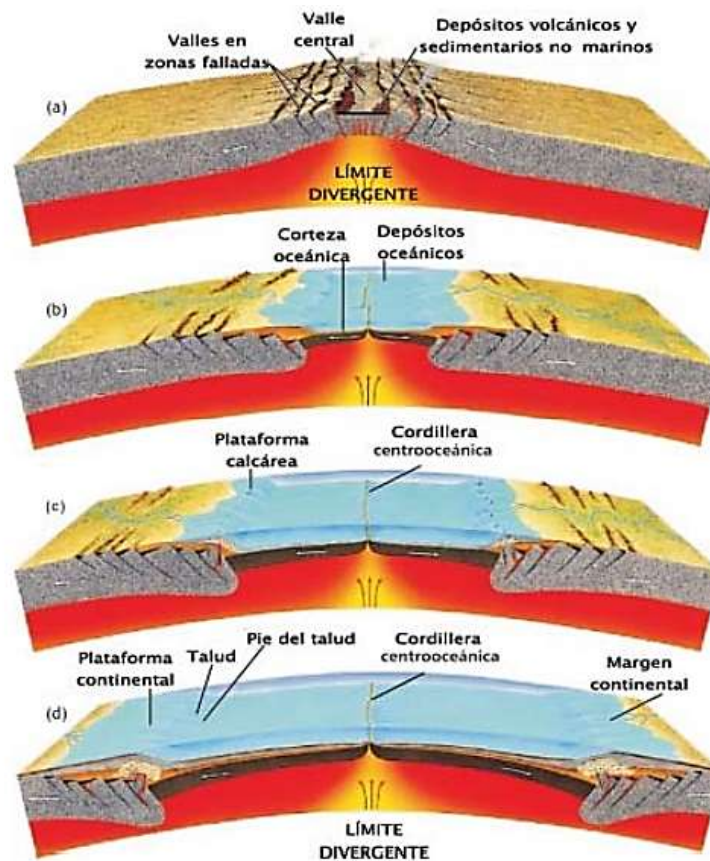
Fuente: Ciencias de la Tierra 8a ed.

Funcionamiento de las placas:

Las placas se deslizan de manera lateral y se reciclan en el interior de la tierra, en este proceso se producen cambios en la composición del manto y la corteza terrestre, de los océanos y la atmósfera, y de la biosfera. También ocurren terremotos, erupciones volcánicas, levantamientos y hundimientos de terreno, entre otros. La variedad de interacciones entre placas se manifiestan, en particular, a lo largo de sus límites. [11]

En los límites divergentes, las placas se separan una de la otra al formarse nueva corteza oceánica. La mayoría estos límites se localizan a lo largo del eje del sistema de dorsales oceánicas y está asociada con la expansión del fondo oceánico, que se produce a velocidades de 2 a 15 centímetros al año. [12]

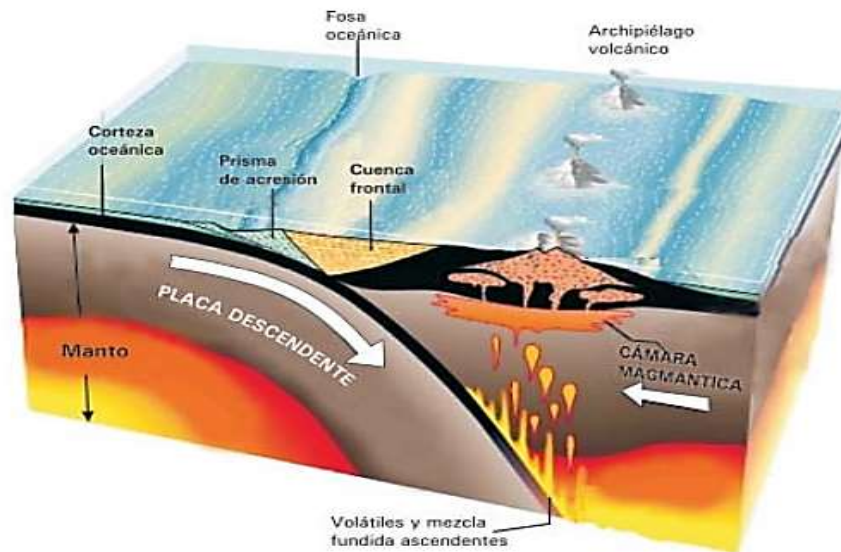
Fig. 2. Proceso de ruptura de una placa continental y formación de corteza oceánica, a partir de fuente de calor en el interior de la tierra.



Fuente: Tectónica de Placas, Iturralde Manuel

En los límites convergentes, las placas colisionan frontalmente, y para acomodar el espacio, una de estas se hunde en el manto donde se recicla, provocando la subducción de la litosfera oceánica en el manto a lo largo de una fosa submarina. La convergencia entre un bloque oceánico y uno continental provoca la subducción de la placa oceánica y la formación de un arco volcánico continental como el de los Andes de Sudamérica. La convergencia océano-océano produce una cadena en forma de arco de islas volcánicas denominada arco de islas volcánicas. Cuando dos placas que transportan corteza continental convergen, las dos placas tienen demasiada capacidad de flotación como para subducir. [12]

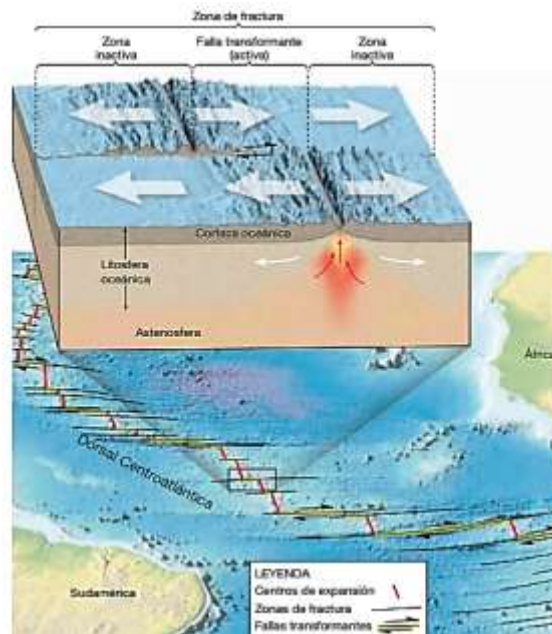
Fig. 3. Diagrama de un límite convergente entre dos placas.



Fuente: Tectónica de Placas, Iturralde Manuel

Los límites de falla transformante se localizan donde las placas se desplazan una con respecto a la otra sin producción ni destrucción de litosfera. La mayoría de las fallas transformantes une dos segmentos de dorsal Oceánica. Otras conectan centros de expansión con zonas de subducción y facilitan así el transporte de la corteza oceánica creada en la cresta de una dorsal a su lugar de destrucción, una fosa submarina. Aún otras, como la falla de San Andrés, atraviesan la corteza continental. [12]

Fig. 4. Límite de falla transformante.



Fuente: Ciencias de la Tierra 8ª ed

2.1.2 Terremotos

Terremoto es la vibración de la Tierra producida por una rápida liberación de energía. De manera frecuente los terremotos se producen por el deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. La energía que se libera irradia ondas sísmicas en todas las direcciones desde el foco o hipocentro, estas ondas se van disipando rápidamente conforme se alejan del foco. [12]

Durante un terremoto se generan dos tipos principales de ondas sísmicas:

Las ondas superficiales que viajan a lo largo de la capa externa de la Tierra, y las ondas de cuerpo que recorren el interior de la Tierra. Las ondas de cuerpo se dividen a su vez en ondas primarias, o P, que comprimen y expanden de las rocas en la dirección del desplazamiento del frente de onda, y las ondas secundarias, o S, que mueven las partículas de roca en ángulo recto con respecto a su dirección de desplazamiento. [12]

Las ondas P pueden viajar a través de sólidos, líquidos y gases. Los fluidos (gases y líquidos) no transmiten las ondas S. En cualquier material sólido, las ondas P viajan aproximadamente 1,7 veces más deprisa que las ondas S. [12]

El temblor de terremoto, junto a la licuefacción de algunos sólidos son los responsables de la devastación en edificios y otras estructuras. Además de posibles incendios por la ruptura de tuberías de gas y líneas de energía, los mismos que no se pueden controlar rápidamente por la ruptura de tuberías de agua que deja a la población sin ésta. [12]

Fig. 5. Foco y epicentro de un terremoto.



Fuente: Ciencias de la Tierra 8ª ed

Fallas

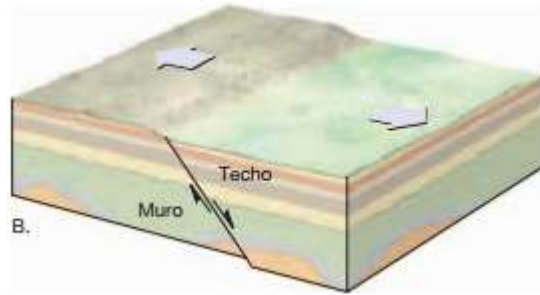
Las fallas son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un deslizamiento apreciable. Normalmente, los terremotos se producen a lo largo de fallas preexistentes que se formaron en el pasado lejano o a lo largo de zonas de fragilidad de la corteza terrestre. [12]

Fallas con deslizamiento vertical

El movimiento es fundamentalmente paralelo a la inclinación de la superficie de falla. Los dos tipos principales de este tipo de fallas son:

Fallas Normales son aquellas cuando el bloque de techo (superficie rocosa que está inmediatamente por encima de la falla) se desplaza hacia abajo en relación con el bloque de muro (superficie de roca inferior). La mayoría de este tipo de fallas tiene inclinaciones de unos 60° , que tienden a disminuir con la profundidad. [12]

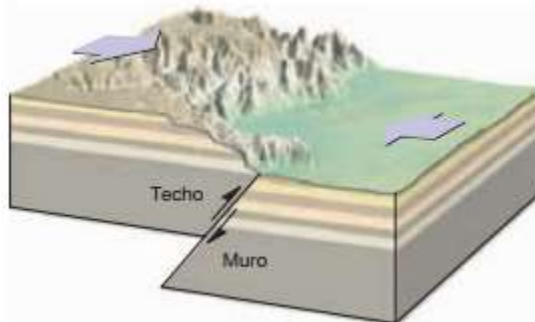
Fig. 6. Falla normal.



Fuente: Ciencias de la Tierra 8ª ed

Fallas inversas y cabalgamientos son aquellas cuando el bloque de techo se mueve hacia arriba con respecto al bloque de muro. Recordemos que las fallas inversas tienen inclinaciones superiores a 45° y que los cabalgamientos tienen inclinaciones inferiores a 45° . Dado que el bloque de techo se mueve hacia arriba y sobre el bloque de muro, las fallas inversas y los cabalgamientos reflejan un acortamiento de la corteza. [12]

Fig. 7. Falla inversa.

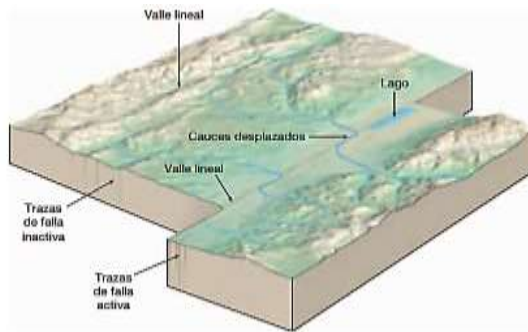


Fuente: Ciencias de la Tierra 8ª ed

Fallas de deslizamiento horizontal

El deslizamiento dominante es horizontal y paralelo a la dirección de la superficie de falla. Grandes fallas de desplazamiento horizontal, denominadas Fallas Transformantes, acomodan el desplazamiento entre bordes de placas. La mayoría de las fallas transformantes corta la litosfera oceánica y conecta centros de expansión. [12]

Fig. 8. Falla transformante.



Fuente: Ciencias de la Tierra 8ª ed

2.1.3 Medición de las dimensiones sísmicas

Históricamente se ha utilizado varios métodos para la obtención de dos medidas fundamentalmente diferentes que describen el tamaño el tamaño de un terremoto: la intensidad y la magnitud. La primera que se utilizó fue la intensidad, una medición del grado del temblor del terreno en un punto determinado basada en la cantidad de daños. Con el desarrollo de los sismógrafos, se hizo evidente que una medición cuantitativa de un terremoto basa en registros sísmicos era más convenientes que los cálculos personales inexactos. [12]

La medición que se desarrolló, denominada magnitud, se basa en los cálculos que utilizan los datos proporcionados por los registros sísmicos para calcular la cantidad de energía liberada en la fuente del terremoto. [12]

Escalas de Intensidad

En particular, las escalas de intensidad se basan en los efectos (en gran medida la destrucción) de los terremotos que dependen no solamente de la gravedad del temblor del suelo, sino también de factores, como la densidad de población, el diseño de los edificios y la naturaleza de los materiales superficiales. La escala de intensidad modificada de Mercalli (Tabla I) utiliza los daños a los edificios para calcular la intensidad del temblor del terreno. [12]

TABLA I. ESCALA DE INTENSIDAD MODIFICADA DE MERCALLI

I	No sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido sólo por unas pocas personas en reposo, especialmente en los pisos elevados de los edificios.
III	Sentido con bastante nitidez en los interiores, especialmente en los pisos superiores de los edificios, pero muchas personas no lo reconocen como un terremoto.
IV	Durante el día, sentido en interiores de edificios por muchas personas, en los exteriores por muy pocas. Sensación de que un camión pesado haya chocado contra el edificio.
V	Sentido por casi todo el mundo, muchos se despiertan. A veces se observan cambios en los árboles, los postes y otros objetos altos.
VI	Sentido por todos; muchos se asustan y salen a la calle. Algunos muebles pesados se mueven; pocos casos de paredes caídas o chimeneas dañadas. Poco daño.
VII	Todo el mundo corre a la calle. Daño despreciable en los edificios de diseño y construcción buenos; de ligero a moderado en las estructuras de construcción ordinaria; considerable en los edificios pobres o con estructuras mal diseñadas.
VIII	Daño ligero en estructuras especialmente diseñadas; considerable en edificios sustanciales ordinarios con derrumbamiento parcial; grande en estructuras mal construidas (caída de chimeneas, columnas, monumentos, muros).
IX	Daño considerable en estructuras especialmente diseñadas. Los edificios son desplazados de sus cimientos. Se abren grietas en el suelo.
X	Se destruyen algunas estructuras de madera bien construidas. La mayoría de las estructuras de albañilería y madera se destruyen. Se abren muchísimas grietas en el terreno.
XI	Quedan de pie muy pocas estructuras, si queda alguna. Se destruyen los puentes; grandes fisuras en el terreno.
XII	Daño total. Se ven ondas en el suelo. Los objetos son lanzados al aire.

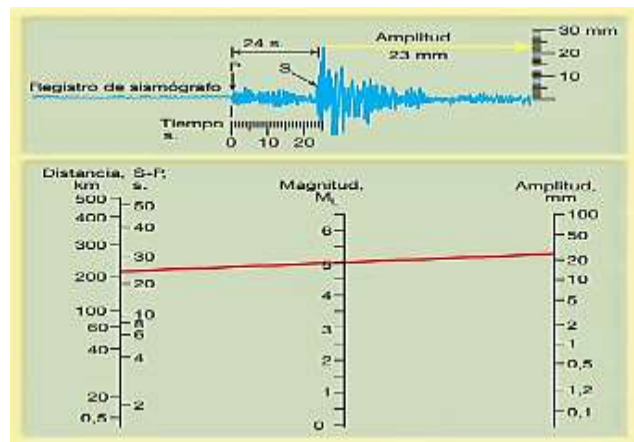
Fuente: Fuente: Ciencias de la Tierra 8ª ed

Escalas de Magnitud

Con el fin de comparar los terremotos a nivel mundial era necesaria una medición que no se basara en parámetros constructivos, ya que varían de un lugar a otro. La magnitud se calcula a partir de los registros sísmicos y estima la cantidad de energía liberada en el origen de un terremoto. [12]

Magnitud de Richter se determina la magnitud de un terremoto midiendo la amplitud, desplazamiento máximo, de la mayor onda sísmica registrada. Para expresar la magnitud se utiliza una escala logarítmica, en la cual a un incremento de 10 en la vibración del terreno corresponde un aumento de 1 en la escala de magnitud. [12]

Fig. 9. Proceso para determinar gráficamente la magnitud Richter.



Fuente: Ciencias de la Tierra 8ª ed

Magnitud de momento es la cantidad de energía liberada por un sismo a partir de momento sísmico, el cual se define así:

$$MO = \mu * D * A \quad (1)$$

En la cual MO es el momento sísmico, μ es el módulo de deformación, D es el desplazamiento promedio de la falla y A es el área del segmento que sufrió la ruptura. [13]

Se utiliza en la actualidad para calcular las dimensiones de los terremotos medianos a grandes. Se calcula utilizando el desplazamiento medio de la falla, el área de la superficie de falla y la resistencia a la cizalla de la roca fallada. [12]

Se puede hallar relaciones empíricas entre la magnitud de momento, longitud de ruptura, ancho de ruptura y área de ruptura (Tabla II). [14]

TABLA II. REGRESIONES DE LONGITUD DE RUPTURA, ANCHO DE RUPTURA, ÁREA DE RUPTURA Y MAGNITUD DE MOMENTO

Ecuación*	Slip Type†	Number of Events	Coefficients and Standard Errors		Standard Deviation σ	Correlation Coefficient r	Magnitude Range	Length/Width Range (km)
			$a(s)$	$b(s)$				
$M = a + b * \log(SRL)$	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
$\log(SRL) = a + b * M$	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
$M = a + b * \log(RLD)$	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
$\log(RLD) = a + b * M$	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
$M = a + b * \log(RW)$	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
$\log(RW) = a + b * M$	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
$M = a + b * \log(RA)$	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
$\log(RA) = a + b * M$	SS	83	-3.42(0.18)	0.90(0.03)	0.22	0.96	4.8 to 7.9	3 to 5,184
	R	43	-3.99(0.36)	0.98(0.06)	0.26	0.94	4.8 to 7.6	2.2 to 2,400
	N	22	-2.87(0.50)	0.82(0.08)	0.22	0.92	5.2 to 7.3	19 to 900
	All	148	-3.49(0.16)	0.91(0.03)	0.24	0.95	4.8 to 7.9	2.2 to 5,184

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

Fuente: Wells – Coppersmith 1994

2.1.4 Peligrosidad Sísmica

Está definida como la probabilidad de excedencia de un cierto valor de la intensidad del movimiento del suelo producido por terremotos, en un determinado lugar y durante un período de tiempo dado. [15]

Estudios de peligrosidad sísmica llevan a cabo una estimación de la aceleración máxima del terreno provocada por sismos, basándose en el análisis de los terremotos producidos, su probabilidad de ocurrencia, características de las fuentes sismotectónicas y leyes de atenuación de la energía sísmica. [15]

Las leyes de atenuación para terremotos permiten relacionar empíricamente como varía un cierto parámetro, aceleraciones, velocidades, desplazamientos horizontales y verticales e intensidades en función de la distancia hipocentral o epicentral y magnitud. [16]

Los métodos para la evaluación de peligrosidad sísmica son dos:

Deterministas, consideran que los terremotos en el futuro se producirán de forma similar a como lo hicieron en el pasado y conducen a la estimación de los límites superiores del movimiento, expresados por los valores máximos del parámetro empleado para su descripción; este método requiere conocer el máximo sismo potencial o del terremoto característico. [15]

Probabilistas, deducen las relaciones de recurrencia de los fenómenos sísmicos de una zona, a partir de la información existente en la misma y con ellas obtiene las funciones de probabilidad de los parámetros buscados. Necesitan la estimación previa de leyes de recurrencia de los sismos en cada falla. [15]

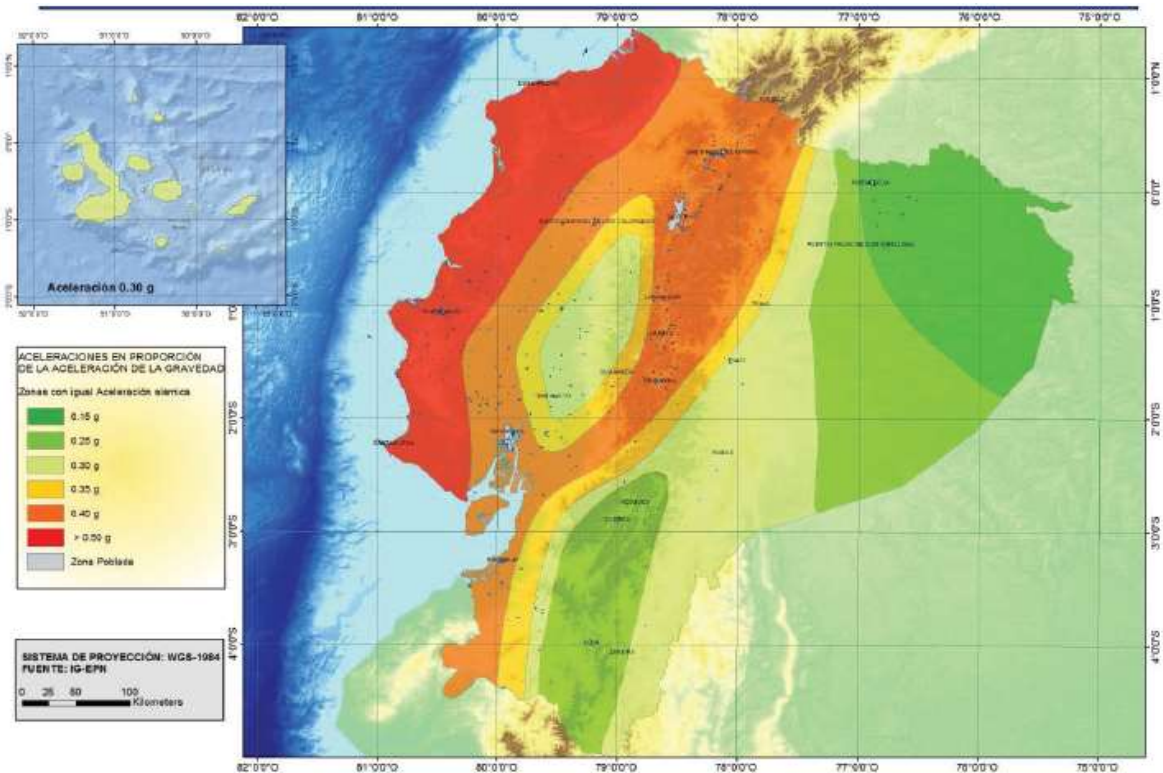
La Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo de peligro sísmico, NEC_SE_DS, detalla el proceso con los respectivos parámetros a considerar, aplicando la filosofía de diseño basada en el desempeño, que busca evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de todo tipo de estructuras. [8]

Zonificación sísmica en Ecuador

Para la construcción de edificios normales en el país se usa el valor de Z , que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de

la aceleración de la gravedad. El Ecuador tiene seis valores de Z (Tabla III) que dividen al mismo en seis zonas sísmicas que se representan en un mapa, el cual proviene del resultado de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años, período de retorno 475 años, que incluye una saturación a 0.5g de los valores de la aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [8]

Fig. 10. Mapa de zonificación sísmica.



Fuente: NEC_SE_DS 2015

TABLA III. VALORES DE Z EN FUNCIÓN A LA ZONA SÍSMICA ADOPTADA

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC_SE_DS 2015

2.1.5 Régimen Tectónico

En Ecuador el peligro sísmico se caracteriza por dos clases de regímenes tectónicos principalmente, los mismos que son:

- Subducción (interplaca e intraplaca)
- Corticales

En cada uno de ellos se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente. Los sismos interplaca cuya profundidad referencial es menor a 40 Km corresponden a los sismos que se generan por el roce entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia. Los sismos intraplaca con una rango referencial de profundidad entre 40 y 300 Km corresponde a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, localizados dentro de la placa oceánica de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana. Los sismos corticales con profundidad referencia menor a 40 Km corresponden a los sismos superficiales que ocurren dentro de la placa Sudamericana. [3]

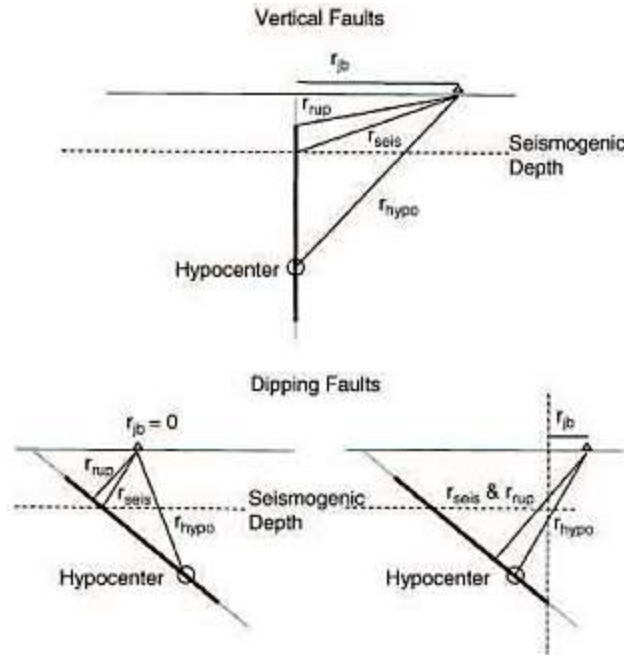
2.1.6 Distancia fuente - sitio

Es el parámetro utilizado para caracterizar la disminución del movimiento de suelo en términos de atenuación geométrica e inelástica. [13]

Las tres distancias que son utilizadas en la determinación de las relaciones de movimiento de suelo son:

- r_{jb} , distancia Joyner y Boore, es la más cercana a la distancia horizontal de la proyección vertical del plano de ruptura. Es bastante utilizada debido a que es la más fácil de estimar.
- r_{rup} , distancia más cercana al plano de ruptura.
- r_{seis} , distancia más cercana a la zona sismogénica del plano de ruptura. [13]

Fig. 11. Relaciones entre medidas de distancias utilizadas en el desarrollo de las relaciones de movimiento de suelo.



Fuente: Abrahamson y Shedlock 1997

2.1.7 Ensayo de Penetración Estándar

El ensayo de penetración estándar (SPT) tiene por objeto valorar, en el fondo de un sondeo, la resistencia de los suelos a la penetración dinámica de un toma muestras tubular partido y la recuperación de muestras alteradas con propósitos de identificación. [17]

El ensayo de penetración estándar se utiliza principalmente para determinar los parámetros de resistencia y de deformación de los suelos sin cohesión, aunque se pueden obtener algunos datos de interés en otros tipos de suelo. [17]

El fundamento del ensayo consiste en hincar un toma muestras dejando caer una maza de 63,5 kg sobre una cabeza de impacto o yunque desde una altura de 760 mm. El número de golpes (N) necesario para alcanzar una penetración del toma muestras de 300 mm (después de su penetración por gravedad y por debajo de una penetración de asiento) es la resistencia a la penetración. [17]

2.1.8 Ecuaciones de predicción de movimiento de suelo

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

local del suelo. Dichas expresiones son mejor conocida como ecuaciones de predicción de movimiento de suelo, la más básica forma de ecuaciones siguiendo los principios de la sismología puede ser la siguiente:

$$\ln Y = c_1 + c_2 M - c_3 \ln R - c_4 R + \varepsilon \quad (2)$$

En la cual, $\ln Y$ es el logaritmo natural del parámetro que se va a utilizar, M es la magnitud del evento, el término $c_2 M$ consistente con la definición de magnitud como una medida logarítmica de la amplitud de la señal sísmica. [13]

R , es la distancia desde el origen del evento hasta el sitio de registro del evento o puede ser un término que la relacione; $c_3 \ln R$ se relaciona con la dispersión geométrica del frente de la onda sísmica al propagarse lejos de la fuente del sismo, c_3 dependerá del tipo de onda que será analizada y ε es el error aleatorio con una medida de cero y una desviación estándar de $\sigma \ln Y$. [13]

Las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo (GMPE), que dan medidas de intensidad de movimiento en tierra tales como movimientos de tierra pico o espectros de respuesta en función de la magnitud del terremoto y distancia, son herramientas importantes en el análisis del peligro sísmico. Estas ecuaciones típicamente se desarrollan empíricamente mediante una regresión de movimientos fuertes registrados, datos de amplitud versus magnitud, distancia y posiblemente otras variables predictivas. [18]

2.2 HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del sector San Antonio de la ciudad de Ambato?

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Nivel de amenazas de las estructuras del sector San Antonio de la ciudad de Ambato.

2.3.2 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

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

Exploratorio debido a que el peligro sísmico para las estructuras del sector San Antonio de la ciudad de Ambato no ha sido realizado, la metodología consiste en evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas correspondientes con el espectro propuesto por la NEC-15.

De laboratorio porque se realizará ensayo de penetración estándar, SPT, para determinar el tipo de perfil de suelo. El laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato será utilizado para ensayar las muestras de suelo obtenidas.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista será realizado para el sector San Antonio de la ciudad de Ambato. Para lo cual es necesario conocer las características geotécnicas del suelo y las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo que serán utilizadas.

Muestra:

Lo recomendado por la NEC-15 es como mínimo tres perforaciones para el respectivo estudio de suelos, debido a que el proyecto es un trabajo experimental y con la finalidad de mayor grado de exactitud en resultados serán cinco las perforaciones a realizar.

Las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo que se utilizarán son:

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

- Youngs (1997)

- Zhao (2006)

Cada una con consideraciones diferentes que serán denotadas y detalladas más adelante, durante el desarrollo del presente trabajo, las mismas que darán como resultado espectros de respuesta en aceleración, mediante esto se obtendrá una envolvente con la cual se analizará tres estructuras dentro del lugar predeterminado con fines comparativos con respecto al análisis con el espectro normado.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

TABLA IV. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Evaluación de los parámetros de movimiento de suelo en un lugar específico debido a la probabilidad de excedencia considerando el máximo sismo producido.	Espectro Determinista	Aceleración	¿Qué valor de aceleración máxima se espera en el sitio?	Experimental
	Máximo Sismo	Magnitud	¿Cuál es el sismo controlador?	Bibliográfica

Elaboración: Doménica Constante

3.3.2 Variable Dependiente

Nivel de amenazas de las estructuras del sector San Antonio de la ciudad de Ambato

TABLA V. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Vulnerabilidad de las estructuras del sitio ante una amenaza sísmica durante un período de vibración determinado.	Suelo Período de vibración	Tipo de suelo Valores del período de vibración	¿Cómo influye el tipo de suelo en el nivel de amenaza? ¿Cómo influye el período de vibración en el nivel de amenaza?	Experimental

Elaboración: Doménica Constante

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

TABLA VI. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
¿Para qué?	Para evaluar el nivel de amenaza sísmica.
¿De qué personas u objetos?	De las estructuras del sector San Antonio
¿Sobre qué aspectos?	Fuentes sísmicas, Distancia fuente – sitio, Magnitud y Suelo, Ecuaciones correspondientes.

¿Quién?	Doménica Isabel Constante Ibarra
¿Dónde?	Sector San Antonio de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.
¿Cómo?	-Investigación bibliográfica -Ensayos de laboratorio -NEC-15 - Por medio de la obtención de espectros de respuesta asociados a las fallas seleccionadas.

Elaboración: Doménica Constante

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El proceso a seguir para cumplir con lo establecido será:

- ✓ Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio.
- ✓ Selección de las fallas relevantes que afectan al área de estudio, basado en Catálogo Sísmico Homogenizado IG-EPN.
- ✓ Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells – Coppersmith. [14]
- ✓ Identificación del tipo de perfil de suelo mediante el ensayo de penetración estándar SPT, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- ✓ Estimar la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo.
- ✓ Comparación de espectros de respuesta obtenidos con respecto al de la NEC-15.
- ✓ Análisis estructural comparativo de tres edificaciones seleccionadas del lugar, con la utilización de la envolvente de los espectros resultantes, y del normado.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Sismicidad Histórica

El Ecuador ha sido protagonista de numerosos sismos a lo largo de la historia y con significativos rangos de daño, siendo de los más relevantes:

- *4 de febrero, 1797*: Región Sierra afectada, magnitud 8.3, terremoto más destructivo en suelo ecuatoriano y uno de los de mayor magnitud en toda su historia.
- *19 de enero, 1958*: Afectación principal Esmeraldas, magnitud 7.8.
- *31 de enero, 1906*: Epicentro en el Pacífico, magnitud 8.8, el sexto más fuerte que se ha registrado en el mundo.
- *14 de mayo, 1942*: Afectación principal Manabí, magnitud 7.8.
- *5 de agosto, 1949*: Epicentro en Ambato, magnitud 6.8, Pelileo desapareció total. Píllaro, un 90%; Guano (Chimborazo), un 80%; Ambato, 75%; 1920 Km² de área afectada, 6000 muertos aproximadamente y alrededor de 100 mil personas sin hogar.
- *8 de abril, 1961*: Afectación principal en Chimborazo, magnitud 7.
- *12 de diciembre, 1979*: Zona fronteriza de Ecuador – Colombia, magnitud 8.1.
- *5 de marzo, 1987*: Epicentro en Napo, magnitud 6.9.
- *2 de octubre, 1995*: En Morona Santiago, magnitud 6.9.
- *4 de agosto, 1998*: Epicentro en Bahía de Caráquez, magnitud 7.1.
- *16 de abril, 2016*: Epicentro Manabí, magnitud 7.8. [19] [20]

Ambato es uno de los lugares con mayor peligro sísmico del Ecuador, respaldando esto se encuentra el acontecimiento del 5 de agosto de 1949, uno de los sismos con mayor devastación registrada. Por lo cual está ubicado en la zona sísmica V, con un valor elevado de aceleración en proporción de la aceleración de la gravedad (factor Z) igual 0.40, caracterizando así al peligro sísmico del lugar como alto. [8]

Debido a esto es necesario realizar trabajos experimentales para determinar con mayor precisión el nivel de afectación de las estructuras de la ciudad.

4.1.2 Selección de Fallas Geológicas

La selección de las fallas geológicas para el presente estudio se da considerando la relevancia de las fuentes sísmicas con mayor afectación al lugar, siendo las más cercanas y en el caso de la de subducción, por ser la mayor fuente desencadenadora de actividad sísmica en el país.

Además es importante recalcar que la distancia fuente-sitio con la que se trabajará es la de Joyner y Boore (r_{jb}) debido a que es la más utilizada por su simplicidad de estimación en comparación a las otras dos ya mencionadas con anterioridad (r_{rup} y r_{seis}).

Fig. 12. Fallas geológicas del Ecuador.



Fuente: IGEPN

Fig. 13. Fallas geológicas de Ambato.



Fuente: IGEPN

Las fallas seleccionadas para el presente estudio y sus respectivas características se detallan en la Tabla VII.

TABLA VII. CARACTERÍSTICAS DE FALLAS GEOLÓGICAS SELECCIONADAS

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	LONGITUD (Km)	DISTANCIA r_{jb} (Km)
EC-223	Subducción	Inversa	1536.5	307
EC-344a	Huachi	Inversa ciega	12	1.9
EC-344b	Ambato	Inversa ciega	16.3	0.8
EC-345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	17.7	4.2

Fuente: IGEPN

4.1.3 Magnitud de las Fallas Geológicas

El cálculo de la magnitud de momento de las fallas seleccionadas se realizará de acuerdo a Wells y Coppersmith, utilizando la ecuación descrita en la Tabla II.

$$M_w = a + b * \log (SRL) \quad (3)$$

Donde:

a, b: Coeficientes

SRL: Longitud de rotura superficial (Km)

Las longitudes de rotura y el tipo de falla a utilizar se encuentran en la Tabla VII; las magnitudes de momento de cada falla se detallan a continuación en la Tabla VIII.

TABLA VIII. VALORES DE MAGNITUD DE MOMENTO

NOMBRE	COEFICIENTES		MAGNITUD DE MOMENTO
	a	b	
Subducción	5	1.22	8.9
Huachi			6.3
Ambato			6.5
Totoras			6.5

Elaboración: Doménica Constante

4.1.4 Características del suelo

4.1.4.1 Tipos de Perfiles de Suelos

En la clasificación de los tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico (Tabla IX) se tienen variables como N que es el número medio de golpes del SPT en cualquier perfil de suelo, y V_s que es la velocidad de onda cortante. [8]

TABLA IX. PERFILES DE SUELO

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

Fuente: NEC_SE_DS 2015

A continuación se presentará las diferentes tablas de los ensayos de penetración estándar realizados para el desarrollo del presente trabajo experimental.

TABLA X. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 1

Ubicación: Condominios Bellavista - Av. Pichincha					
Profundidad (m)	Profundidad (cm)	NSPT (Parcial)	NSPT (Total)	NSPT Promedio	Tipo de perfil de suelo
0-1	Limpieza			44	D
1-2	15	8	18		
	30	8			
	45	10			
	60	8	22		
	75	12			
	90	10			
2-3	15	20	40		
	30	20			
	45	20			
	60	24	45		
	75	22			
	90	23			
3-4	15	22	44		
	30	22			
	45	22			
	60	27	49		
	75	24			
	90	25			
4-5	15	20	65		
	30	30			
	45	35			
	60	20	65		
	75	30			
	90	35			

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XI. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 2

Ubicación: Pasaje Chapera					
Profundidad (m)	Profundidad (cm)	NSPT (Parcial)	NSPT (Total)	NSPT Promedio	Tipo de perfil de suelo
0-1	Limpieza			70	C
1-2	15	15	39		
	30	18			
	45	21			
	60	27	82		
	75	41			
	90	41			
2-3	15	28	70		
	30	32			
	45	38			
	60	31	88		
	75	42			
	90	46			

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XII. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 3

Ubicación: Imbabura y Puruhaes					
Profundidad (m)	Profundidad (cm)	NSPT (Parcial)	NSPT (Total)	NSPT Promedio	Tipo de perfil de suelo
0-1	Limpieza			44	D
1-2	15	9	29		
	30	13			
	45	16			
	60	22	51		
	75	25			
	90	26			
2-3	15	15	36		
	30	18			
	45	18			
	60	16	39		
	75	19			
	90	20			
3-4	15	18	41		
	30	21			
	45	20			
	60	24	48		
	75	22			
	90	26			
4-5	15	18	45		
	30	22			
	45	23			
	60	25	57		
	75	26			
	90	31			

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XIII. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 4

Ubicación: Av. Rumiñahui					
Profundidad (m)	Profundidad (cm)	NSPT (Parcial)	NSPT (Total)	NSPT Promedio	Tipo de perfil de suelo
0-1	Limpieza			57	C
1-2	15	9	31		
	30	14			
	45	17			
	60	19	64		
	75	32			
	90	32			
2-3	15	26	60		
	30	28			
	45	32			
	60	26	55		
	75	27			
	90	28			
3-4	15	24	58		
	30	28			
	45	30			
	60	33	70		
	75	34			
	90	36			

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XIV. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR – POZO # 5

Ubicación: Av. Los Shirys					
Profundidad (m)	Profundidad (cm)	NSPT (Parcial)	NSPT (Total)	NSPT Promedio	Tipo de perfil de suelo
0-1	Limpieza			69	C
1-2	15	17	52		
	30	27			
	45	25			
	60	17	52		
	75	27			
	90	25			
2-3	15	23	65		
	30	28			
	45	37			
	60	28	77		
	75	37			
	90	40			
3-4	15	37	80		
	30	40			
	45	40			
	60	40	86		
	75	41			
	90	45			

Elaboración: Doménica Constante

Con la información de los ensayos realizados se establece el perfil de suelo (Tabla IX) con respecto al número de golpes del SPT de cada pozo. En el caso de un NSPT promedio entre 15 y 50 el suelo se establece como tipo D, mientras que si NSPT promedio es mayor a 50 el suelo es tipo C. [8]

Las tablas siguientes muestran el análisis granulométrico realizado de cada una de las muestras obtenidas en el ensayo de penetración estándar por cada pozo.

TABLA XVI. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 1

PRIMER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	23.3	7.72	92.28
#10	2.00	29.1	9.64	90.36
#40	0.43	62.8	20.81	79.19
#100	0.15	130	43.07	56.93
#200	0.08	213.2	70.64	29.36
FUENTE		88.6	29.36	
TOTAL		301.8		
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	2.2	0.57	99.43
#10	2.00	7.2	1.87	98.13
#40	0.43	65.7	17.06	82.94
#100	0.15	177.5	46.10	53.90
#200	0.08	279.3	72.55	27.45
FUENTE		105.7	27.45	
TOTAL		385		
TERCER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	5.2	1.21	98.79
#10	2.00	12.1	2.82	97.18
#40	0.43	108.5	25.30	74.70
#100	0.15	254.2	59.27	40.73
#200	0.08	350.7	81.77	18.23
FUENTE		78.2	18.23	
TOTAL		428.9		
CUARTO METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	9.3	2.60	97.40
#10	2.00	21.1	5.90	94.10
#40	0.43	79.8	22.30	77.70
#100	0.15	194.6	54.37	45.63
#200	0.08	282.6	78.96	21.04
FUENTE		75.3	21.04	
TOTAL		357.9		

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XVII. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 2

PRIMER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	0.5	0.11	99.89
#10	2.00	12.4	2.64	97.36
#40	0.43	149.2	31.71	68.29
#100	0.15	238.1	50.61	49.39
#200	0.08	323.9	68.84	31.16
FUENTE		146.6	31.16	
TOTAL		470.5		
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	0	0.00	100.00
#10	2.00	3.7	1.32	98.68
#40	0.43	90	32.22	67.78
#100	0.15	178.1	63.77	36.23
#200	0.08	221.9	79.45	20.55
FUENTE		57.4	20.55	
TOTAL		279.3		

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XVIII. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 3

PRIMER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	0.4	0.09	99.91
#10	2.00	4.6	1.02	98.98
#40	0.43	60.8	13.43	86.57
#100	0.15	198.9	43.94	56.06
#200	0.08	332.4	73.43	26.57
FUENTE		120.3	26.57	
TOTAL		452.7		
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	0.8	0.17	99.83
#10	2.00	11.3	2.45	97.55
#40	0.43	87.1	18.89	81.11
#100	0.15	177.8	38.55	61.45
#200	0.08	281.9	61.12	38.88
FUENTE		179.3	38.88	
TOTAL		461.2		
TERCER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	1.4	0.31	99.69
#10	2.00	10.3	2.31	97.69
#40	0.43	70.1	15.70	84.30
#100	0.15	183.4	41.08	58.92
#200	0.08	294.6	65.99	34.01
FUENTE		151.8	34.01	
TOTAL		446.4		
CUARTO METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	0.3	0.11	99.89
#10	2.00	5.1	1.82	98.18
#40	0.43	84.1	29.96	70.04
#100	0.15	168.9	60.17	39.83
#200	0.08	219.8	78.30	21.70
FUENTE		60.9	21.70	
TOTAL		280.7		

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XIX. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 4

PRIMER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	0.3	0.08	99.92
#10	2.00	2.4	0.62	99.38
#40	0.43	28.3	7.31	92.69
#100	0.15	135.3	34.96	65.04
#200	0.08	295.6	76.38	23.62
FUENTE		91.4	23.62	
TOTAL		387		
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	9.4	1.82	98.18
#10	2.00	14.1	2.73	97.27
#40	0.43	62.8	12.18	87.82
#100	0.15	215.9	41.87	58.13
#200	0.08	428.8	83.17	16.83
FUENTE		86.8	16.83	
TOTAL		515.6		
TERCER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	4	1.23	98.77
#10	2.00	16.3	5.00	95.00
#40	0.43	61.5	18.85	81.15
#100	0.15	120.7	36.99	63.01
#200	0.08	222.4	68.16	31.84
FUENTE		103.9	31.84	
TOTAL		326.3		

Elaboración: Doménica Constante

TABLA XX. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – POZO # 5

PRIMER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	8.9	3.54	96.46
#10	2.00	25.7	10.21	89.79
#40	0.43	72.3	28.72	71.28
#100	0.15	123.9	49.23	50.77
#200	0.08	180.5	71.71	28.29
FUENTE		71.2	28.29	
TOTAL		251.7		
SEGUNDO METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	2.3	0.58	99.42
#10	2.00	18.1	4.54	95.46
#40	0.43	102.2	25.63	74.37
#100	0.15	169.1	42.41	57.59
#200	0.08	244.2	61.25	38.75
FUENTE		154.5	38.75	
TOTAL		398.7		
TERCER METRO				
TAMIZ	ABERTURA (m)	PESO RET/ACUM (gr)	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
#4	4.76	0.3	0.20	99.80
#10	2.00	7.6	5.00	95.00
#40	0.43	66.9	44.01	55.99
#100	0.15	89.1	58.62	41.38
#200	0.08	111.3	73.22	26.78
FUENTE		40.7	26.78	
TOTAL		152		

Elaboración: Doménica Constante

En las tablas presentadas coincide que en el análisis granulométrico de cada metro de todos los pozos el porcentaje acumulado retenido en el tamiz # 200 es mayor al 50%, lo que lo determina como suelo de partículas gruesas, y el porcentaje que pasa el tamiz # 4 es mayor al 50%, en definitiva el suelo de estudio se clasifica como arena (Tabla XV) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

4.1.4.3. Velocidad media de la onda cortante V_{S30}

Al determinar el tipo de perfil de suelo con base en los 30m superiores del mismo se considera de manera primordial a la velocidad media de la onda cortante V_{S30} , esta refleja la amplificación de la onda sísmica roca-suelo y se obtiene por medio de: [8]

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{S_i}}} \quad (4)$$

En donde V_{S_i} es la velocidad media de la onda de cortante del suelo del estrato i ; y d_i es el espesor del estrato i , localizado dentro de los 30m superiores del perfil. [8]

La velocidad media de la onda cortante V_s , puede llegar a ser de obtención limitada, por lo que una opción para calcularla es correlacionándola con parámetros geotécnicos; para este trabajo experimental dicha correlación se dará con el NSPT promedio de los ensayos de penetración estándar realizados. Las expresiones a utilizar están clasificadas por el tipo de suelo, el mismo que puede ser, para todos los suelos, suelos arenosos y suelos arcillosos; como la Tabla XXI lo detalla. [21]

TABLA XXI. CORRELACIONES ENTRE NSPT - VS

S. no.	Type of soil	Correlation
1	All soils	$V_s = 99.5N^{0.345}$
2	Sandy soils	$V_s = 100.3N^{0.338}$
3	Clayey soils	$V_s = 94.4N^{0.379}$

Fuente: Kirar et al.

El suelo del estudio fue clasificado como arena en los diferentes estratos, lo que determina que la correlación a utilizar es:

$$V_s = 100.3 * N^{0.338} \quad (5)$$

Una vez calculada V_s , se procede a calcular con (4) V_{S30} , las veces que sean necesarias para cada pozo, considerando la clasificación de suelo de cada estrato en análisis; en el caso de

que los diferentes estratos tengan la misma clasificación de suelo, existirá solo un valor de d , espesor de estrato, y las velocidades serán iguales.

TABLA XXII. VALORES DE V_{S30}

NÚMERO DE POZO	NSPT PROMEDIO	V_s (m/s)	d (m)	V_{S30} (m/s)	Tipo de perfil de suelo	V_{S30} PROMEDIO (m/s)
1	44	361	4	361	C	392
2	70	422	2	422	C	
3	44	361	4	361	C	
4	57	394	3	394	C	
5	69	420	3	420	C	

Elaboración: Doménica Constante

Dentro de los procesos para determinar el tipo de suelo se menciona que si uno de ellos es la obtención de V_s prevalecerá la clasificación basada en este criterio. La Tabla IX denota rangos de V_s para determinar el tipo de suelo, cuando $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ el perfil de suelo es tipo C. [8]

Es decir el tipo de suelo determinado con los resultados de la Tabla XXII se consideran los definitivos, debido a que el análisis con respecto a la velocidad se sobrepone al del número de golpes del ensayo de penetración estándar.

4.1.5 Ecuaciones de atenuación

4.1.5.1 Ecuaciones de atenuación para régimen tectónico cortical

4.1.5.1.1 Modelo Akkar y Bommer (2010)

El conjunto de datos utilizado para el desarrollo de este modelo consta de 532 acelerogramas con registros a distancias de hasta 100 Km de 131 terremotos con magnitudes de 5 a 7.6. Se basa prácticamente en trazar curvas de atenuación para valores medianos de PGA y ordenadas espectrales medianas para una serie de escenarios de magnitud-distancia. Destaca en la predicción de la aceleración pseudoespectral con amortiguamiento del 5%, PSA, en unidades de cm/s^2 . [22]

$$\begin{aligned} \text{Log(PSA)} = & b_1 + b_2 M_w + b_3 M_w^2 + (b_4 + b_5 M_w) \log \sqrt{r_{jb}^2 + b_6^2} + b_7 S_S \\ & + b_8 S_A + b_9 F_N + b_{10} F_R + \sigma \end{aligned} \quad (6)$$

Donde:

b_i = Coeficientes para aceleraciones pseudoespectrales medianas.

M_w = Magnitud de momento.

r_{jb} = Distancia de Joyner y Boore.

$S_S, S_A = 1$ y 0 respectivamente, para suelo suave; $V_{S30} < 360$ m/s.

$S_S, S_A = 0$ y 1 respectivamente, para suelo rígido; $V_{S30} < 750$ m/s.

$S_S, S_A = 0$, para roca; $V_{S30} > 750$ m/s.

$F_N, F_R = 1$ y 0 respectivamente, para fallas normales.

$F_N, F_R = 0$ y 1 respectivamente, para fallas inversas.

$F_N, F_R = 0$, para fallas transcurrentes.

σ = Desviación estándar total.

La desviación estándar total se calcula mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar asociadas, σ_2 componente inter evento y σ_1 componente intra evento. [22]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (7)$$

La tabla con los respectivos valores de los coeficientes para aceleraciones pseudoespectrales medianas y desviaciones estándar asociadas se encuentra en la sección de anexos del presente trabajo experimental.

4.1.5.1.2 Modelo Boore y Atkinson (2008)

Para este modelo las ecuaciones que se presentan están derivadas de la compilación de miles de datos de registros de terremotos de todos los lugares tectónicamente activos a lo largo del mundo realizada por el PEER NGA (Pacific Earthquake Engineering Research Center's Next Generation Attenuation). [18]

La magnitud de momento (M_w), velocidad media de la onda cortante a 30m (V_{s30}) y distancia de Joyner y Boore (r_{jb}) son las variables predictoras primarias. Las ecuaciones del modelo son aplicables solo para M_w de 5 a 8, $r_{jb} < 200$ Km y V_{s30} de 180 a 1300 m/s. [18]

$$\ln y = F_M(M_w) + F_D(r_{jb}, M_w) + F_S(V_{s30}, r_{jb}, M_w) + \varepsilon \quad (8)$$

En donde F_M , F_D y F_S representan la escala de magnitud, la función de distancia y amplificación del sitio, respectivamente. [18]

La función de distancia está dada por:

$$F_D(r_{jb}, M_w) = [c_1 + c_2(M_w - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R - R_{ref}) \quad (9)$$

Donde:

$$R = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2} \quad (10)$$

c_1, c_2, c_3 , y h son coeficientes establecidos por el análisis del modelo.

$$M_{ref} = 4.5$$

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

La escala de magnitud está dada por:

$$a) \quad M_w \leq M_h$$

$$F_M(M_w) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_5(M_w - M_h) + e_6(M_w - M_h)^2 \quad (11a)$$

b) $M_w > M_h$

$$F_M(M_w) = e_1U + e_2SS + e_3NS + e_4RS + e_7(M_w - M_h) \quad (11b)$$

Donde U, SS, NS y RS son variables ficticias que denotan el tipo de falla (Tabla XXIII); M_h es un coeficiente establecido. [18]

TABLA XXIII. VALORES DE VARIABLES FICTICIAS PARA DIFERENTES TIPOS DE FALLAS

Fault Type	U	SS	NS	RS
Unspecified	1	0	0	0
Strike-slip	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Thrust/reverse	0	0	0	1

Fuente: Boore y Atkinson 2008

La amplificación del sitio está dada por:

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (12)$$

En donde F_{LIN} y F_{NL} son términos lineales y no lineales respectivamente.

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{S30}/V_{ref}) \quad (13)$$

Donde b_{lin} es un coeficiente dependiente del período, y V_{ref} es la velocidad referencial especificada con un valor de 700m/s, estos coeficientes están empíricamente basados y fueron descritos por Choi y Stewart 2005. [18]

El término no lineal viene dado por:

a) $pga_{nl} \leq a_1$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) \quad (14a)$$

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

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) + c [\ln(pga_{nl}/a_1)]^2 + d [\ln(pga_{nl}/a_1)]^3 \quad (14b)$$

$$c) \quad a_2 < pga_{4nl}$$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1) \quad (14c)$$

Donde a_1 (=0.03g) y a_2 (=0.09g) se les asignan niveles para la amplificación lineal y no lineal, respectivamente, pga_{low} (=0.06) es una variable asignada a la transición entre comportamientos lineales y no lineales, pga_{4nl} es la predicción de PGA en g para V_{ref} =760m/s, dada por la ecuación principal con $F_s=0$ y $\varepsilon=0$. Las tres ecuaciones para no lineal del suelo (14a), (14b) y (14c) son necesarios por dos razones: 1) para evitar que la amplificación no lineal aumente indefinidamente a medida que disminuye pga_{4nl} y 2) para suavizar la transición del comportamiento lineal al no lineal. Los coeficientes c y d en (14b) vienen dados por: [18]

$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x)/\Delta x^2 \quad (15)$$

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

Donde:

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1) \quad (17)$$

$$\Delta y = b_{nl} \ln(a_2/pga_{low}) \quad (18)$$

La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos períodos y V_{S30} , dada por:

$$a) \quad V_{S30} \leq V_1$$

$$b_{nl} = b_1 \quad (19a)$$

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

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{S30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (19b)$$

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

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{S30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref}) \quad (19c)$$

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

$$b_{nl} = 0 \quad (19d)$$

Donde $V_1 = 180$ m/s, $V_2 = 300$ m/s; b_1 y b_2 son coeficientes dependientes del período.

4.1.5.1.3 Modelo Kanno (2006)

Para este modelo se establece una base de datos completos de registros de movimientos de suelo entre 1963 y 2003 para identificar una nueva relación de atenuación; en el estudio de este modelo se considera solo dos parámetros, magnitud de momento y distancia de origen, que se ven representadas por dos ecuaciones, una para eventos superficiales y la otra para eventos profundos. [23]

El presente trabajo experimental realiza el análisis de este modelo para régimen tectónico cortical, por lo que solo se presentará el detalle de la ecuación para eventos superficiales.

$$\text{Log pre} = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (20)$$

Donde pre es la PGA (cm/s^2), PGV (cm/s), o aceleración espectral de respuesta amortiguada del 5% (cm/s^2); a_1 , b_1 , c_1 , d_1 , a_2 , b_2 y c_2 son coeficientes de regresión; M_w la magnitud de momento; X la distancia de origen, la misma obtenida mediante un esquema de ponderación, igual a 6 ($X \leq 25\text{Km}$); e_1 coeficiente con valor de 0.5; y ε_1 es un valor de error observado y predicho. [23]

Para utilizar dentro de este método la V_{S30} y la r_{jb} se calculan las siguientes expresiones que son términos de corrección, el resultado de los mismos serán adicionados al valor que se obtenga de resolver (20), brindando así mayor precisión. [23]

$$G = p * \log V_{S30} + q \quad (21)$$

$$\text{Log pre}_G = \text{Log pre} + G \quad (22)$$

G es un término de corrección adicional correspondiente a los efectos de sitio; p y q son coeficientes derivados del análisis de regresión, y V_{s30} es velocidad media de onda cortante a 30m. [23]

$$A = (\alpha * r_{jb} + \beta) * (D - 30) \quad (23)$$

$$\text{Log } pre_A = \text{Log } pre + A \quad (24)$$

En donde A es un término de corrección adicional correspondiente a la intensidad sísmica; α y β son coeficientes de regresión; r_{jb} es la distancia de Joyner y Boore; y D es la profundidad focal que determina el tipo de evento, con valores menores o igual a 30 Km se considera eventos superficiales. [23]

4.1.5.2 Ecuaciones de atenuación para régimen tectónico de subducción

4.1.5.2.1 Modelo Youngs (1997)

El modelo presenta relaciones de atenuación para la aceleración máxima del terreno y la aceleración espectral de respuesta para zona de subducción con terremotos interplaca como intraplaca; dichas relaciones fueron desarrolladas por análisis de regresión. Se considera a los sismos con magnitud de momento desde 5 en adelante y para distancias de 10 a 500 Km. [24]

$$\begin{aligned} \text{Ln } y = & -0.6687 \\ & + 1.438 M_w + C_1 + C_2(10 - M_w)^3 + C_3 \ln(r_{jb} + 1.097e^{0.617M_w}) \\ & + 0.00648H + 0.3643Z_T \end{aligned} \quad (25)$$

$$\text{Desviación Estándar} = C_4 + C_5 M_w \quad (26)$$

Donde:

y = Aceleración espectral en g.

M_w = Magnitud de momento.

C_i = Coeficientes.

r_{jb} = Distancia de Joyner y Boore.

H = Profundidad focal.

Z_T = Tipo de falla; igual a 0 y 1 para interplaca e intraplaca respectivamente.

La desviación estándar para M_w > 8 se establece igual al valor de M_w = 8. [24]

4.1.5.2.2 Modelo Zhao (2006)

El conjunto de datos para este modelo incluye una gran cantidad de fuertes movimientos de suelo registrados hasta el 2003. Se facilita el estudio de peligro sísmico con componentes importantes que se han desarrollado como las relaciones de atenuación para el movimiento de suelo, la ingeniería también usa modelos de atenuación para estimar las fuerzas y/o desplazamientos en estructuras. [25]

$$\log_e y = aM_w + bx - \log_e(r) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_1 + S_S + S_{SL} \log_e(x) + C_k \quad (27)$$

$$r = x + c \exp(dM_w) \quad (28)$$

Donde:

y = PGA amortiguada al 5% en cm/s².

a, b, c, d, e = Coeficientes.

M_w = Magnitud de momento.

x = Distancia de Joyner y Boore.

h = Profundidad focal; para eventos: corticales (0-25 Km), interfase (10-50 Km), intraplaca (15-162 Km). Cuando h > 125 Km se tomará a h = 125 Km.

h_c = Constante de profundidad.

δ_h = 1 cuando h ≥ h_c, caso contrario es igual a 0.

FR se aplica solo a eventos de la corteza con un mecanismo de fallas inversas y es cero para todos los demás eventos; S₁ es el parámetro de tipo de fuente tectónica, se aplica a eventos de interfase y es 0 para todos los demás tipos de eventos; S_S se aplica únicamente para eventos de subducción y es cero para todos los otros tipos de eventos; S_{SL} es un término de modificación de magnitud independiente y C_k es el término de la clase del sitio. [25]

El error estándar total, σ_T , es calculado por:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (29)$$

En donde σ y τ son coeficientes de error de intra e inter eventos dependientes del período.

La clasificación del tipo de suelo dentro de este modelo con respecto a la V_{S30} se realiza considerando lo descrito en la Tabla XXIV.

TABLA XXIV. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO

Clase de suelo	Descripción	V_{S30}
Roca dura		$V_{S30} > 1100$
SC I	Roca	$V_{S30} > 600$
SC II	Suelo duro	$300 < V_{S30} \leq 600$
SC III	Suelo medianamente duro	$200 < V_{S30} \leq 300$
SC IV	Suelo suave	$V_{S30} \leq 200$

Fuente: Zhao 2006.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 Cálculo de Espectros

Un espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. [8]

Para evaluar el peligro sísmico en el área determinada para este estudio se obtuvo los espectros de respuestas expresados en términos de aceleración asociados a cada falla seleccionada por medio del análisis de los modelos antes mencionados, considerando las respectivas características de dichas fallas. Llevando esto al cumplimiento de uno de los objetivos del presente trabajo experimental, la comparación de cada espectro obtenido con el que establece la NEC-15.

4.2.1.1 Espectros para cada modelo de atenuación

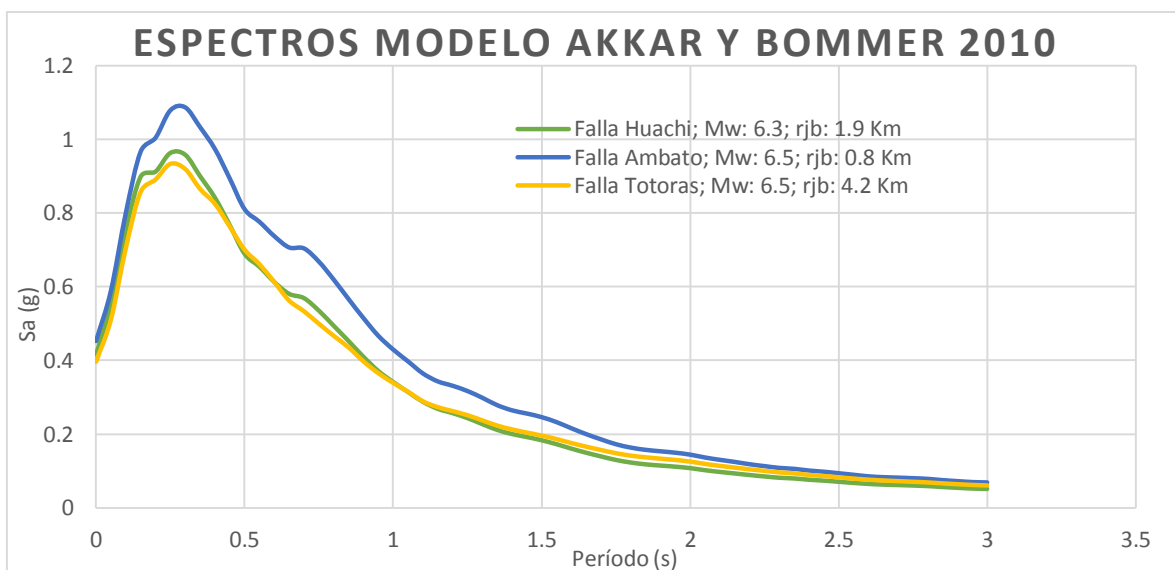
En las siguientes figuras se podrá observar la variación de aceleraciones para cada falla seleccionada en cada modelo y caso de análisis, la misma que depende de la longitud, magnitud de momento y distancia fuente-sitio de cada una de ellas. Cabe recalcar que para todos los modelos de atenuación la V_{S30} a considerar es de 392 m/s.

Con respecto a las profundidades focales en el caso de las ecuaciones que la requieren, poseen rangos pertinentes en cada modelo de atenuación propuesto; al considerar un análisis cortical los sismos en cuestión son superficiales y las profundidades son de hasta 30 Km, para este trabajo se utilizó 25 Km en Kanno 2006 para un mejor ajuste, esto debido a que con profundidades menores las aceleraciones resultantes eran muy bajas en comparación a las obtenidas por los otros modelos de atenuación.

Mientras que los valores para el caso de subducción abarca un rango mucho más amplio al tratarse de eventos profundos, para Youngs 1997 entre 10 a 229 Km siendo el utilizado para este estudio un valor intermedio de 100 Km, y para Zhao 2006 se trabajó con el límite planteado para un evento interfase de 50 Km.

4.2.1.1.1 Espectros calculados con el modelo de Akkar y Bommer (2010)

Fig. 14. Espectros de aceleración modelo Akkar y Bommer.

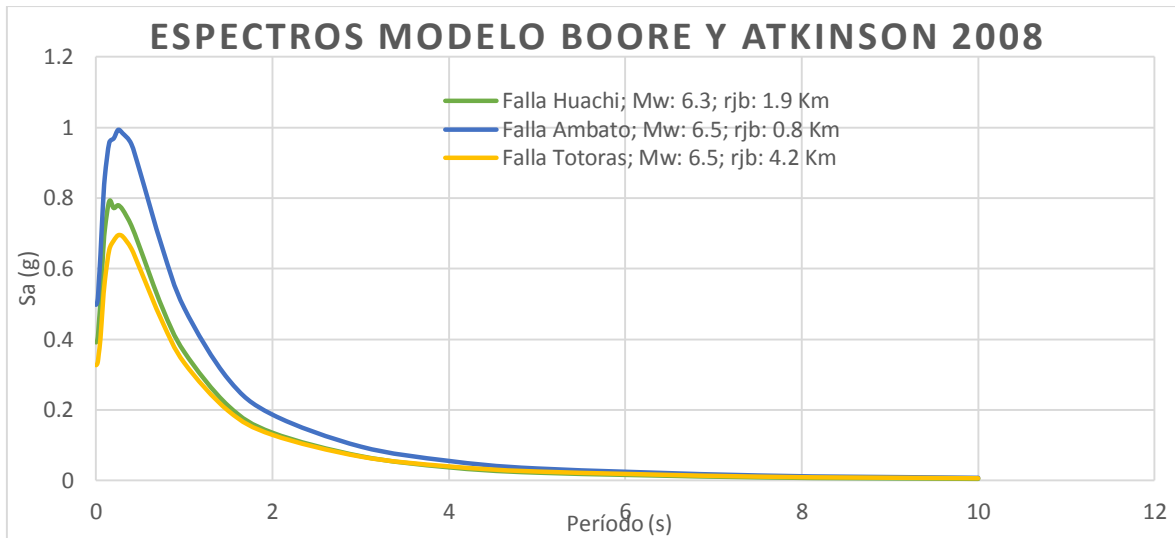


Elaboración: Doménica Constante

Se puede observar que en este modelo para las fallas especificadas la de Ambato tiene mayor aceleración debido a que la distancia fuente-sitio es la menor, así es como mientras esta distancia es mayor la aceleración disminuye como es el caso de la falla de Totoras con menor respuesta en este caso, lo cual es correcto debido a que el análisis es cortical.

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

Fig. 15. Espectros de aceleración modelo Boore y Atkinson.

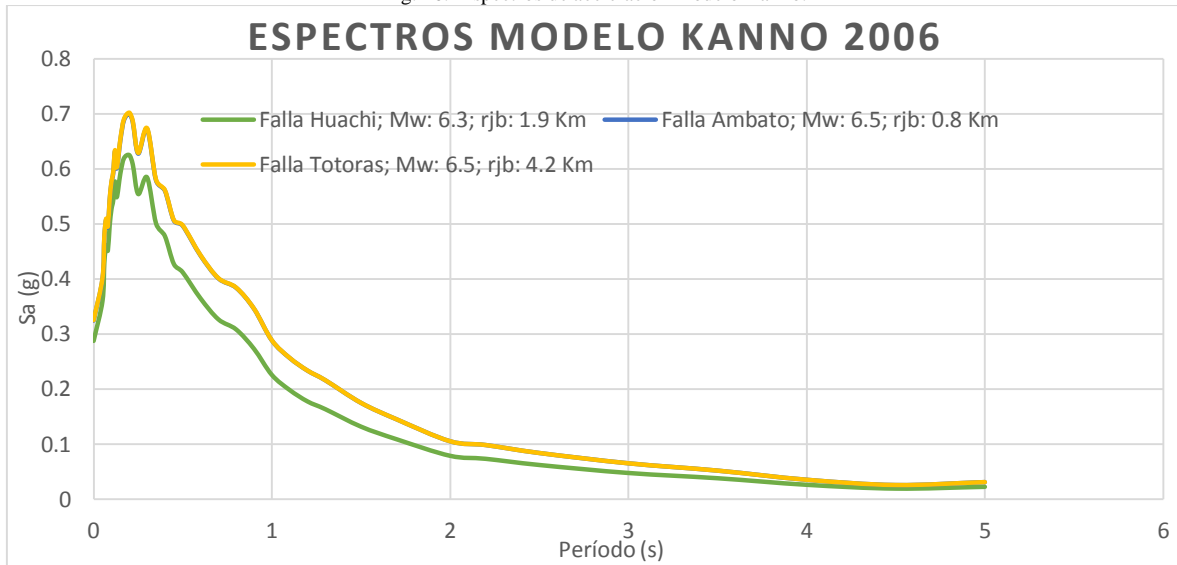


Elaboración: Doménica Constante

Como se puede apreciar en la figura, la falla Ambato nuevamente resulta ser la de mayor aceleración, y la falla Totoras la de mínimo valor.

4.2.1.1.3 Espectros calculados con el modelo de Kanno (2006)

Fig. 16. Espectros de aceleración modelo Kanno.

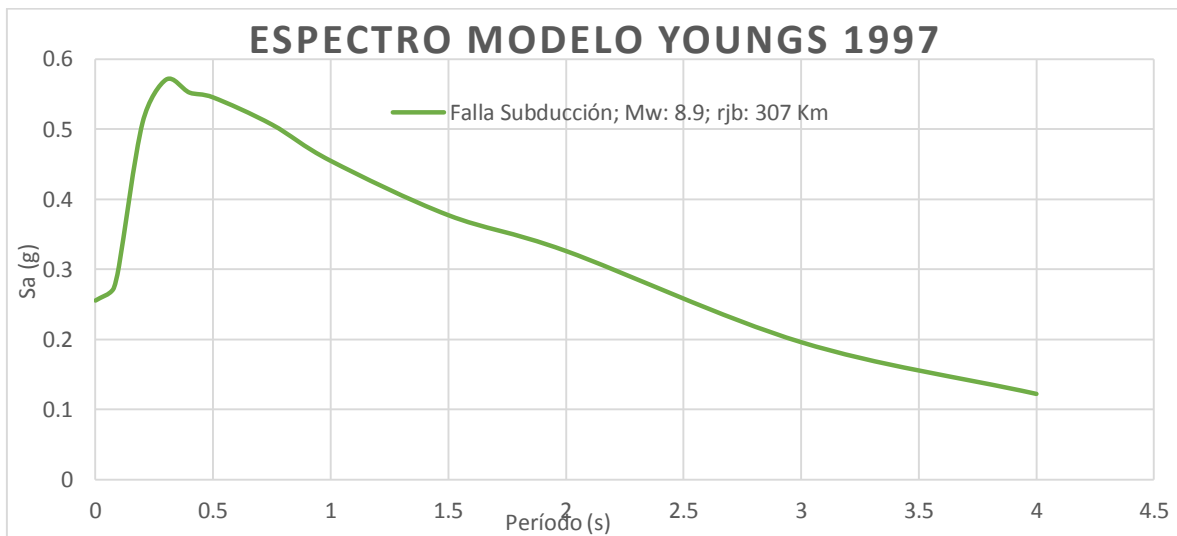


Elaboración: Doménica Constante

Las fallas Ambato y Totoras se encuentran con valores en aceleración muy similares para este caso; en este modelo la magnitud de momento es el término determinante, y en el caso de la utilización de correcciones adicionales se incorpora también la profundidad focal, velocidad de onda de corte y distancia fuente-sitio.

4.2.1.1.4 Espectros calculados con el modelo de Youngs (1997)

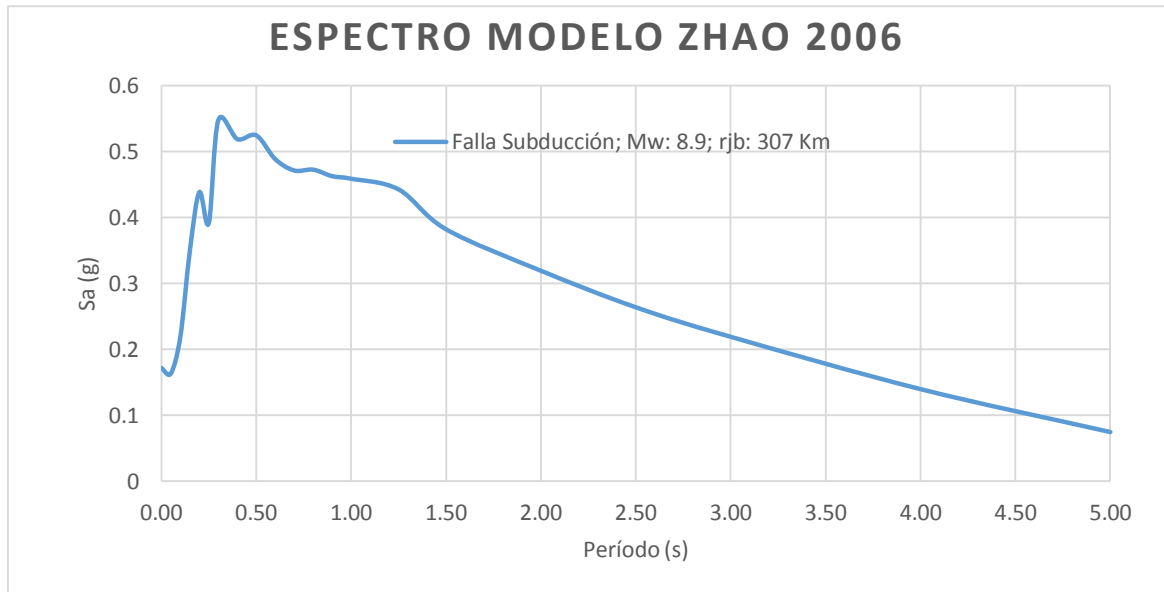
Fig. 17. Espectro de aceleración modelo Youngs.



Elaboración: Doménica Constante

4.2.1.1.5 Espectros calculados con el modelo de Zhao (2006)

Fig. 18. Espectro de aceleración modelo Zhao.



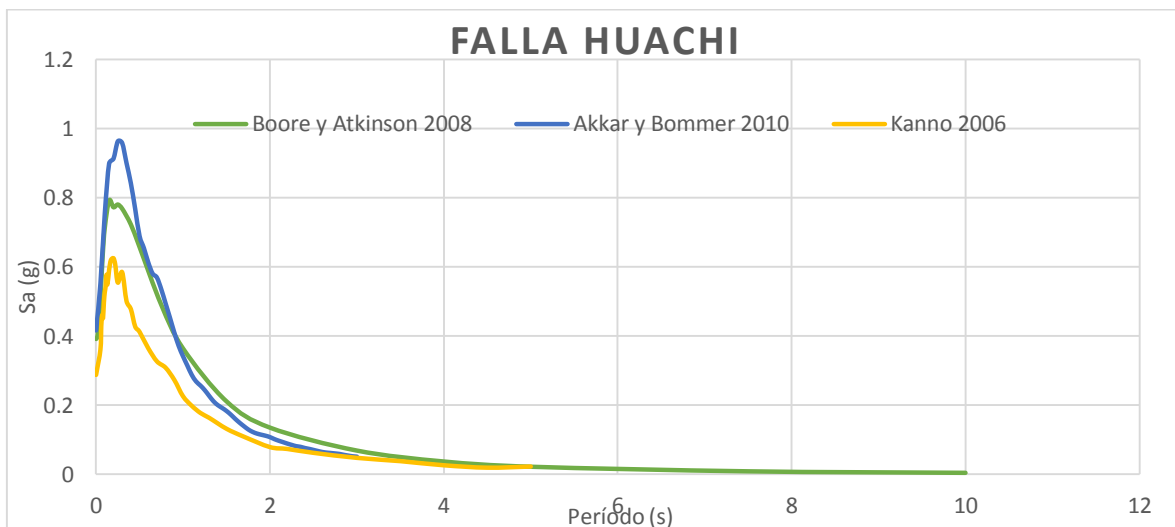
Elaboración: Doménica Constante

Del par de figuras anterior se puede observar un espectro por cada modelo debido a que el presente estudio analiza una sola falla de subducción.

4.2.1.2 Espectros para cada falla geológica seleccionada

4.2.1.2.1 Espectros para la Falla Huachi

Fig. 19. Espectros de aceleración para la falla Huachi.

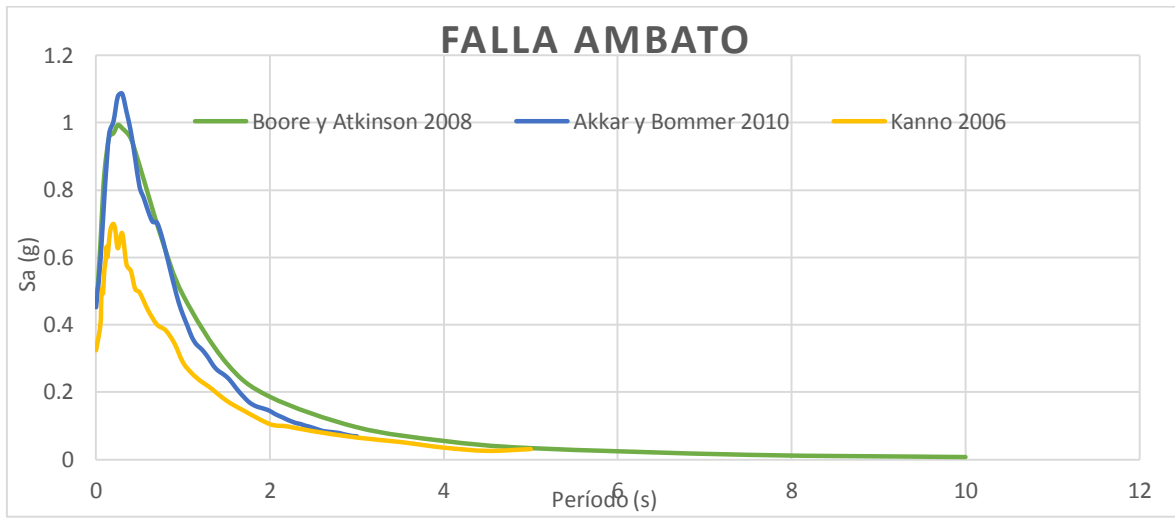


Elaboración: Doménica Constante

Se puede apreciar que para esta falla el modelo con mayor respuesta en aceleración es Akkar y Bommer (2010).

4.2.1.2.2 Espectros para la Falla Ambato

Fig. 20. Espectros de aceleración para la falla Ambato.

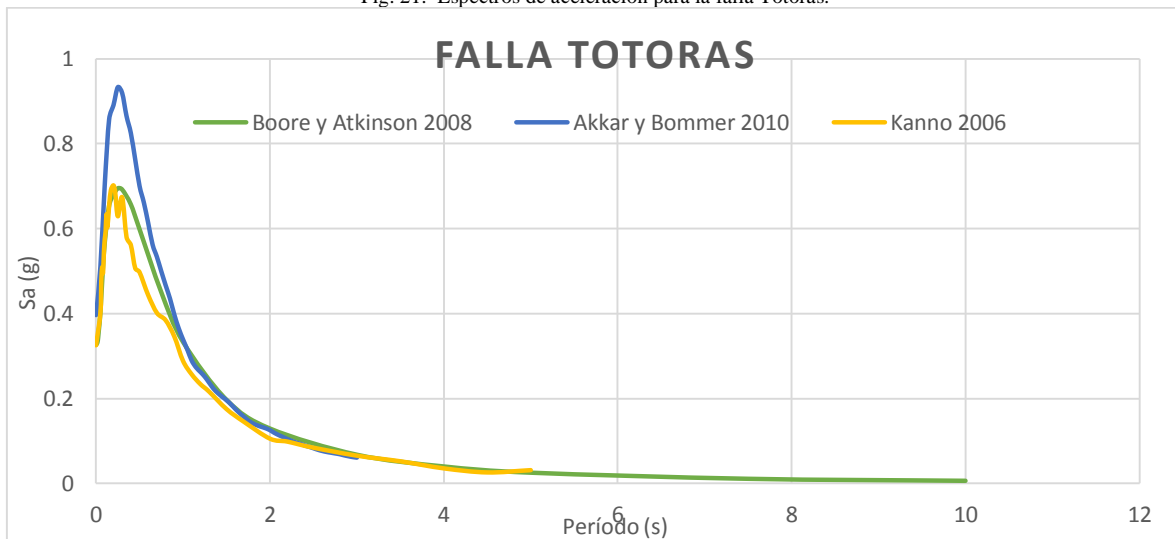


Elaboración: Doménica Constante

El modelo de Akkar y Bommer (2010) presenta mayor aceleración para esta falla.

4.2.1.2.3 Espectros para la Falla Totoras

Fig. 21. Espectros de aceleración para la falla Totoras.

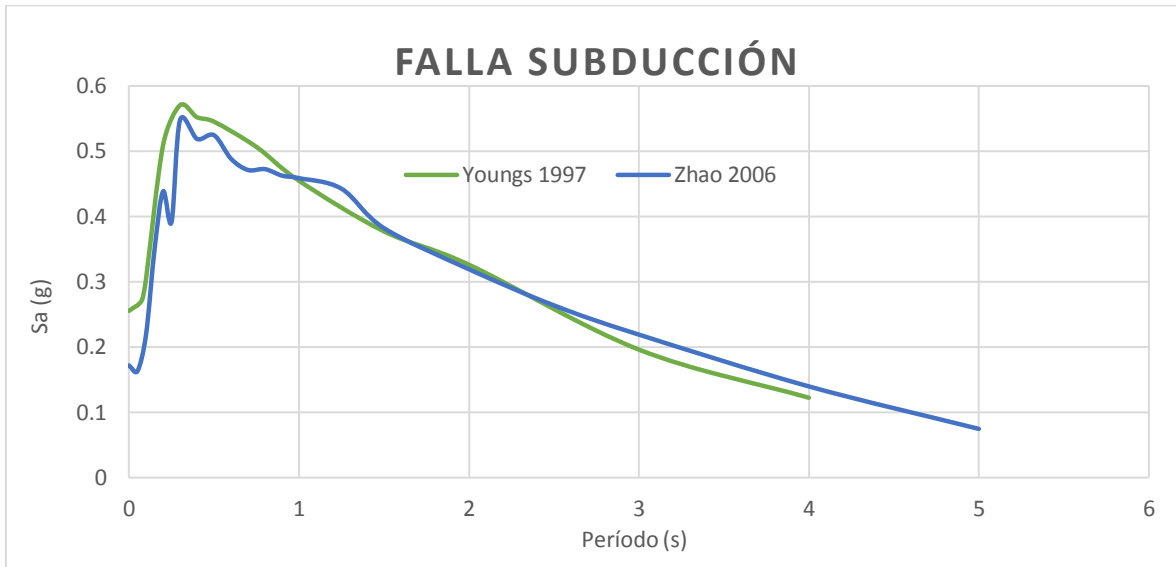


Elaboración: Doménica Constante

Para la presente falla el modelo con mayor respuesta en aceleración coincide en Akkar y Bommer (2010).

4.2.1.2.4 Espectros para la Falla de Subducción

Fig. 22. Espectros de aceleración para la falla de subducción.



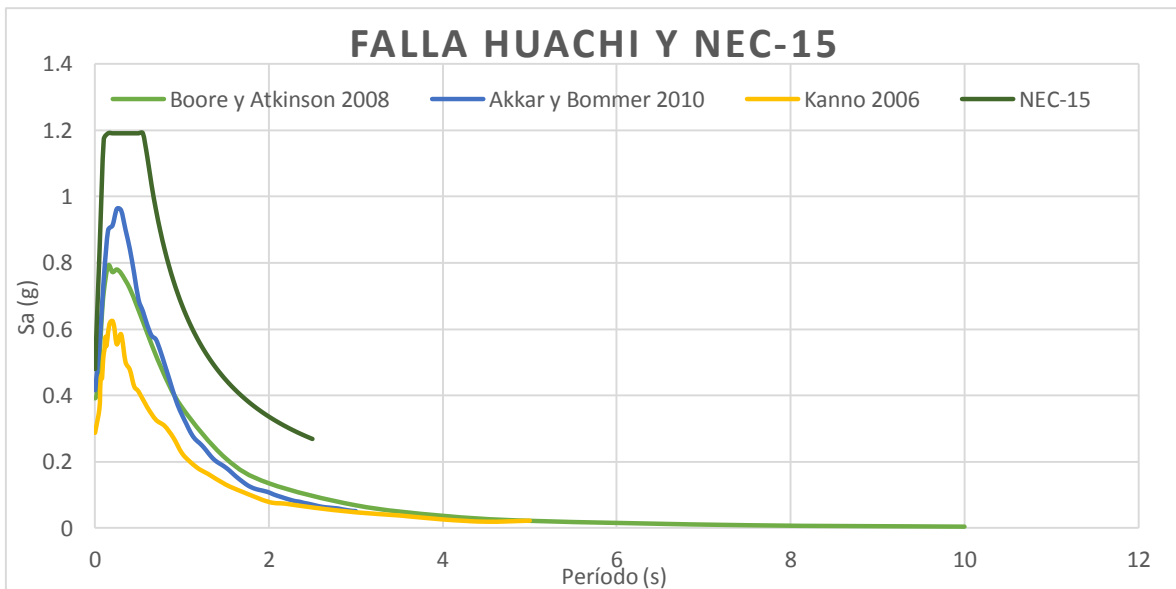
Elaboración: Doménica Constante

En el caso de subducción el modelo con mayor respuesta en aceleración es Youngs (1997).

4.2.1.3 Espectros para cada falla geológica seleccionada comparados al de la NEC-15

4.2.1.3.1 Espectros para la Falla Huachi comparados al espectro de la NEC-15

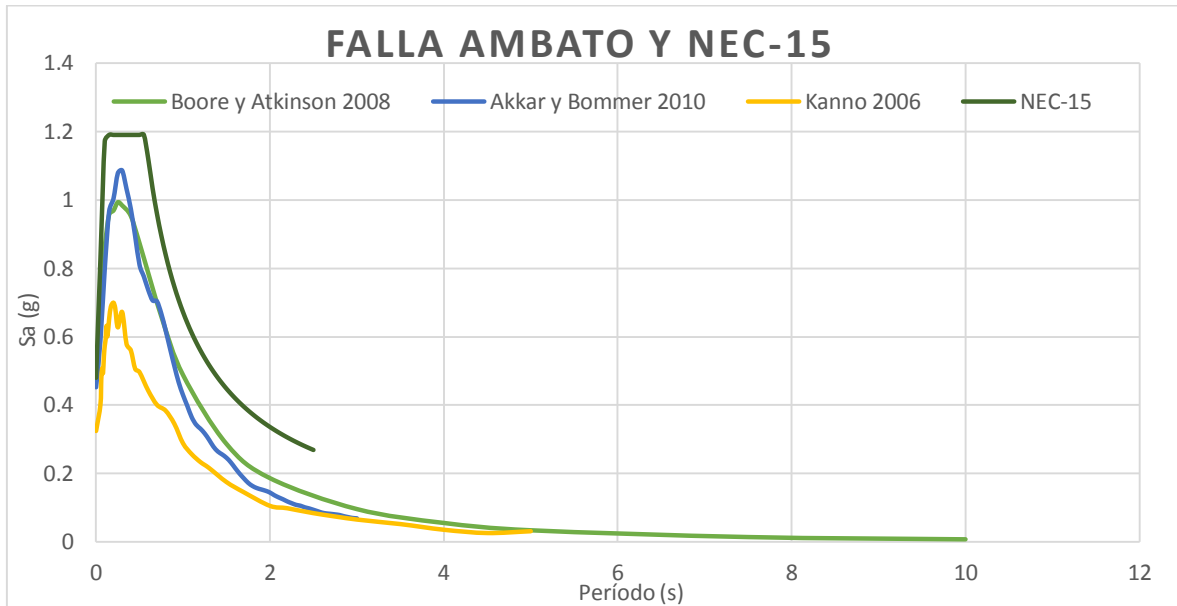
Fig. 23. Comparación entre espectros de la falla Huachi y el de la NEC-15.



Elaboración: Doménica Constante

4.2.1.3.2 Espectros para la Falla Ambato comparados al espectro de la NEC-15

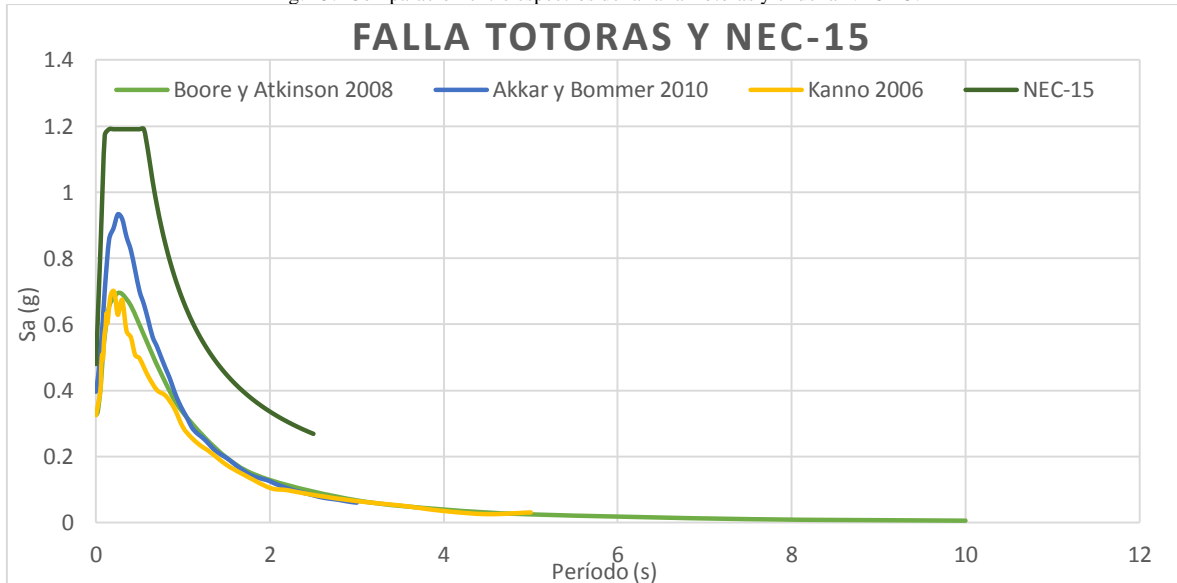
Fig. 24. Comparación entre espectros de la falla Ambato y el de la NEC-15.



Elaboración: Doménica Constante

4.2.1.3.3 Espectros para la Falla Totoras comparados al espectro de la NEC-15

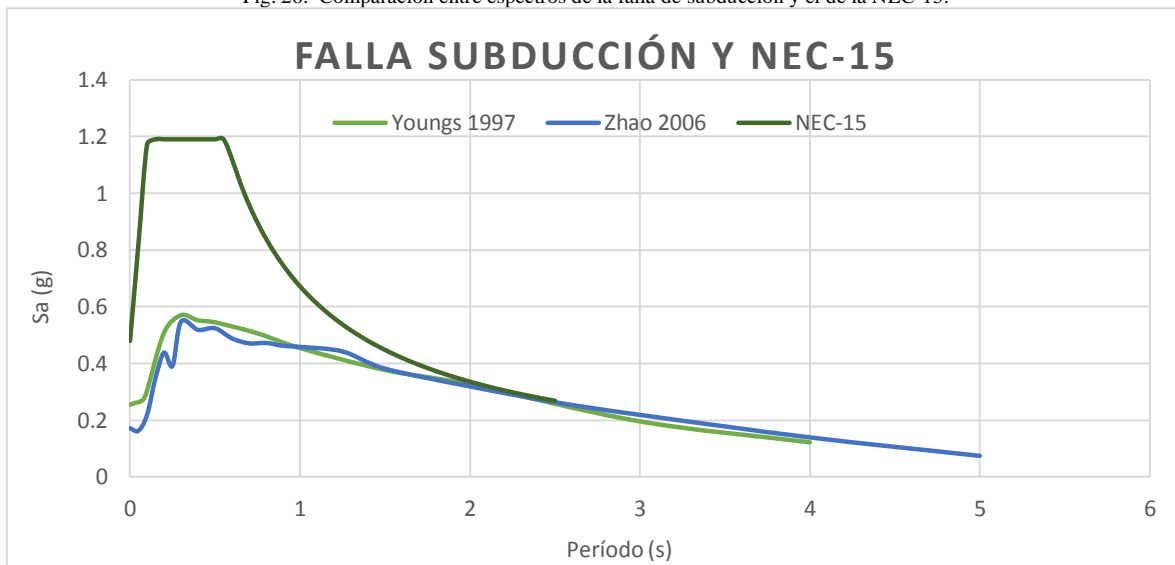
Fig. 25. Comparación entre espectros de la falla Totoras y el de la NEC-15.



Elaboración: Doménica Constante

4.2.1.3.4 Espectros para la Falla de Subducción comparados al espectro de la NEC-15

Fig. 26. Comparación entre espectros de la falla de subducción y el de la NEC-15.

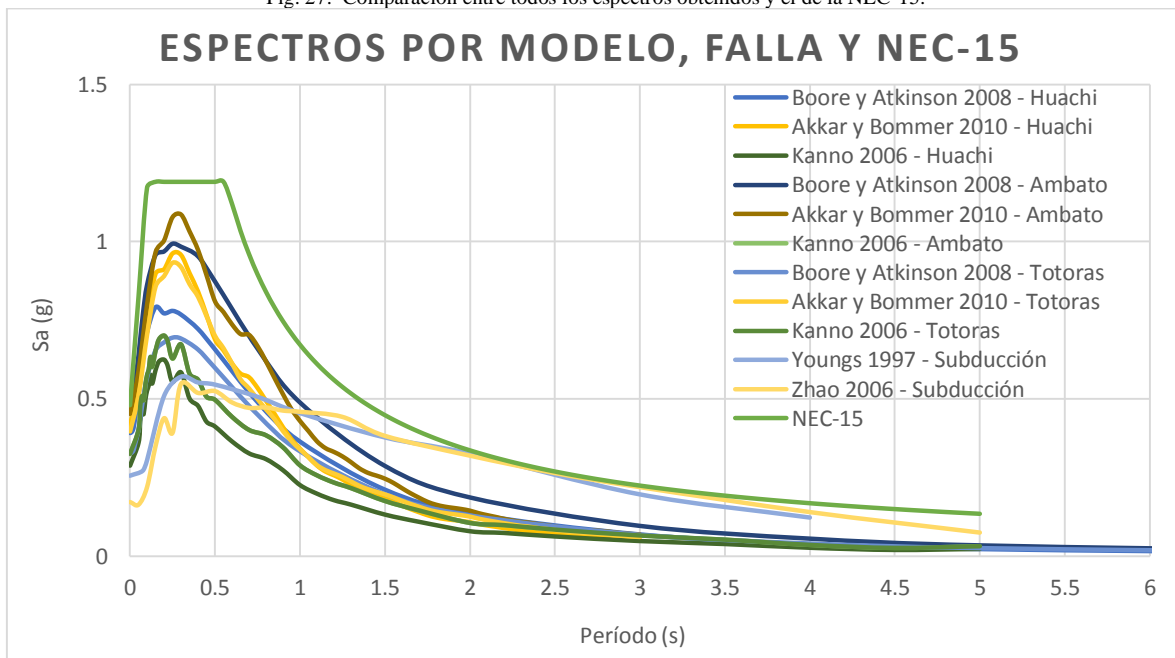


Elaboración: Doménica Constante

El análisis comparativo del presente literal determina que para todas las fallas el espectro de aceleración propuesto por la NEC-15 se encuentra por encima de cada espectro obtenido para dichas fallas, siendo en el caso de subducción en donde más diferencia existe.

4.2.1.4 Espectros de todos los modelos y fallas comparados al de la NEC-15

Fig. 27. Comparación entre todos los espectros obtenidos y el de la NEC-15.



Elaboración: Doménica Constante

Se presenta todos los espectros de cada modelo para las fallas seleccionadas en donde se puede notar una vez más que el espectro de la NEC-15 está por encima del resto de espectros.

4.2.1.5 Espectro Específico comparado al de la NEC-15

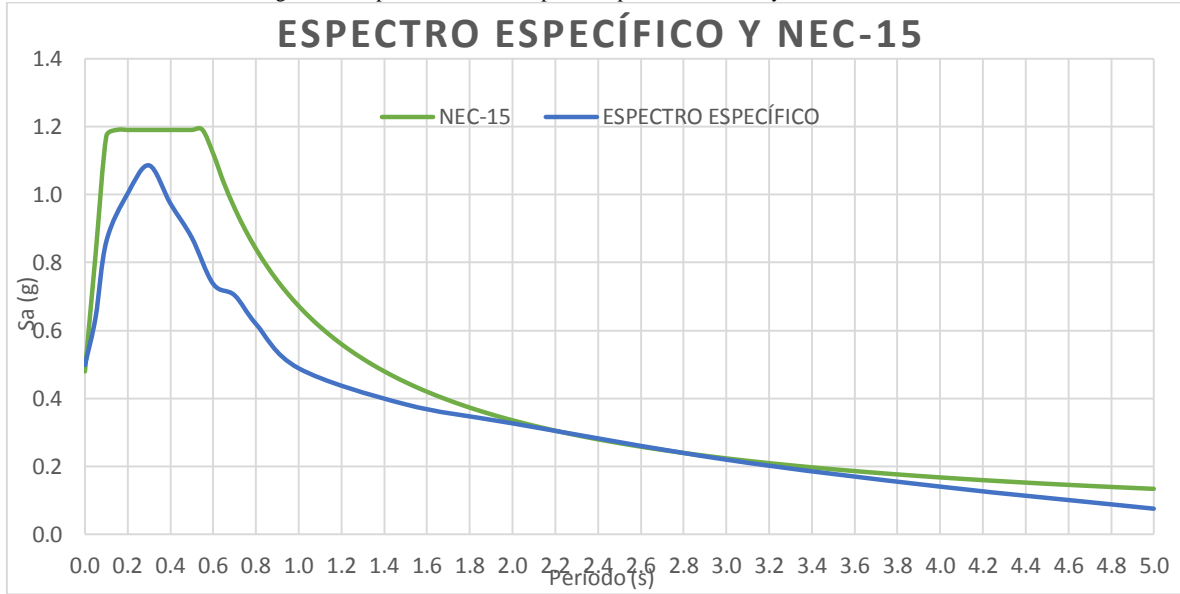
En la Tabla XXV se puede observar los valores del espectro específico que son puntos máximos de cada espectro obtenido generando así una envolvente.

TABLA XXV. VALORES DEL ESPECTRO ESPECÍFICO

T (s)	Sa (g)
0	0.50
0.05	0.64
0.1	0.86
0.2	1.00
0.3	1.09
0.4	0.97
0.5	0.87
0.6	0.74
0.7	0.70
0.8	0.62
1	0.49
1.5	0.38
2	0.33
3	0.22
4	0.14
5	0.07

Elaboración: Doménica Constante

Fig. 28. Comparación entre el espectro específico obtenido y el de la NEC-15.



Elaboración: Doménica Constante

4.2.2 Evaluación Estructural

Para evaluar el comportamiento de las estructuras de la zona en el caso de producirse un evento crítico, se seleccionaron tres modelos estructurales, con diversas características tanto en el ámbito geométrico como estructural, las mismas que serán analizadas para poder observar su comportamiento, el análisis se hará considerando el espectro de la NEC-15 como el específico obtenido en este trabajo experimental para poder entablar la comparación respectiva.

El cálculo del período de vibración estimado de las estructuras del área de estudio del presente trabajo experimental es obtenido mediante:

$$T = C_t + h_n^\alpha \quad (30)$$

En donde T es el período de vibración; C_t el coeficiente que depende del tipo de edificio, le corresponde un determinado valor de α ; y h_n altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

Los valores de C_t y α son iguales a 0.055 y 0.9 respectivamente; esto debido a que se analiza a pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras como tipo de estructura. [8]

4.2.2.1 Edificación uno

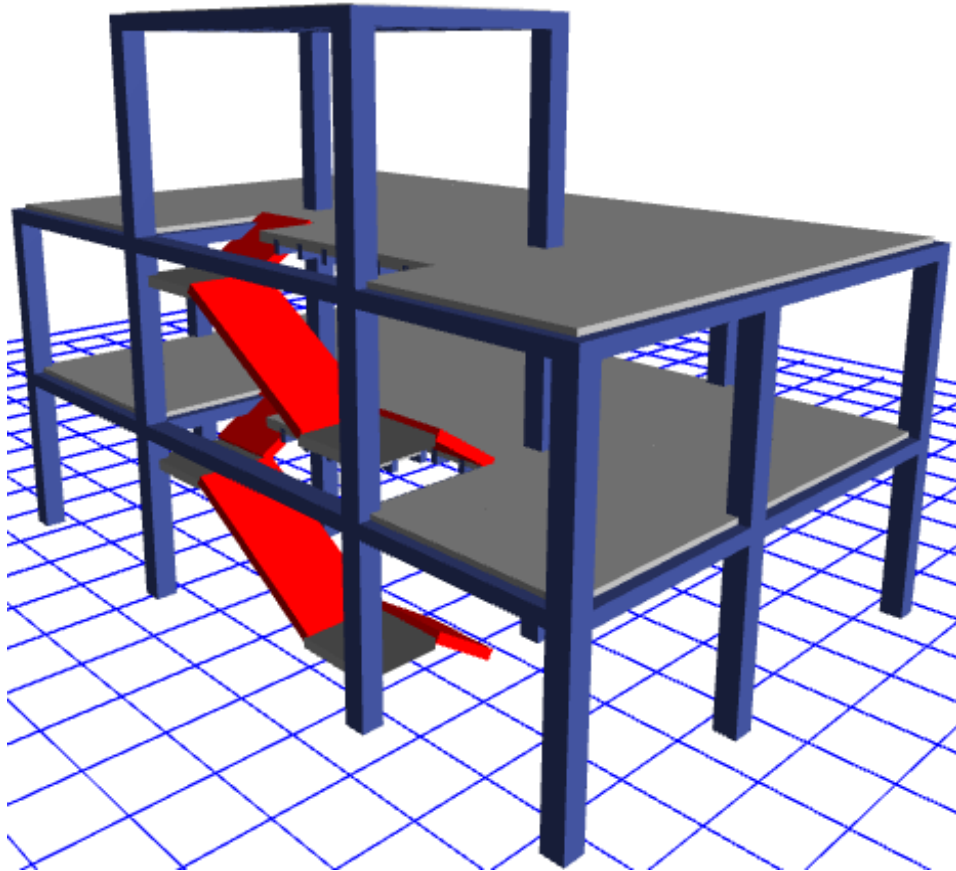
Las características de la presente estructura son presentadas en la Tabla XXVI, y a continuación se puede observar el detalle del análisis realizado en ETABS 2016.

TABLA XXVI. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN UNO

	UNIDAD	CARACTERÍSTICA
Sistema resistente a carga lateral		Pórticos de Hormigón Armado
Resistencia del hormigón (f_c)	Kg/cm ²	240
Límite de fluencia del acero de refuerzo (f_y)	Kg/cm ²	4200
Tipo de losa		Nervada
Espesor de losa	cm	20
Ancho de nervios	cm	10
Dimensión de columnas	cm	30x30
Recubrimiento de columnas	cm	3
Dimensión de vigas	cm	30x20
Recubrimiento de vigas	cm	2.5
Altura de entresijos	m	2.6, 2.6 y 2.85
COEFICIENTES PARA ANÁLISIS SEGÚN NEC-15		
Coefficiente de importancia (I)		1
Coefficiente de reducción (R)		5 (vigas banda)
Coefficiente de configuración en planta (Φ_p)		0.9
Coefficiente de configuración en elevación (Φ_e)		0.9

Elaboración: Doménica Constante

Fig. 29. Modelación estructural de la edificación uno.



Fuente: ETABS 2016

4.2.2.1.1 Período de vibración

El período de vibración para esta edificación es igual a:

$$T = 0.055 + 8.72^{0.9}$$

$$T = 0.39 \text{ s}$$

Cabe recalcar que es importante verificar que los valores de períodos de vibración modales obtenidos mediante ETABS 2016 no sean mayores en un 30% al valor calculado mediante la expresión previamente detallada (30); esto se muestra en la Tabla XXVII. [8]

TABLA XXVII. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EDIFICACIÓN UNO

MODO DE VIBRACIÓN	T _{modal} (s)	≤	1.3 T (s)
1	0.447	<	0.507
2	0.422	<	
3	0.313	<	

Fuente: ETABS 2016

Como se puede notar la verificación para este caso si se cumple, siendo los tres primeros períodos modales menores al condicionamiento planteado.

4.2.2.1.2 Participación modal de masa

Dentro de un análisis que toma en cuenta espectros se debe considerar todos los modos que involucren la participación de masa modal acumulada de al menos un 90% de la masa total de la estructura, esto en cada dirección horizontal principal; la Tabla XXVIII muestra los porcentajes correspondientes. [8]

TABLA XXVIII. PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN MODAL DE MASA EDIFICACIÓN UNO

MODO DE VIBRACIÓN	Sum UX	Sum UY
1	0%	32%
2	83%	32%
3	83%	74%
4	84%	88%
5	91%	91%

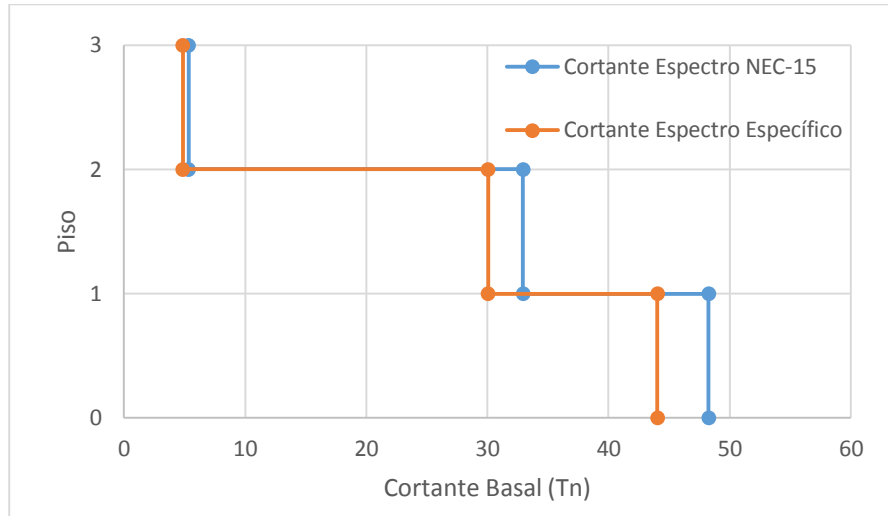
Fuente: ETABS 2016

Como se puede observar la participación modal de masa requerida se cumple para ambos sentidos a partir del quinto modo de vibración con un 91%.

4.2.2.1.3 Cortante Basal

El cortante basal es la fuerza total por cargas laterales aplicada en la base de la estructura a causa de la acción de un sismo; a continuación se presentará la respectiva distribución en elevación de cortante.

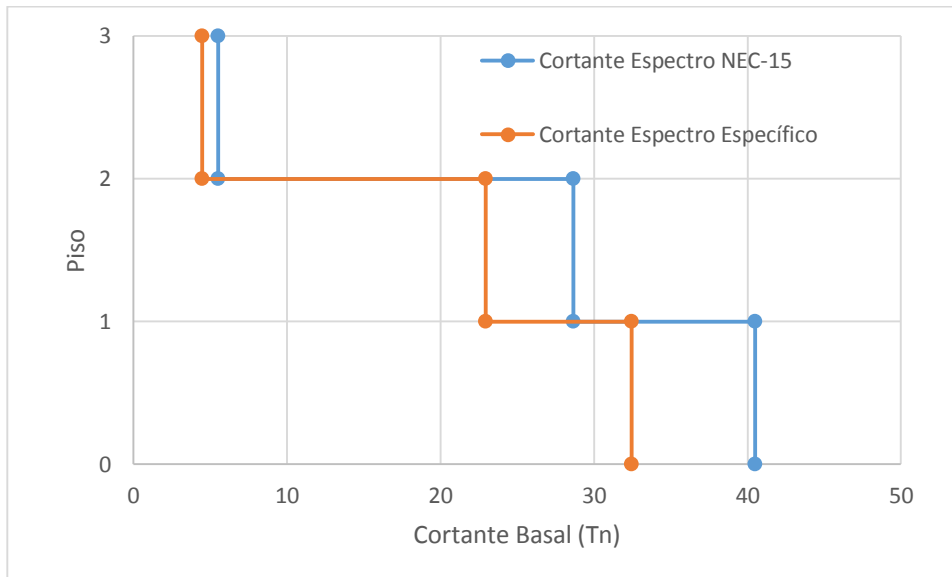
Fig. 30. Cortante Estático edificación uno



Elaboración: Doménica Constante

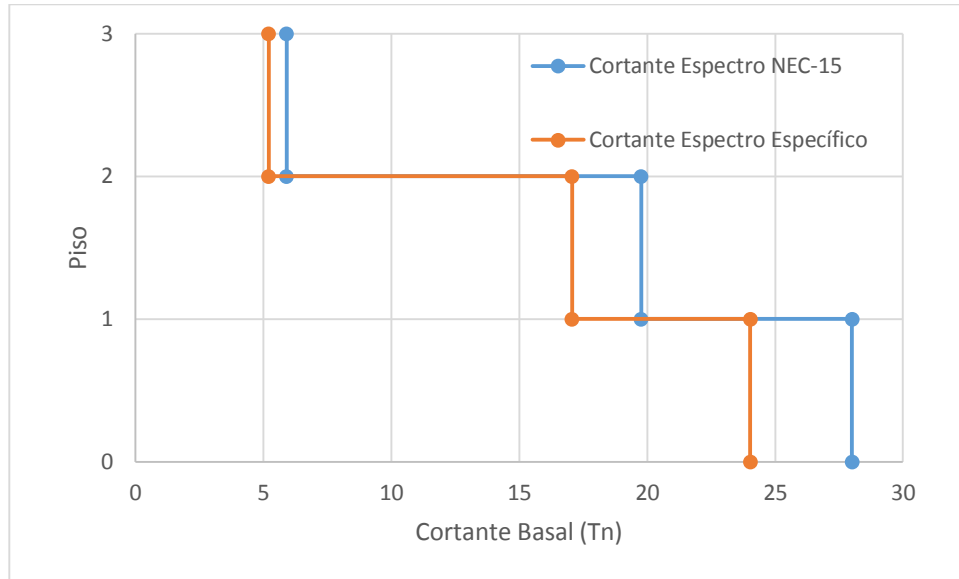
El cortante basal para el espectro de la NEC-15 es de 48.25 Tn, mientras que para el espectro específico este valor es de 44.03 Tn, tanto en sentido X como Y. Esto debido a que el espectro normado genera aceleraciones más altas a comparación del específico.

Fig. 31. Cortante Dinámico en sentido X edificación uno



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 32. Cortante Dinámico en sentido Y edificación uno



Elaboración: Doménica Constante

De la misma manera el espectro de la NEC-15 prevalece con valores mayores en cortantes dinámicos en relación al específico.

4.2.2.1.4 Derivas

Las derivas que se obtienen en el software son derivas elásticas, debido a que la normativa verifica con derivas inelásticas esta brinda una ecuación para su cálculo. Además como límite de derivas inelásticas se considera un 2%.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E \quad (31)$$

Donde Δ_M es la deriva máxima inelástica; R es el coeficiente de reducción y Δ_E es la deriva obtenida en aplicación de fuerzas laterales de diseño reducidas. [8]

En la Tabla XXIX se muestran los valores correspondientes a cada deriva estática obtenida.

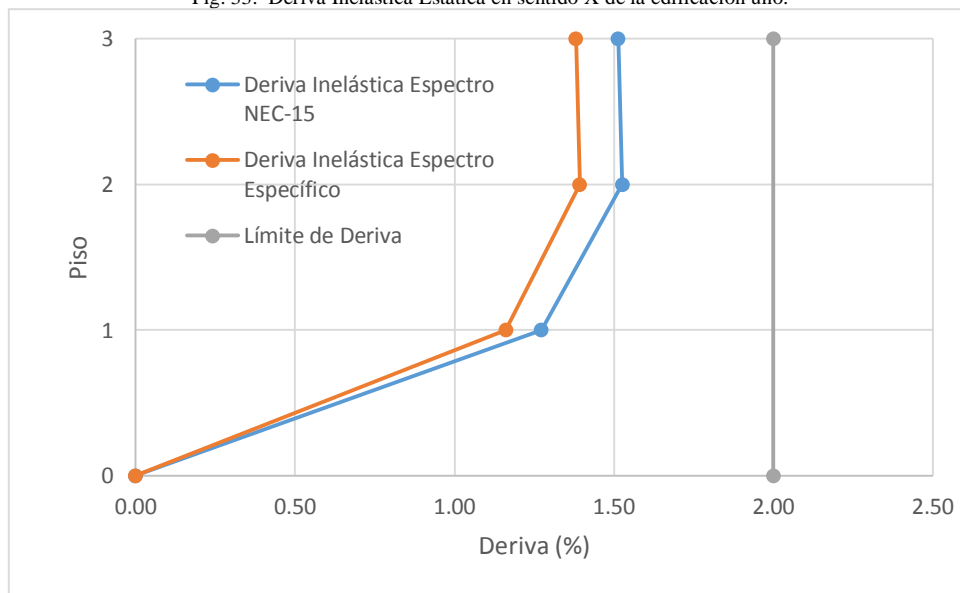
TABLA XXIX. VALORES DE DERIVAS ESTÁTICAS EDIFICACIÓN UNO

ESPECTRO DE LA NEC-15						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
3	0.004035	0.00367	0.01513125	0.0137625	1.51	1.38
2	0.00407	0.003908	0.0152625	0.014655	1.53	1.47
1	0.003394	0.003126	0.0127275	0.0117225	1.27	1.17
ESPECTRO ESPECÍFICO						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
3	0.003682	0.003349	0.0138075	0.01255875	1.38	1.26
2	0.003714	0.003566	0.0139275	0.0133725	1.39	1.34
1	0.003097	0.002853	0.01161375	0.01069875	1.16	1.07

Elaboración: Doménica Constante

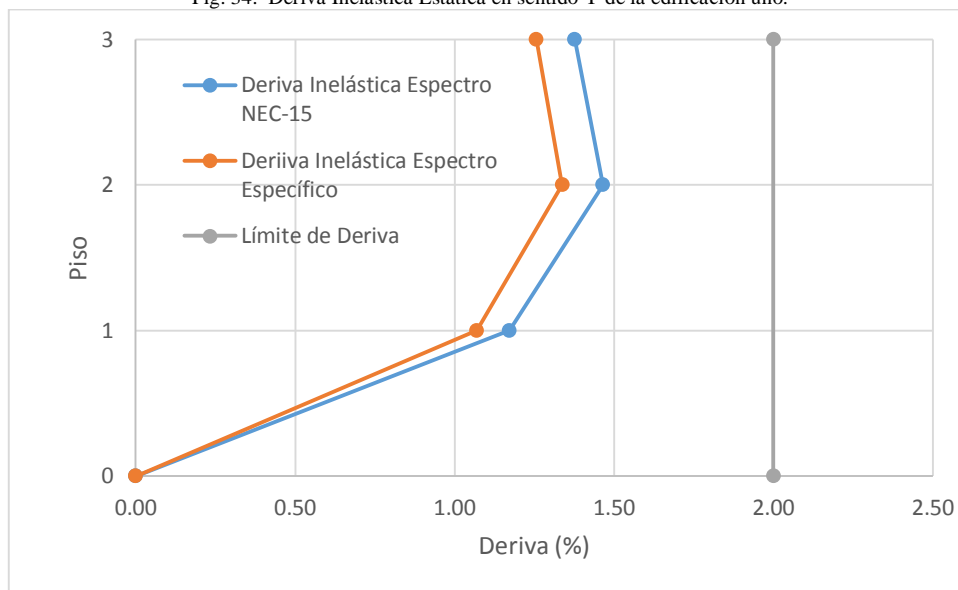
La representación gráfica de las derivas estáticas inelásticas se detalla a continuación

Fig. 33. Deriva Inelástica Estática en sentido X de la edificación uno.



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 34. Deriva Inelástica Estática en sentido Y de la edificación uno.



Elaboración: Doménica Constante

Las derivas resultantes del espectro normado superan en ambos sentidos a las del espectro específico; todos los valores están dentro del límite establecido y se puede observar que las derivas en X son mayores a las de Y.

En la Tabla XXX se muestran los valores correspondientes a cada deriva dinámica obtenida.

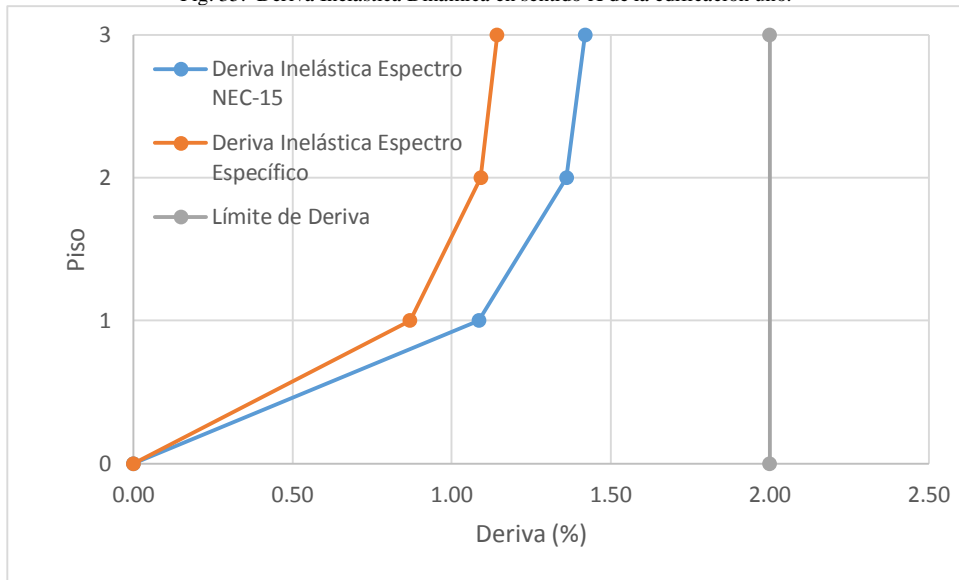
TABLA XXX. VALORES DE DERIVAS DINÁMICAS EDIFICACIÓN UNO

ESPECTRO DE LA NEC-15						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
3	0.003786	0.003379	0.0141975	0.01267125	1.42	1.27
2	0.003631	0.003193	0.01361625	0.01197375	1.36	1.20
1	0.002895	0.002501	0.01085625	0.00937875	1.09	0.94
ESPECTRO ESPECÍFICO						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
3	0.003047	0.003014	0.01142625	0.0113025	1.14	1.13
2	0.002911	0.002521	0.01091625	0.00945375	1.09	0.95
1	0.002318	0.001974	0.0086925	0.0074025	0.87	0.74

Elaboración: Doménica Constante

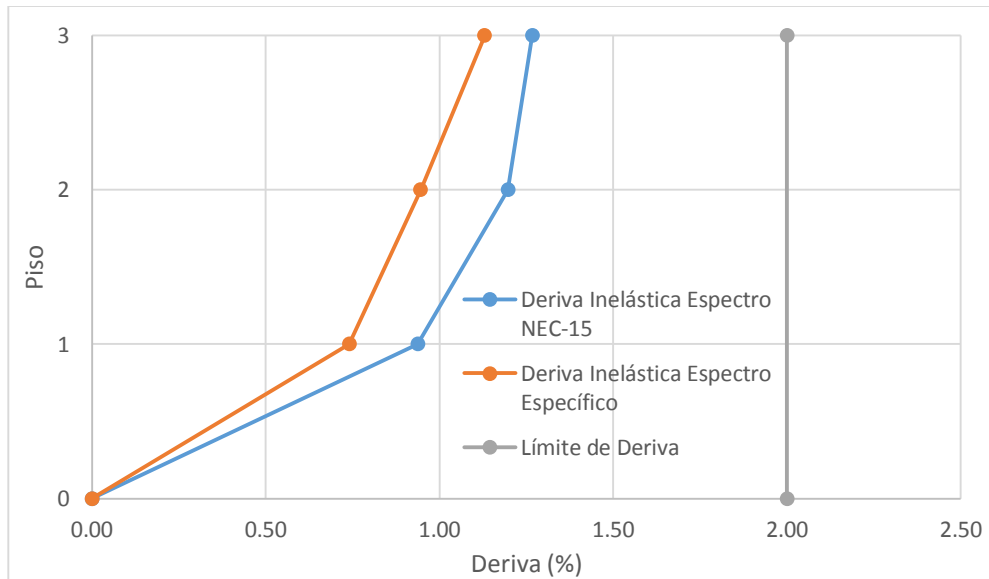
A continuación se representa gráficamente las derivas dinámicas inelásticas.

Fig. 35. Deriva Inelástica Dinámica en sentido X de la edificación uno.



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 36. Deriva Inelástica Dinámica en sentido Y de la edificación uno.



Elaboración: Doménica Constante

Las derivas predominantes resultan ser las generadas por el espectro normado en las dos direcciones principales, y los valores son mayores en el sentido X.

4.2.2.2 Edificación dos

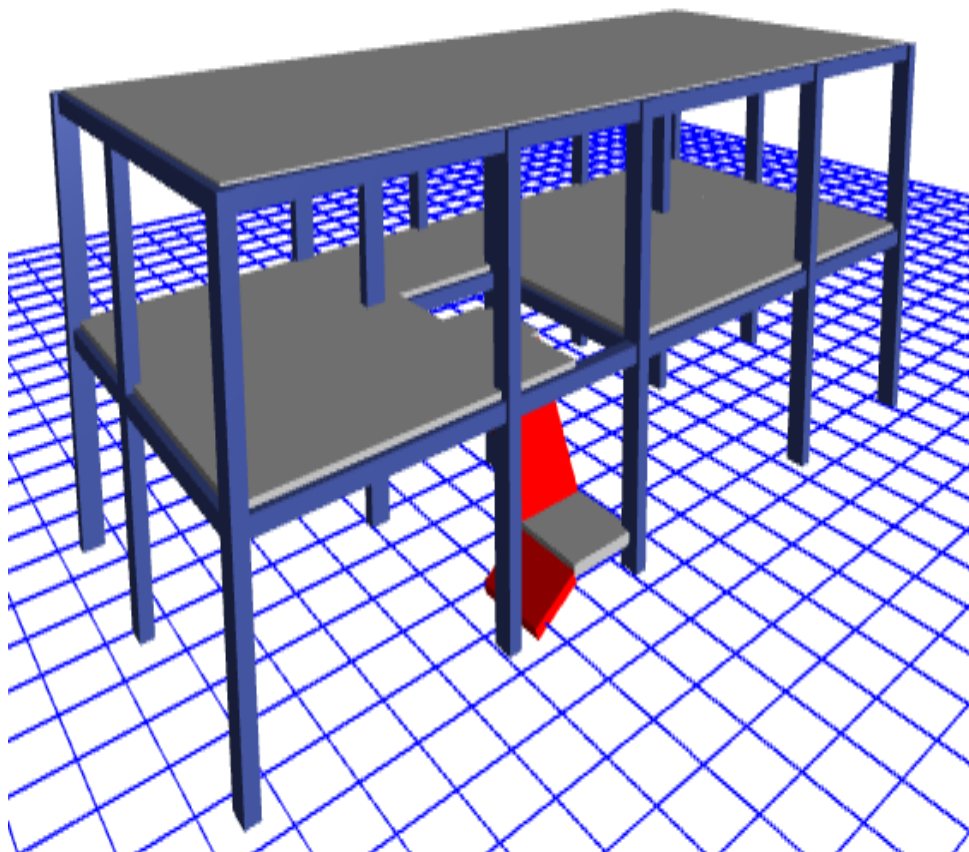
Las características de la presente estructura son presentadas en la Tabla XXXI, y a continuación se puede observar el detalle del análisis realizado en ETABS 2016.

TABLA XXXI. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN DOS

	UNIDAD	CARACTERÍSTICA
Sistema resistente a carga lateral		Pórticos de Hormigón Armado
Resistencia del hormigón (f_c)	Kg/cm ²	240
Límite de fluencia del acero de refuerzo (f_y)	Kg/cm ²	4200
Tipo de losa		Nervada
Espesor de losa	cm	20
Ancho de nervios	cm	10
Dimensión de columnas	cm	25x40
Recubrimiento de columnas	cm	3
Dimensión de vigas	cm	25x20
Recubrimiento de vigas	cm	2.5
Altura de entrepisos	m	2.52
COEFICIENTES PARA ANÁLISIS SEGÚN NEC-15		
Coefficiente de importancia (I)		1
Coefficiente de reducción (R)		5 (vigas banda)
Coefficiente de configuración en planta (Φ_p)		1
Coefficiente de configuración en elevación (Φ_e)		1

Elaboración: Doménica Constante

Fig. 37. Modelación estructural de la edificación dos.



Fuente: ETABS 2016

4.2.2.2.1 Período de vibración

El período de vibración para esta edificación es igual a:

$$T = 0.055 + 5.22^{0.9}$$

$$T = 0.24 \text{ s}$$

Los valores de los períodos con la comparación respectiva se muestran en la Tabla XXXII.

TABLA XXXII. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EDIFICACIÓN DOS

MODO DE VIBRACIÓN	T_{modal} (s)	≤	1.3 T (s)
1	0.42	>	0.312
2	0.366	>	
3	0.344	>	

Fuente: ETABS 2016

La verificación no es satisfactoria para los períodos de esta estructura.

4.2.2.2.2 Participación modal de masa

La Tabla XXXIII se muestra los porcentajes de participación modal de masa correspondientes en sus dos direcciones principales hasta el modo en el que se cumpla como mínimo el 90%.

TABLA XXXIII. PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN MODAL DE MASA EDIFICACIÓN DOS

MODO DE VIBRACIÓN	Sum UX	Sum UY
1	81%	2%
2	82%	79%
3	82%	80%
4	99%	80%
5	99%	97%

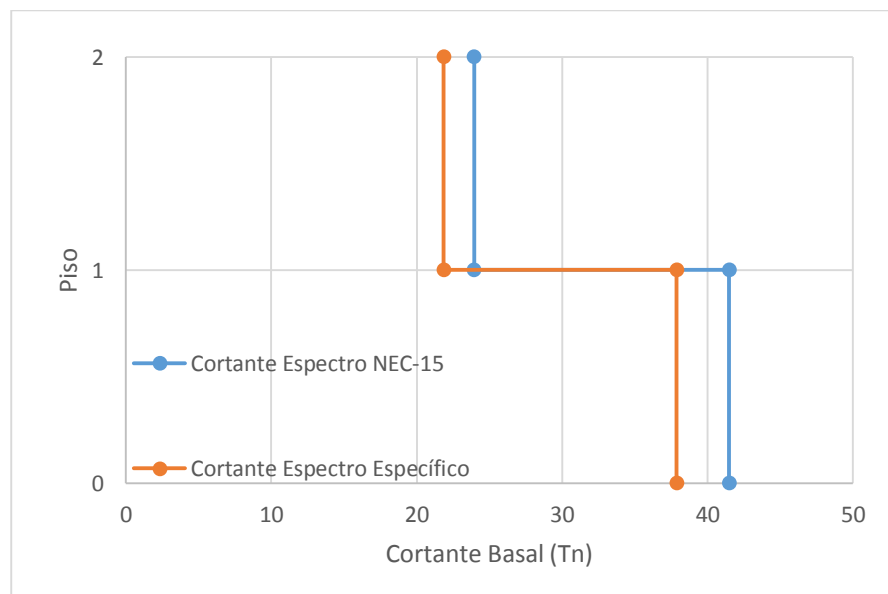
Fuente: ETABS 2016

Como se puede observar la participación modal de masa requerida se cumple para el sentido X en el cuarto modo de vibración con un 99%, mientras que para el sentido Y en el quinto modo con un 97%.

4.2.2.2.3 Cortante Basal

La respectiva distribución en elevación de cortante con el análisis de ambos espectros de manera estática y dinámica es detallada a continuación.

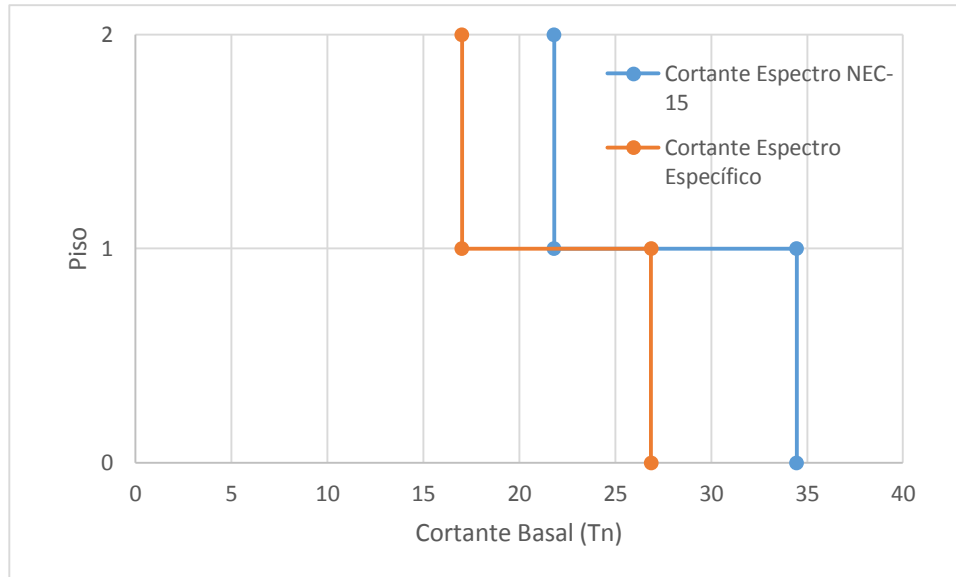
Fig. 38. Cortante Estático edificación dos



Elaboración: Doménica Constante

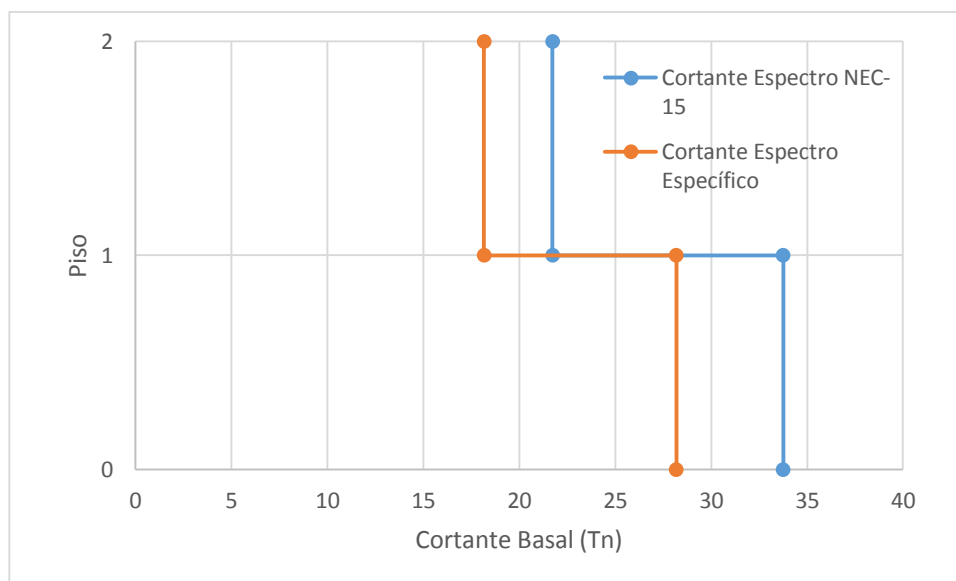
El cortante basal para el espectro de la NEC-15 es de 41.50 Tn, mientras que para el espectro específico este valor es de 37.87 Tn, tanto en sentido X como Y. Esto debido a que el espectro normado genera aceleraciones más altas a comparación del específico.

Fig. 39. Cortante Dinámico en sentido X edificación dos



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 40. Cortante Dinámico en sentido Y edificación dos



Elaboración: Doménica Constante

Para el cortante dinámico en ambos sentidos el espectro normado genera valores superiores a comparación del específico, para el espectro de la NEC-15 en sentido X 34.45 Tn, mientras que para Y 33.75 Tn, y para el espectro específico en X 26.88 Tn y 28.19 Tn en sentido Y.

4.2.2.2.4 Derivas

En la Tabla XXXIV se muestran los valores correspondientes a cada deriva estática obtenida.

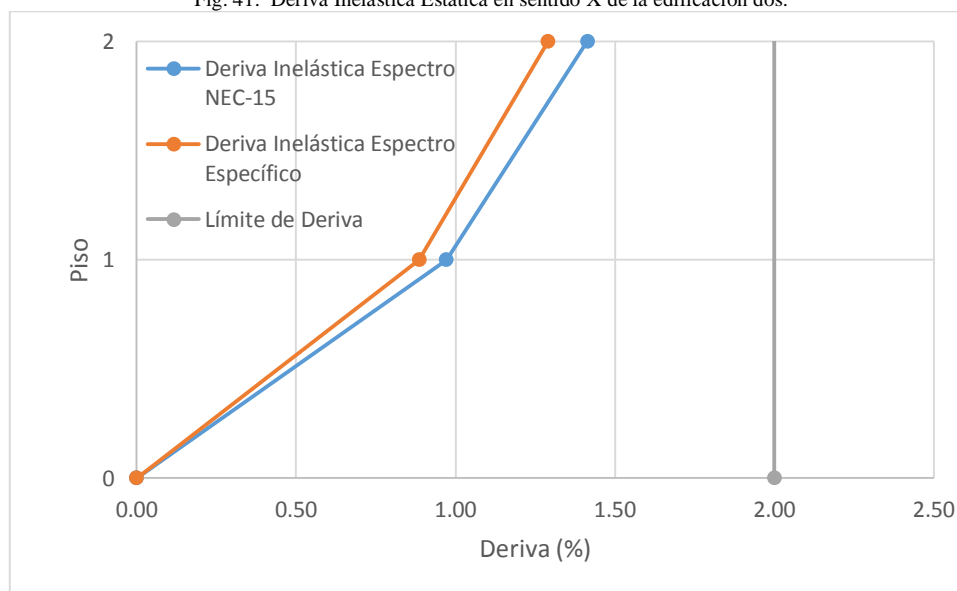
TABLA XXXIV. VALORES DE DERIVAS ESTÁTICAS EDIFICACIÓN DOS

ESPECTRO DE LA NEC-15						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
2	0.00377	0.003535	0.0141375	0.01325625	1.41	1.33
1	0.002589	0.002213	0.00970875	0.00829875	0.97	0.83
ESPECTRO ESPECÍFICO						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
2	0.003441	0.003226	0.01290375	0.0120975	1.29	1.21
1	0.002363	0.002020	0.00886125	0.007575	0.89	0.76

Elaboración: Doménica Constante

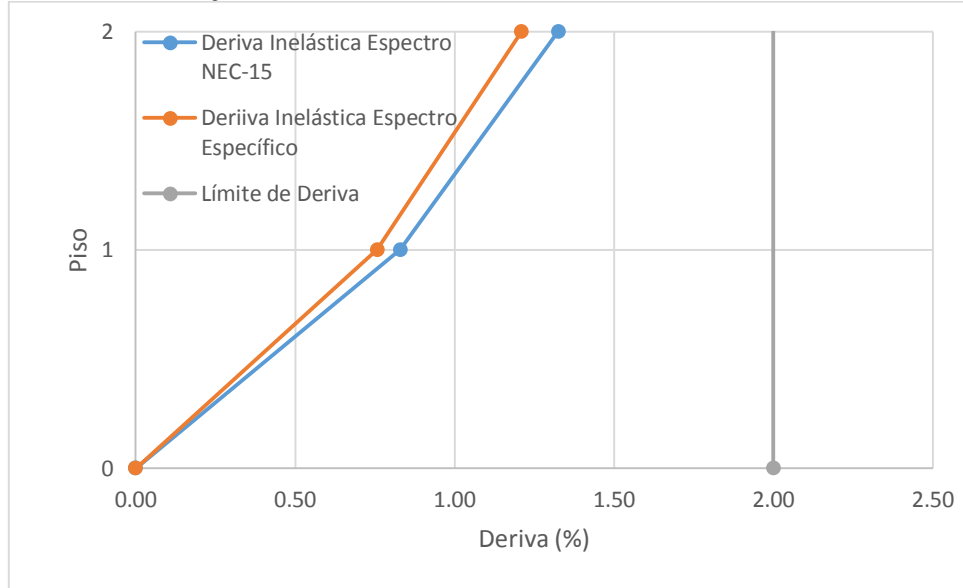
La representación gráfica de las derivas estáticas inelásticas se detalla a continuación

Fig. 41. Deriva Inelástica Estática en sentido X de la edificación dos.



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 42. Deriva Inelástica Estática en sentido Y de la edificación dos.



Elaboración: Doménica Constante

Las derivas resultantes del espectro normado superan en ambos sentidos a las del espectro específico; todos los valores están dentro del límite establecido y se puede observar que las derivas en X son mayores a las de Y.

En la Tabla XXXV se muestran los valores correspondientes a cada deriva dinámica obtenida.

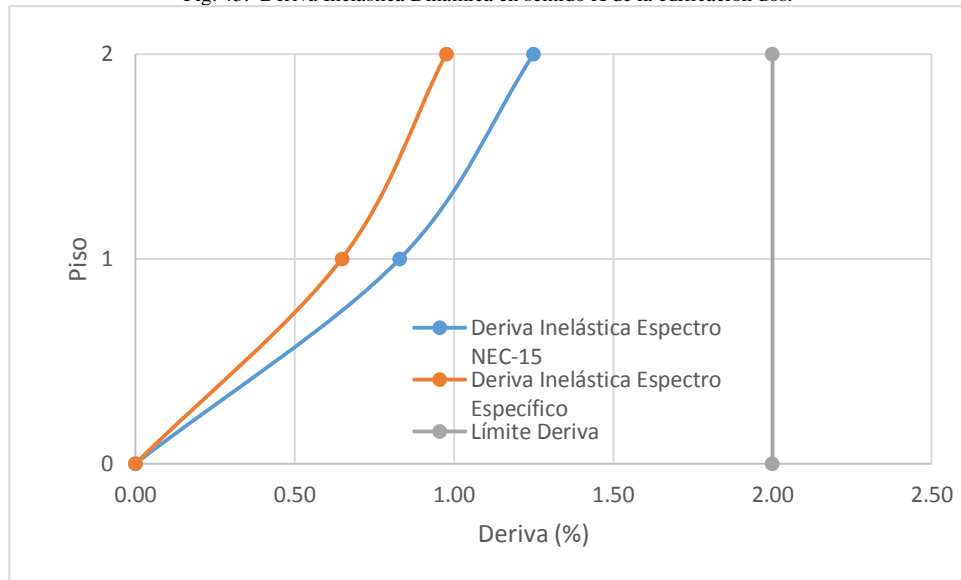
TABLA XXXV. VALORES DE DERIVAS DINÁMICAS EDIFICACIÓN DOS

ESPECTRO DE LA NEC-15						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
2	0.003334	0.003147	0.0125025	0.01180125	1.25	1.18
1	0.002213	0.001867	0.00829875	0.00700125	0.83	0.70
ESPECTRO ESPECÍFICO						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
2	0.002603	0.002636	0.00976125	0.009885	0.98	0.99
1	0.001728	0.001563	0.00648	0.00586125	0.65	0.59

Elaboración: Doménica Constante

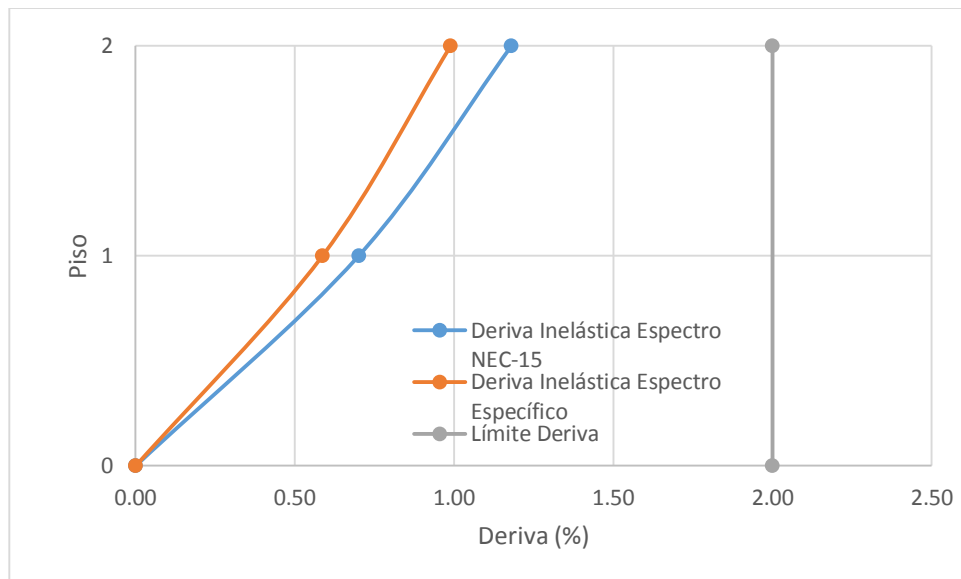
A continuación se representa gráficamente las derivas dinámicas inelásticas.

Fig. 43. Deriva Inelástica Dinámica en sentido X de la edificación dos.



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 44. Deriva Inelástica Dinámica en sentido Y de la edificación dos.



Elaboración: Doménica Constante

Las derivas inelásticas dinámicas son mayores para el espectro normado en ambos sentidos, esto debido a que la respuesta en aceleración es mayor para este espectro.

4.2.2.3 Edificación tres

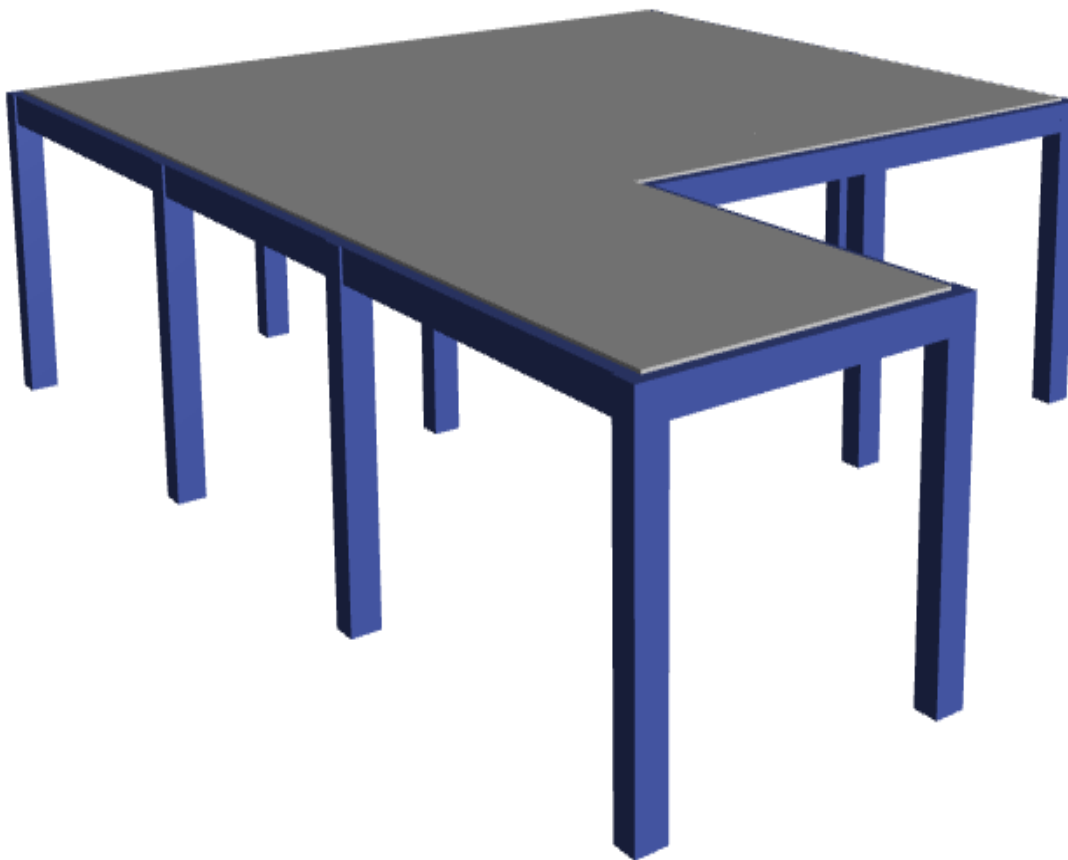
Las características de la presente estructura son presentadas en la Tabla XXXVI, y a continuación se puede observar el detalle del análisis realizado en ETABS 2016.

TABLA XXXVI. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN TRES

	UNIDAD	CARACTERÍSTICA
Sistema resistente a carga lateral		Pórticos de Hormigón Armado
Resistencia del hormigón (f_c)	Kg/cm ²	240
Límite de fluencia del acero de refuerzo (f_y)	Kg/cm ²	4200
Tipo de losa		Nervada
Espesor de losa	cm	20
Ancho de nervios	cm	10
Dimensión de columnas	cm	30x25
Recubrimiento de columnas	cm	3
Dimensión de vigas	cm	25x25
Recubrimiento de vigas	cm	2.5
Altura de entrepisos	m	2.7
COEFICIENTES PARA ANÁLISIS SEGÚN NEC-15		
Coefficiente de importancia (I)		1
Coefficiente de reducción (R)		8 (vigas descolgadas)
Coefficiente de configuración en planta (Φ_p)		0.9
Coefficiente de configuración en elevación (Φ_e)		1

Elaboración: Doménica Constante

Fig. 45. Modelación estructural de la edificación tres.



Fuente: ETABS 2016

4.2.2.3.1 Período de vibración

El período de vibración para esta edificación es igual a:

$$T = 0.055 + 2.70^{0.9}$$

$$T = 0.13 \text{ s}$$

Los valores de los períodos con la comparación respectiva se muestran en la Tabla XXXVII.

TABLA XXXVII. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EDIFICACIÓN TRES

MODO DE VIBRACIÓN	T_{modal} (s)	≤	1.3 T (s)
1	0.225	>	0.169
2	0.19	>	
3	0.167	<	

Fuente: ETABS 2016

En el caso de esta estructura la verificación no es satisfactoria para los dos primeros modos de vibración.

4.2.2.3.2 Participación modal de masa

La Tabla XXXVIII se muestra los porcentajes de participación modal de masa correspondientes en sus dos direcciones principales hasta el modo en el que se cumpla como mínimo el 90%.

TABLA XXXVIII. PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN MODAL DE MASA EDIFICACIÓN TRES

MODO DE VIBRACIÓN	Sum UX	Sum UY
1	0%	100%
2	99%	100%
3	100%	100%

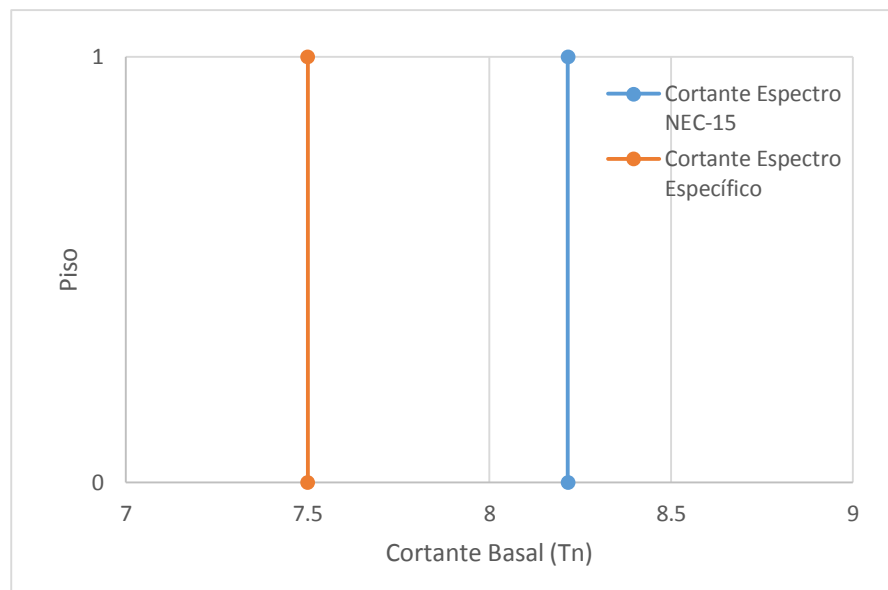
Fuente: ETABS 2016

La participación modal de masa requerida se cumple en ambos sentidos en el segundo modo de vibración, para el sentido X con un 99%, mientras que para el sentido Y un 100%.

4.2.2.3.3 Cortante Basal

La respectiva distribución en elevación de cortante con el análisis de ambos espectros de manera estática y dinámica es detallada a continuación.

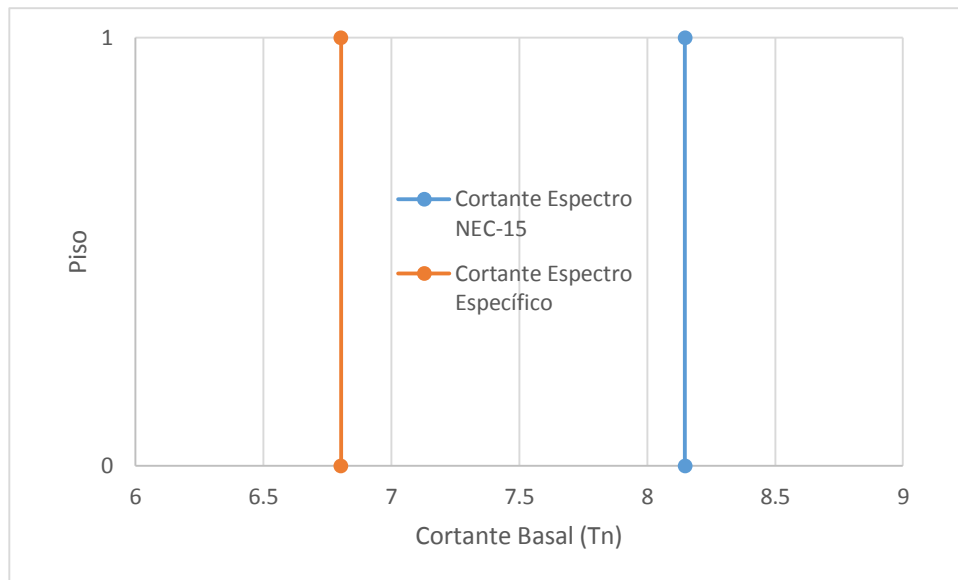
Fig. 46. Cortante Estático edificación tres



Elaboración: Doménica Constante

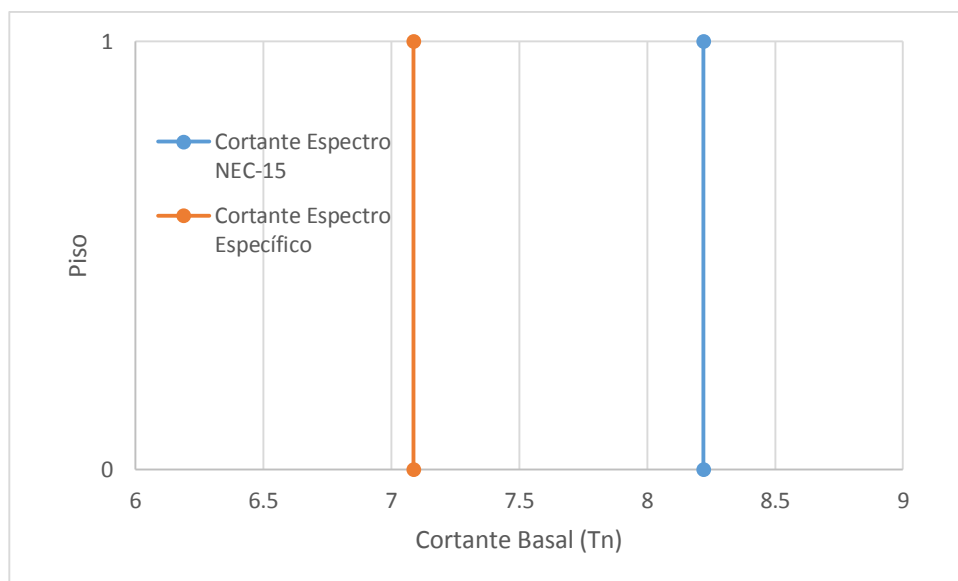
El cortante basal para el espectro de la NEC-15 es de 8.22 Tn, mientras que para el espectro específico este valor es de 7.50 Tn, tanto en sentido X como Y. Esto debido a que el espectro normado genera aceleraciones mayores en comparación del específico.

Fig. 47. Cortante Dinámico en sentido X edificación tres



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 48. Cortante Dinámico en sentido Y edificación tres



Elaboración: Doménica Constante

Para el cortante dinámico en ambos sentidos el espectro normado genera valores superiores en comparación al específico, para el espectro de la NEC-15 en sentido X 8.15 Tn, mientras que para Y 8.22 Tn, y para el espectro específico en X 6.80 Tn y 7.09 Tn en sentido Y.

4.2.2.3.4 Derivas

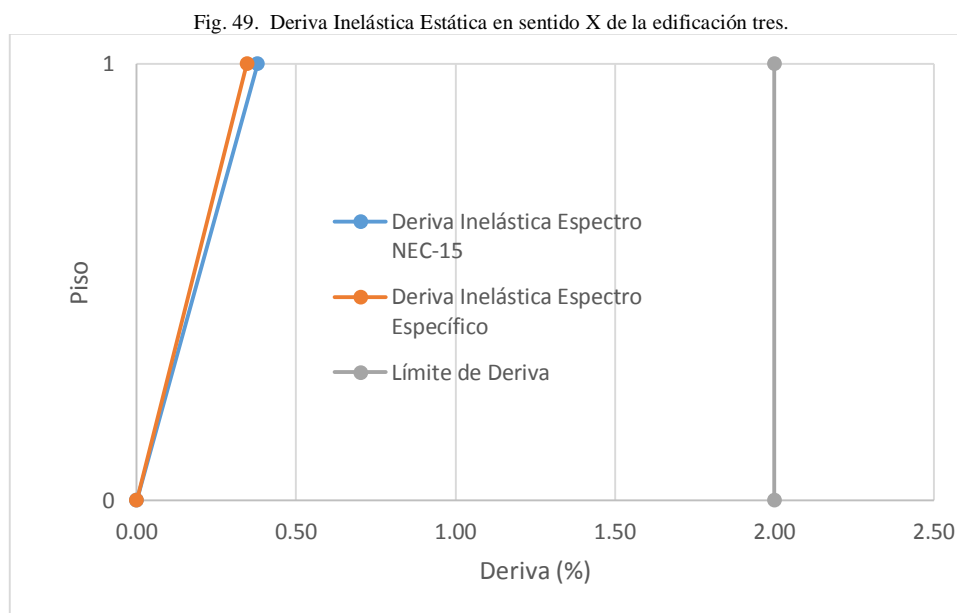
En la Tabla XXXIX se muestran los valores correspondientes a cada deriva estática obtenida.

TABLA XXXIX. VALORES DE DERIVAS ESTÁTICAS EDIFICACIÓN TRES

ESPECTRO DE LA NEC-15						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
1	0.000632	0.000825	0.003792	0.00495	0.38	0.50
ESPECTRO ESPECÍFICO						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
1	0.000577	0.000754	0.003462	0.004524	0.35	0.45

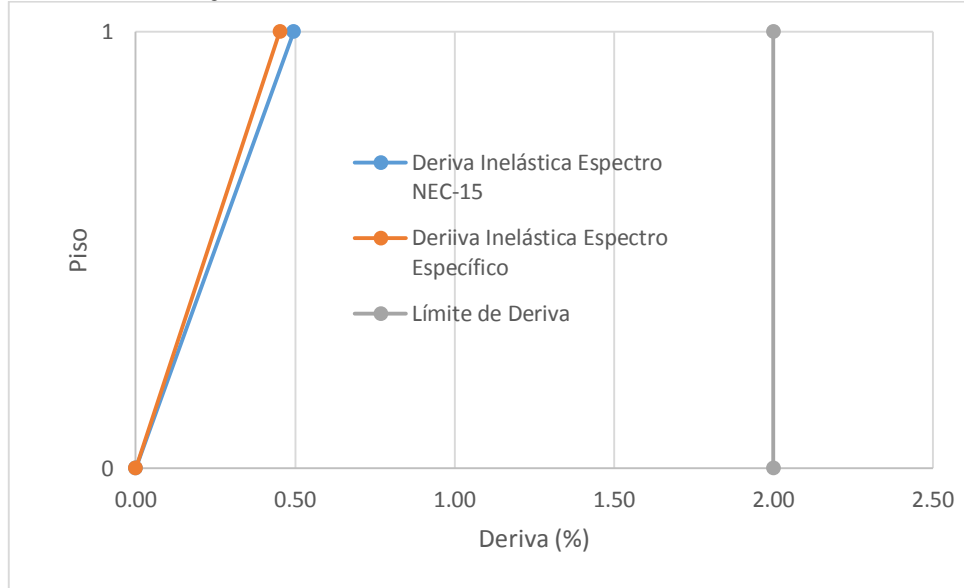
Elaboración: Doménica Constante

La representación gráfica de las derivas estáticas inelásticas se detalla a continuación



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 50. Deriva Inelástica Estática en sentido Y de la edificación tres.



Elaboración: Doménica Constante

Las derivas resultantes del espectro normado superan en ambos sentidos a las del espectro específico; todos los valores están dentro del límite establecido y se puede observar que las derivas en Y son mayores a las de X.

En la Tabla XL se muestran los valores correspondientes a cada deriva dinámica obtenida.

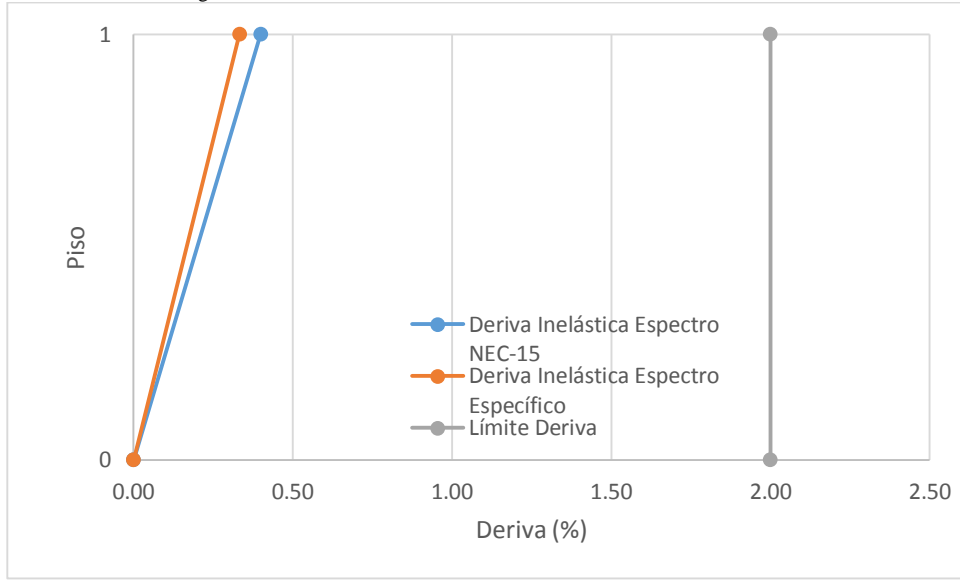
TABLA XL. VALORES DE DERIVAS DINÁMICAS EDIFICACIÓN TRES

ESPECTRO DE LA NEC-15						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
1	0.000665	0.000826	0.00399	0.004956	0.40	0.50
ESPECTRO ESPECÍFICO						
PISO	Δ_E		Δ_M		%	
	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y	SENTIDO X	SENTIDO Y
1	0.000555	0.000712	0.00333	0.004272	0.33	0.43

Elaboración: Doménica Constante

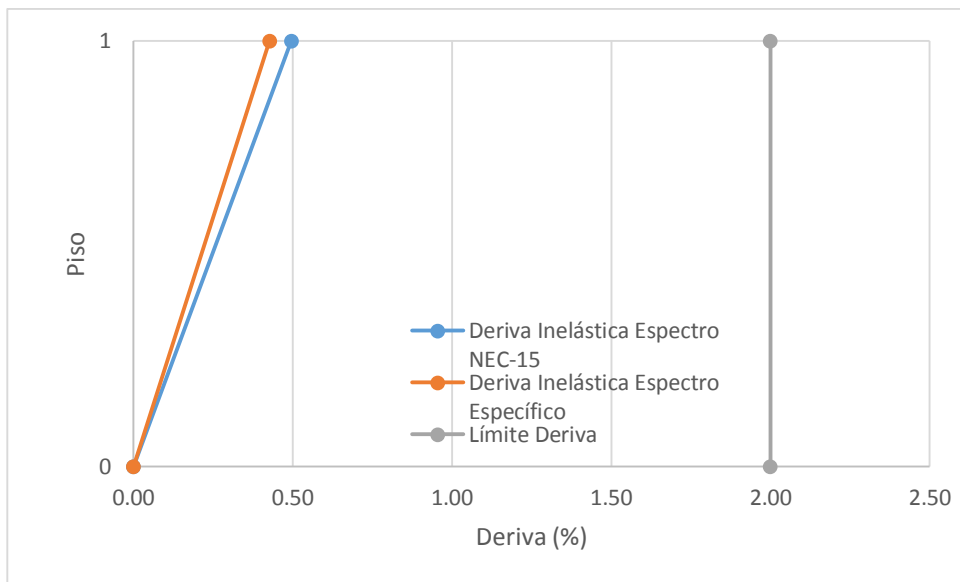
A continuación se representa gráficamente las derivas dinámicas inelásticas.

Fig. 51. Deriva Inelástica Dinámica en sentido X de la edificación tres.



Elaboración: Doménica Constante

Fig. 52. Deriva Inelástica Dinámica en sentido Y de la edificación tres.



Elaboración: Doménica Constante

Las derivas inelásticas dinámicas son mayores para el espectro normado en ambos sentidos, esto debido a que la respuesta en aceleración es mayor para este espectro.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Conforme a la hipótesis planteada para el presente trabajo experimental “El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del sector San Antonio de la ciudad de Ambato” se determinó que la envolvente de los espectros de aceleración calculados mediante cada ecuación de los diferentes modelos de atenuación descritos posee valores inferiores en aceleraciones con respecto al espectro elástico de diseño propuesto por la NEC-15, por lo cual el comportamiento estructural de las edificaciones del sitio realizadas en base a la normativa es satisfactorio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Por medio de los datos obtenidos se procedió a generar espectros de aceleración con un amortiguamiento del 5% para las principales y más representativas fallas geológicas del sector en cuestión, siendo así que la falla Ambato es la más crítica debido a que genera valores mayores de aceleración y es la más cercana.
- Entre el espectro específico y el de la NEC-15 los valores de aceleración son muy cercanos, sin embargo mantienen su diferencia colocando así al específico inferior en aceleración con respecto al normado, cabe recalcar que el rango entre 2 y 3.5 s es donde esta diferencia pasa a ser casi nula, encontrándose ambos espectros.
- El espectro específico abarca aceleraciones hasta de 1.09 g siendo este el valor máximo en un período de vibración de 0.3 s, el mismo que se encuentra dentro de las aceleraciones del espectro de la NEC-15 con un valor máximo de 1.19 g.
- El modelo de atenuación con mayor respuesta en aceleración es el de Akkar y Bommer 2010, ya que todas las fallas que se analizaron mediante dicho modelo generan mayores valores en comparación con los demás.
- En los espectros obtenidos mediante el análisis cortical se demostró que a menor distancia horizontal más cercana a la proyección de la falla (r_{jb}) la aceleración es mayor, siendo así que la falla de Ambato con menor valor para esta distancia igual a 0.8 Km presenta los valores mayores de aceleración para todos los modelos de atenuación en cuestión.

- El análisis de subducción entre los modelos de atenuación dispuestos refleja en los espectros obtenidos que mediante Zhao 2006 se obtiene valores superiores en aceleración en comparación a Youngs 1997 a partir de 1 s en adelante.
- En base a los espectros de respuesta en aceleración obtenidos se demuestra que para fallas corticales las estructuras afectadas son las más cercanas con períodos de vibración bajos, es decir, edificaciones bajas; mientras que las fallas de subducción son críticas para estructuras lejanas con períodos mucho mayores que determina la afectación en las estructuras altas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Debido a que los registros de actividad sísmica de las estaciones sismológicas van en aumento, las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo se actualizarán contantemente, por lo mismo este tipo de investigaciones también deberán actualizarse con la utilización de nuevos valores y coeficientes.
- A causa de que el sector se encuentra muy cerca de fallas con importante repercusión en las estructuras, este tipo de estudio debe ser constante y detallado para verificar el comportamiento de las mismas.
- Puesto que el comportamiento estructural es muy similar para este sector tanto con el espectro normado y específico, se deberían realizar estudios profundizando en el desempeño de mayor cantidad de estructuras con diversas características para denotar la variabilidad de mejor manera, e incluso poner en análisis estructuras esenciales y especiales para que los resultados tengan aún mayor relevancia.
- Dado que los resultados del modelo de atenuación de Kanno 2006 genera aceleraciones menores, se recomienda utilizar valores de profundidad focal más cercanos al máximo planteado para análisis cortical (30 Km), esto debido a que así se ajusta de mejor manera dicho modelo con respecto a los otros.

C. MATERIAL DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Correa, D. Hinojosa y M. Taípe, «SISMICIDAD HISTÓRICA DEL ECUADOR CALCULO DE ACELERACIONES MAXIMAS, ENERGÍA SÍSMICA LIBERADA Y ESTIMACIÓN DE PELIGRO SÍSMICO,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2004.
- [2] D. Alvarado y G. Valdebenito, «Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Chile,» 18-20 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://rina.cl/rina/wp-content/uploads/2015/11/Achisina-Microzonificaci%C2%A2n-Valdivia-01-Oct-2014.pdf>. [Último acceso: 4 Diciembre 2017].
- [3] P. Quinde y R. Eduardo, «Scielo,» 2016. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001. [Último acceso: 4 Diciembre 2017].
- [4] K. Chunga, «Estudio de Tectónica activa y Riesgo Sísmico para para el Proyecto “Túnel de Tandapi”,» 16 Abril 2013. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Kervin_Chunga2/publication/321481297_Estudio_de_Tectonica_activa_y_Riesgo_Sismico_para_para_el_Proyecto_Tunel_de_Tandapi/links/5a2398df0f7e9b71dd055e33/Estudio-de-Tectonica-activa-y-Riesgo-Sismico-para-para-el-Proyecto. [Último acceso: 4 Diciembre 2017].
- [5] R. Aguiar, «MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL CENTRO NORTE DE QUITO,» 2013. [En línea]. Available: <http://ia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/03/Microzonificaci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 27 septiembre 2017].
- [6] M. Rosenberg, «Ring of Fire,» ThoughtCo., 23 junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.thoughtco.com/ring-of-fire-1433460>. [Último acceso: septiembre 27 2017].
- [7] A. Giesecke, «Sismos en Sudamérica: ¿cómo enfrentarlos desde un enfoque regional?,» PALESTRA, octubre 2005. [En línea]. Available: http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/11982/sismos_sudamerica_Giesecke.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 27 septiembre 2017].
- [8] Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015..

- [9] RPP, «Terremoto en Ecuador: ¿qué es el Cinturón de Fuego del Pacífico?,» RPP Noticias, 18 abril 2016. [En línea]. Available: <http://rpp.pe/mundo/latinoamerica/terremoto-en-ecuador-que-es-el-cinturon-de-fuego-del-pacifico-noticia-954929>. [Último acceso: 27 septiembre 2017].
- [10] J. M. Nocquet., «Geodésia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador,» [En línea]. Available:http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/publis/geodesia_ecuador_texto_y_figuras.pdf. [Último acceso: 27 septiembre 2017].
- [11] M. Iturralde, 2009. [En línea]. Available: http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2009_Iturralde_GeoCubaParaTodosCap4.pdf. [Último acceso: 8 Febreo 2018].
- [12] E. Tarbuck y F. Lutgens, Ciencias de la Tierra, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S. A, 2005.
- [13] L. Taípe, *Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador utilizando datos registrados durante el periodo 2000 - 2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerogramas*, Quito, 2013.
- [14] D. Wells y K. Coppersmith, *New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*, 1994.
- [15] O. Ortiz, «Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador,» 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>. [Último acceso: 8 Febrero 2018].
- [16] A. Alfaro, *PELIGRO SÍSMICO EN EL SEGMENTO NORTE DE LA REGIÓN DEL MAULE, CHILE.*, Santiago de Chile, 2011.
- [17] INEN, «INVESTIGACIÓN Y ENSAYOS GEOTÉCNICOS. ENSAYOS DE CAMPO. PARTE 3: ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR,» [En línea]. Available:http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/n-te_inen_iso_22476_3extr-acto.pdf.
- [18] D. M. Boore y G. M. Atkinson, «Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s,» Febrero 2008. [En línea]. Available: http://www.daveboore.com/pubs_online/boore_atkinson_eqspectra_published.pdf.
- [19] «INFORME SÍSMICO ESPECIAL N. 18 - 2016 - IGEPN,» [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html>.

- [20] «Catálogo de terremotos del Ecuador,» [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6007/CATALOGO%20TERRMOTOS%20113-127.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- [21] B. Kirar, B. K. Maheshwari y P. Muley, «Correlation Between Shear Wave Velocity (V_s) and SPT Resistance (N) for Roorkee Region,» SpringerLink, Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40891-016-0047-5>.
- [22] S. Akkar y J. J. Bommer, «Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East,» Marzo/Abril 2010. [En línea]. Available: http://web.boun.edu.tr/sinan.akkar/publications/19_Akkar_Bommer_2010_SRL_81_2_195-206.pdf.
- [23] T. Kanno, A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara y Y. Fukushima, «A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data,» Julio 2006. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/228663447_A_new_attenuation_relation_for_strong_ground_motion_in_Japan_based_on_recorded_data.
- [24] R. Youngs, S. Chiou, W. Silva y J. Humphrey, «Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes,» Febrero 1997. [En línea]. Available: <http://www.pacificengineering.org/GM%20Attenuation/Strong%20GM%20Attenuation.pdf>.
- [25] J. Zhao, J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H. Thio, P. Somerville y Y. Fukushima, «Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period,» 2006. [En línea]. Available: http://www.science.earthjay.com/instruction/CR_eureka/2014_spring/FNR_66/activities/activity_06/lab_06/zhao_etal_2006_attenuation_relations_ground_motion_predominant_period.pdf.

2. ANEXOS

ANEXO A



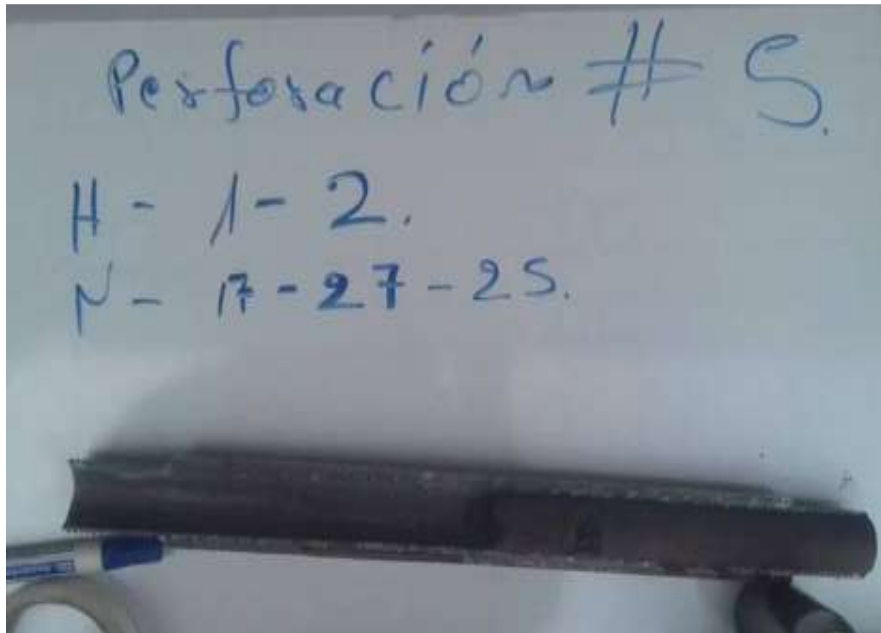
Fotografía 1. Instalación en sitio del equipo.



Fotografía 2. Colocación de las medidas límites.



Fotografía 3. Extracción de la cuchara partida.



Fotografía 4. Obtención de la muestra de suelo.



Fotografía 5. Ensayo granulométrico a las muestras de suelo.



Fotografía 6. Pesaje de las porciones de muestra de suelo retenidas en cada tamiz.

ANEXO B. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE AKKAR Y BOMMER 2010

B-1. Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral

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

Fuente: Akkar y Bommer 2010

B-1. Coeficientes para la predicción de pseudoaceleración espectral (continuación)

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 y Bommer 2010

ANEXO C. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE BOORE Y ATKINSON 2008

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

PERÍODO	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 y Atkinson 2008

C-2. Coeficientes de escala de distancia (Mref = 4.5 y Rref = 1.0 km para todos los períodos. excepto Rref = 5.0 km para pga4nl)

PERÍODO	c1	c2	c3	h
PGA	-0.6605	0.1197	-0.01151	1.35
0.01	-0.6622	0.12	-0.01151	1.35
0.02	-0.666	0.1228	-0.01151	1.35
0.03	-0.6901	0.1283	-0.01151	1.35
0.05	-0.717	0.1317	-0.01151	1.35
0.075	-0.7205	0.1237	-0.01151	1.55
0.1	-0.7081	0.1117	-0.01151	1.68
0.15	-0.6961	0.09884	-0.01113	1.86
0.2	-0.583	0.04273	-0.00952	1.98
0.25	-0.5726	0.02977	-0.00837	2.07
0.3	-0.5543	0.01955	-0.0075	2.14
0.4	-0.6443	0.04394	-0.00626	2.24
0.5	-0.6914	0.0608	-0.0054	2.32
0.75	-0.7408	0.07518	-0.00409	2.46
1	-0.8183	0.1027	-0.00334	2.54
1.5	-0.8303	0.09793	-0.00255	2.66
2	-0.8285	0.09432	-0.00217	2.73
3	-0.7844	0.07282	-0.00191	2.83
4	-0.6854	0.03758	-0.00191	2.89
5	-0.5096	-0.02391	-0.00191	2.93
7.5	-0.3724	-0.06568	-0.00191	3
10	-0.09824	-0.138	-0.00191	3.04

Fuente: Boore y Atkinson 2008

C-3. Coeficientes de escala de magnitud

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

Fuente: Boore y Atkinson 2008

ANEXO D. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE KANNO 2006

D-1. Coeficientes de regresión para el modelo de eventos superficiales

PERÍODO	a1	b1	c1	d1	ε1
0	0.56	-0.0031	0.26	0.0055	0.37
0.05	0.54	-0.0035	0.48	0.0061	0.37
0.06	0.54	-0.0037	0.57	0.0065	0.38
0.07	0.53	-0.0039	0.67	0.0066	0.38
0.08	0.52	-0.004	0.75	0.0069	0.39
0.09	0.52	-0.0041	0.8	0.0071	0.4
0.1	0.52	-0.0041	0.85	0.0073	0.4
0.11	0.5	-0.004	0.96	0.0061	0.4
0.12	0.51	-0.004	0.93	0.0062	0.4
0.13	0.51	-0.0039	0.91	0.0062	0.4
0.15	0.52	-0.0038	0.89	0.006	0.41
0.17	0.53	-0.0037	0.84	0.0056	0.41
0.2	0.54	-0.0034	0.76	0.0053	0.4
0.22	0.54	-0.0032	0.73	0.0048	0.4
0.25	0.54	-0.0029	0.66	0.0044	0.4
0.3	0.56	-0.0026	0.51	0.0039	0.39
0.35	0.56	-0.0024	0.42	0.0036	0.4
0.4	0.58	-0.0021	0.26	0.0033	0.4
0.45	0.59	-0.0019	0.13	0.003	0.41
0.5	0.59	-0.0016	0.04	0.0022	0.41
0.6	0.62	-0.0014	-0.22	0.0025	0.41
0.7	0.63	-0.0012	-0.37	0.0022	0.41
0.8	0.65	-0.0011	-0.54	0.002	0.41
0.9	0.68	-0.0009	-0.8	0.0019	0.41
1	0.71	-0.0009	-1.04	0.0021	0.41
1.1	0.72	-0.0007	-1.19	0.0018	0.41
1.2	0.73	-0.0006	-1.32	0.0014	0.41
1.3	0.74	-0.0006	-1.44	0.0014	0.41
1.5	0.77	-0.0005	-1.7	0.0017	0.4
1.7	0.79	-0.0005	-1.89	0.0019	0.39
2	0.8	-0.0004	-2.08	0.002	0.39
2.2	0.82	-0.0004	-2.24	0.0022	0.38
2.5	0.84	-0.0003	-2.46	0.0023	0.38
3	0.86	-0.0002	-2.72	0.0021	0.38
3.5	0.9	-0.0003	-2.99	0.0032	0.37
4	0.92	-0.0005	-3.21	0.0045	0.38
4.5	0.94	-0.0007	-3.39	0.0064	0.38
5	0.92	-0.0004	-3.35	0.003	0.38

Fuente: Kanno 2006

D-2. Valores de términos de corrección adicional

PERÍODO	p	q	α	β
0	-0.55	1.35	-6.73E-05	2.09E-02
0.05	-0.32	0.8	-7.78E-05	2.37E-02
0.06	-0.26	0.65	-8.02E-05	2.42E-02
0.07	-0.24	0.6	-8.15E-05	2.47E-02
0.08	-0.26	0.64	-8.22E-05	2.50E-02
0.09	-0.29	0.72	-8.26E-05	2.55E-02
0.1	-0.32	0.78	-8.23E-05	2.54E-02
0.11	-0.35	0.84	-8.18E-05	2.56E-02
0.12	-0.39	0.94	-8.08E-05	2.53E-02
0.13	-0.43	1.04	-7.99E-05	2.51E-02
0.15	-0.53	1.28	-7.99E-05	2.51E-02
0.17	-0.61	1.47	-7.53E-05	2.38E-02
0.2	-0.68	1.65	-6.99E-05	2.23E-02
0.22	-0.72	1.74	-6.54E-05	2.09E-02
0.25	-0.75	1.82	-6.07E-05	1.96E-02
0.3	-0.80	1.96	-5.47E-05	1.78E-02
0.35	-0.85	2.09	-5.06E-05	1.67E-02
0.4	-0.87	2.13	-4.62E-05	1.54E-02
0.45	-0.89	2.18	-4.62E-05	1.51E-02
0.5	-0.91	2.25	-4.41E-05	1.44E-02
0.6	-0.92	2.3	-3.60E-05	1.19E-02
0.7	-0.96	2.41	-2.88E-05	9.48E-03
0.8	-0.98	2.46	-2.50E-05	8.19E-03
0.9	-0.97	2.44	-2.16E-05	7.35E-03
1	-0.93	2.32	-2.18E-05	7.61E-03
1.1	-0.92	2.3	-1.95E-05	7.08E-03
1.2	-0.91	2.26	-1.63E-05	6.52E-03
1.3	-0.88	2.2	-1.38E-05	5.85E-03
1.5	-0.85	2.12	-1.18E-05	5.52E-03
1.7	-0.83	2.06	-8.53E-06	4.80E-03
2	-0.78	1.92	-4.53E-06	4.05E-03
2.2	-0.76	1.88	-1.18E-06	3.11E-03
2.5	-0.72	1.8	2.60E-06	2.15E-03
3	-0.68	1.7	3.01E-06	2.01E-03
3.5	-0.66	1.64	2.49E-06	2.06E-03
4	-0.62	1.54	9.28E-06	2.27E-03
4.5	-0.60	1.5	-2.13E-06	2.95E-03
5	-0.59	1.46	-4.61E-06	3.44E-03

Fuente: Kanno 2006

ANEXO E. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE YOUNGS 1997

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

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

Fuente: Youngs 1997

ANEXO F. COEFICIENTES PARA LA ECUACIÓN DE ZHAO 2006

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

PERÍODO	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
0.00	1.101	-0.00564	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0	2.607	-0.528
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.060	0.01463	0.251	0	2.764	-0.551
0.10	1.118	-0.00787	0.0090	1.083	0.01423	0.240	0	2.156	-0.420
0.15	1.134	-0.00722	0.0100	1.053	0.01509	0.251	0	2.161	-0.431
0.20	1.147	-0.00659	0.0120	1.014	0.01462	0.260	0	1.901	-0.372
0.25	1.149	-0.00590	0.0140	0.966	0.01459	0.027	0	1.814	-0.360
0.30	1.163	-0.00520	0.0150	0.934	0.01458	0.259	0	2.181	-0.450
0.40	1.2	-0.00422	0.0100	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506
0.50	1.25	-0.00338	0.0060	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554
0.60	1.293	-0.00282	0.0030	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575
0.70	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.220	-0.146	2.654	-0.572
0.80	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.480	-0.540
0.90	1.433	-0.00232	0.0020	1.109	0.00972	0.220	-0.206	2.332	-0.522
1.00	1.479	-0.00220	0.0020	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509
1.25	1.551	-0.00207	0.0020	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469
1.50	1.621	-0.00224	0.0020	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379
2.00	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.320	0.966	-0.248

2.50	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221
3.00	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263
4.00	1.826	-0.00195	0.0040	1.044	0.00590	0.353	-0.390	0.561	-0.169
5.00	1.825	-0.00237	0.0050	1.065	0.00510	0.248	-0.498	0.225	-0.120

Fuente: Zhao 2006

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

PERÍODO	CH	C1	C2	C3	C4	σ	τ	σ_T
0.00	0.239	1.111	1.344	1.355	1.420	0.604	0.398	0.723
0.05	0.939	1.684	1.793	1.747	1.814	0.640	0.444	0.779
0.10	1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	0.694	0.490	0.849
0.15	1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	0.702	0.460	0.839
0.20	1.280	1.669	2.085	2.001	2.030	0.692	0.423	0.811
0.25	1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	0.682	0.391	0.786
0.30	0.852	1.172	1.683	1.808	1.770	0.670	0.379	0.770
0.40	0.365	0.655	1.127	1.482	1.397	0.659	0.390	0.766
0.50	-0.207	0.071	0.515	0.934	0.955	0.653	0.389	0.760
0.60	-0.705	-0.429	-0.003	0.394	0.559	0.653	0.401	0.766
0.70	-1.144	-0.866	-0.449	-0.111	0.188	0.652	0.408	0.769
0.80	-1.609	-1.325	-0.928	-0.620	-0.246	0.647	0.418	0.770
0.90	-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0.643	0.653	0.411	0.771
1.00	-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	0.657	0.410	0.775
1.25	-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	0.660	0.402	0.773
1.50	-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	0.664	0.408	0.779
2.00	-4.783	-4.410	-4.039	-3.871	-3.640	0.669	0.414	0.787
2.50	-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	0.671	0.411	0.786
3.00	-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	0.667	0.396	0.776
4.00	-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	0.647	0.382	0.751
5.00	-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	0.643	0.377	0.745

Fuente: Zhao 2006