UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO UBICADO ENTRE LAS CALLES LOS SHYRIS, AV. ATAHUALPA, VÍCTOR HUGO, AV. LOS ATIS, AV. DE LOS CHASQUIS, AV. PICHINCHA Y LA AV. RUMIÑAHUI"

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil**.**

ESTUDIANTE:

WILSON GABRIEL GAVILANEZ SORIA

TUTOR:

ING. WLADIMIR JOSÉ RAMÍREZ CABRERA, MG.

Ambato - Ecuador

Febrero 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO UBICADO ENTRE LAS CALLES LOS SHYRIS, AV. ATAHUALPA, VÍCTOR HUGO, AV. LOS ATIS, AV. DE LOS CHASQUIS, AV. PICHINCHA Y LA AV. RUMIÑAHUI",** elaborado por el estudiante Wilson Gabriel Gavilanez Soria, portador de la cédula de ciudadanía número 0503806515, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025

.....

Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Wilson Gabriel Gavilanez Soria**, con C.I. 0503806515 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO UBICADO ENTRE LAS CALLES LOS SHYRIS, AV. ATAHUALPA, VÍCTOR HUGO, AV. LOS ATIS, AV. DE LOS CHASQUIS, AV. PICHINCHA Y LA AV. RUMIÑAHUI"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025

.....

Wilson Gabriel Gavilanez Soria

C.I. 0503806515

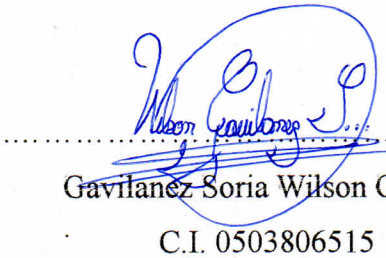
AUTOR

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, febrero 2025



Gavilanez Soria Wilson Gabriel

C.I. 0503806515

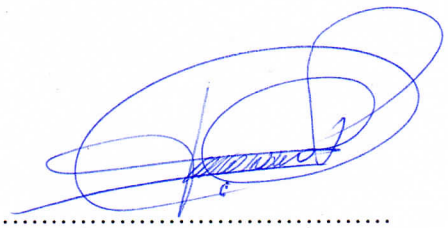
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

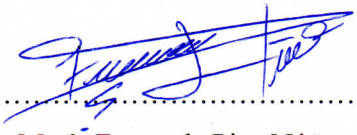
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Wilson Gabriel Gavilanez Soria**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DE LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR HUACHI CHICO UBICADO ENTRE LAS CALLES LOS SHYRIS, AV. ATAHUALPA, VÍCTOR HUGO, AV. LOS ATIS, AV. DE LOS CHASQUIS, AV. PICHINCHA Y LA AV. RUMIÑAHUI"**.

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:



Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. María Fernanda Pico Núñez, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo está dirigido a Dios porque sin duda me ha dado todo lo importante para lograr alcanzar esta meta importante de vida.

A mis padres Guadalupe y Wilson pilares de mi vida, que, con ejemplo de amor incondicional, y paciencia, me han ayudado en todo el camino recorrido hasta hoy.

A mis hermanas Andrea y Salomé, cómplices y aliadas de vida.

Mi abuelita Teresa, que, con su fortaleza, guía y cuidados, me ayudaron a forjar mi carácter.

A mis abuelitos Abdón y Julia ejemplo de seres humanos y calor de hogar.

Wilson Gabriel Gavilanez Soria

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento eterno a Dios, a mis padres, hermanas a mis abuelitos a mis tíos, a la institución Universidad Técnica de Ambato, a los docentes que intervinieron en mi formación académica a mi tutor Ing. Mg Wladimir José Ramírez Cabrera, por su guía en este proceso de titulación. Y a todos quienes han transcurrido en esta etapa fundamental de mi camino de vida. Gracias.

Wilson Gabriel Gavilanez Soria

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABLAS xiv
ÍNDICE DE ANEXOS xvii
RESUMEN EJECUTIVO xviii
ABSTRACT xix
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO 1
I. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 1
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
A. PELIGRO SÍSMICO 4
B. ANÁLISIS DETERMINÍSTICO DEL PELIGRO SÍSMICO 4
C. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL PELIGRO SÍSMICO 5
D. ECUACIONES DE PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE SUELO (GMPE`S) 5
E. MAGNITUD DE MOMENTO (MW) 7
III. OBJETIVOS 9
A. OBJETIVO GENERAL: 9
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 9
CAPITULO II.- METODOLOGÍA 10
I. EQUIPOS Y MATERIALES 10
II. MÉTODOS 11
A. FASE 1 11
B. FASE 2 14
1) Caracterización del Suelo 14

(a) Ensayo de Penetración Estándar (SPT) 14
(b) Ensayo de Granulometría NTE INEN 696 16
2) Determinación de la Magnitud de Momento 18
3) Velocidad Media de Onda Cortante ($\boldsymbol{VS30}$) 19
4) Cálculo de los Espectros Determinísticos 20
(a) Ecuaciones de atenuación para régimen cortical. 21
(b) Ecuaciones de atenuación en falla por Subducción 26
C. FASE 3 28
1) Selección de las estructuras 28
2) Recolección de datos de las estructuras 30
3) Cargas Consideradas 30
4) Espectro de diseño 31
5) Verificación Estructural 31
CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 32
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 32
A. RECOLECCIÓN DE DATOS 32
B. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO 32
1) Ensayo de penetración estándar SPT 32
2) Ensayo de Granulometría NTE INEN 696 38
C. DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DE MOMENTO 43
D. VELOCIDAD MEDIA DE ONDA CORTANTE ($\boldsymbol{V}$s$\boldsymbol{30}$) 43
E. ECUACIONES DE ATENUACIÓN EN FALLAS CORTICALES INTRAPLACAS 54
1) Modelo Kanno ET AL. (2006) 54
2) Modelo Boore y Atkinson (2008) 55
3) Modelo Akkar y Bommer (2010) 60
F. ECUACIONES DE ATENUACIÓN EN FALLA POR SUBDUCCIÓN 61
1) Modelo Youngs ET AL. (1997) 61
2) Modelo Zhao ET AL. (2006) 63
G. ESPECTROS DE ACELERACIÓN DE LOS MODELOS CRÍTICOS EN RELACIÓN AL ESPECTRO DE ACELERACIÓN DE LA NEC-15 64

H. ESPECTRO DETERMINISTA ESPECÍFICO BASADO EN LOS VALORES EVOLVENTES DE LOS MODELOS ESTUDIADOS Y COMPARADOS POR LA NEC-2015 69

I. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS ESPECÍFICOS CALCULADOS VS Y EL PROPUESTO POR LA NEC-SE-DS 2015. 72

1) Primera Estructura a ser analizada 73

(a) Cargas Consideradas 73

(b) Espectros elásticos aplicados a la estructura 74

(c) Verificación del comportamiento estructural 77

2) Segunda Estructura a ser analizada 87

(a) Cargas Consideradas 87

(b) Espectros elásticos aplicados a la estructura 88

(c) Verificación del comportamiento estructural 91

3) Tercera Estructura a ser analizada 101

(a) Cargas Consideradas 101

(b) Espectros elásticos aplicados a la estructura 102

(c) Verificación del comportamiento estructural 105

J. COMPARACIÓN Y RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS ESTRUCTURAS 114

1) Primera Estructura 114

2) Segunda Estructura 116

3) Tercera Estructura 117

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 119

A. HIPÓTESIS 119

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 119

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 120

I. CONCLUSIONES 120

II. RECOMENDACIONES 121

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelos de predicción de GMPE's 3
Figura 2. Falla de subducción EC-223 12
Figura 3. Fallas Geológicas seleccionadas en el área de estudio 13
Figura 4. Distancia medida desde el punto N-3 del sitio de estudio hacia la falla Ambato. ... 13
Figura 5. Estructura N-1 29
Figura 6. Estructura N-2 29
Figura 7. Estructura N-3 29
Figura 8. Valor Vs30 seleccionado del pozo 1 47
Figura 9. Valor Vs30 seleccionado del pozo 2 48
Figura 10. Valor Vs30 seleccionado del pozo 3 50
Figura 11. Valor Vs30 seleccionado del pozo 4 51
Figura 12. Valor Vs30 seleccionado del pozo 5 53
Figura 13. Espectros de las fallas ocupando el Modelo Kanno (2006) 55
Figura 14. Espectros de aceleración ocupando el Modelo Boore y Atkinson (2008), Falla Huachi 56
Figura 15. Espectros de aceleración ocupando el Modelo Boore y Atkinson (2008), Falla Ambato 57
Figura 16. Espectros de aceleración ocupando el Modelo Boore y Atkinson (2008), Falla Totoras 58
Figura 17. Espectros de aceleraciones ocupando valores máximos en el Modelo Boore y Atkinson (2008) 59
Figura 18. Espectros de las fallas ocupando el Modelo Akkar y Bommer (2010) 61
Figura 19. Espectro de Aceleración con el modelo Youngs (Subducción) 62
Figura 20. Espectro de Aceleración con el modelo Zhao ET AL. (2006) (Subducción) 64
Figura 21. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Kanno, Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y NEC-2015 ocupados en la falla de Huachi 65
Figura 22. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Kanno, Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y NEC-2015 ocupados en la falla de Ambato 66
Figura 23. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Kanno, Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y NEC-2015 ocupados en la falla de Totoras 67
Figura 24. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Youngs, Zhao y NEC-2015 ocupados en la falla de Subducción 67

Figura 25. Espectros de aceleración de todos los modelos y la NEC-2015 69
Figura 26. Espectro Determinista con los envolventes Vs Espectro NEC-2015 72
Figura 27. Espectros de Aceleración Est.-1 76
Figura 28. Vista en planta de la primera estructura analizada 77
Figura 29. Vista en 3d de la primera estructura analizada 78
Figura 30. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1 80
Figura 31. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1 80
Figura 32. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1 81
Figura 33. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1 81
Figura 34. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 1 83
Figura 35. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 1 83
Figura 36. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 1 84
Figura 37. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 1 84
Figura 38. Espectros de Aceleración Est.-2 90
Figura 39. Vista en planta de la segunda estructura analizada 91
Figura 40. Vista en 3d de la segunda estructura analizada 92
Figura 41. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2 94
Figura 42. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2 95
Figura 43. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2 95
Figura 44. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2 96
Figura 45. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 2 97
Figura 46. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 2 97
Figura 47. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 2 98
Figura 48. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 2 98
Figura 49. Espectros de Aceleración Est.-3 104
Figura 50. Vista en planta de la tercera estructura analizada 105
Figura 51. Vista en 3d de la tercera estructura analizada 106
Figura 52. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3 108
Figura 53. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3 108
Figura 54. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3 109
Figura 55. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3 109
Figura 56. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 3 111
Figura 57. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 3 111

Figura 58. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 3 112
Figura 59. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 3 112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relaciones entre la magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura, y desplazamiento de la superficie 8
Tabla 2. Coordenadas U.T.M. de los puntos para realizar los ensayos 11
Tabla 3. Fallas Geológicas seleccionadas 12
Tabla 4. Clasificación del tipo de perfil del suelo 15
Tabla 5. Formato de tablas para la recolección de datos del Ensayo SPT 16
Tabla 6. Formato de tablas para la recolección de datos del Ensayo de Granulometría NTE INEN 696 17
Tabla 7. Coeficientes para calcular la magnitud de momento según Wells-Coppersmith 18
Tabla 8. Ecuaciones para determinar el V_S30 en función del número de golpes del ensayo de SPT 19
Tabla 9. Tabla tipo de especificaciones para las estructuras 30
Tabla 10. Datos de cargas consideradas 30
Tabla 11. Tabla tipo para la determinación del espectro de respuesta 31
Tabla 12. Distancias perpendiculares de las fallas geológicas hacia los puntos de los ensayos de suelo 32
Tabla 13. Ensayo de SPT Punto N-1 33
Tabla 14. Ensayo de SPT Punto N-2 34
Tabla 15. Ensayo de SPT Punto N-3 35
Tabla 16. Ensayo de SPT Punto N-4 36
Tabla 17. Ensayo de SPT Punto N-5 37
Tabla 18. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-1 38
Tabla 19. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-2 39
Tabla 20. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-3 40
Tabla 21. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-4 41
Tabla 22. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-5 42
Tabla 23. Magnitud de Momentos de las fallas analizadas 43
Tabla 24. Ecuaciones para cálculo de la velocidad de onda de corte Vs30 43
Tabla 25. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el primer pozo 44
Tabla 26. Cálculo $x - x2$ del conjunto de datos 45
Tabla 27. Cuadro resumen para la obtención de la distribución normal 46
Tabla 28. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 1 46

Tabla 29. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el segundo pozo 47
Tabla 30. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 2 48
Tabla 31. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el tercer pozo 49
Tabla 32. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 3 49
Tabla 33. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el cuarto pozo 50
Tabla 34. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 4 51
Tabla 35. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el quinto pozo 52
Tabla 36. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 5 52
Tabla 37. Resumen de valores Vs 30 53
Tabla 38. Valores para los espectros del Modelo Kanno ET AL. (2006) 54
Tabla 39. Valores para los espectros del Modelo Boore y Atkinson (2008) 56
Tabla 40. Resumen de los valores de aceleraciones máximas empleando el modelo Boore y Atkinson de la falla de Huachi 57
Tabla 41. Resumen de los valores de aceleraciones máximas empleando el modelo Boore y Atkinson de la falla de Ambato 58
Tabla 42. Resumen de los valores de aceleraciones máximas empleando el modelo Boore y Atkinson de la falla de Totoras 59
Tabla 43. Valores ocupados para la elaboración de los espectros del Modelo Akkar y Bommer (2010) 60
Tabla 44. Valores para los espectros del Modelo Youngs ET AL. (1997) 62
Tabla 45. Valores para los espectros del Modelo Zhao ET AL. (2006) 63
Tabla 46. Valores para el cálculo del espectro NEC-2015 64
Tabla 47. Valores resumen de aceleraciones máximas, porcentaje de participación y periodos, ocupados todos los modelos y NEC-2015 68
Tabla 48. Valores máximos tomados para la elaboración del espectro Determinista 70
Tabla 49. Datos finales para la determinación del espectro determinista con los valores de los envolventes. 71
Tabla 50. Tabla de especificaciones para la estructura 1 73
Tabla 51. Cargas Muertas Adicionales Actuantes Estructura 1 73
Tabla 52. Carga Viva de la estructura 1 74
Tabla 53. Valores para el cálculo del espectro elástico NEC-15 de la estructura 1 74
Tabla 54. Coeficientes en base al tipo de estructura 75
Tabla 55. Participación modal de la masa de la estructura 1 79

Tabla 56. Resumen del cortante basal de la estructura n-1 82
Tabla 57. Derivas de piso con los espectros NEC-2015 y determinista de la estructura 1 85
Tabla 58. Valores de Cargas de fuerzas axiales cortantes y momentos de la columna B-4 de la Est.1 85
Tabla 59. Valores cortantes y momentos de la viga B-3-4 Nv+ de la Est.1 86
Tabla 60. Tabla de especificaciones para la estructura 2 87
Tabla 61. Cargas Muertas Adicionales Actuantes Estructura 2 87
Tabla 62. Carga Viva de la estructura 2 88
Tabla 63. Valores para el cálculo del espectro elástico NEC-15 de la estructura 2 88
Tabla 64. Coeficientes en base al tipo de estructura 89
Tabla 65. Participación modal de la masa de la estructura 2 93
Tabla 66. Resumen del cortante basal de la estructura N-2 96
Tabla 67. Derivas de piso con los espectros NEC-2015 y determinista de la estructura 2 99
Tabla 68. Valores de Cargas de fuerzas axiales cortantes y momentos de la columna B-3 de la Est.2 99
Tabla 69. Valores cortantes y momentos de la viga B-2-3 del Nv+12.96m de la Est.2 100
Tabla 70. Tabla de especificaciones para la estructura 3 101
Tabla 71. Cargas Muertas Adicionales Actuantes Estructura 3 101
Tabla 72. Carga Viva de la estructura 3 102
Tabla 73. Valores para el cálculo del espectro elástico NEC-15 de la estructura 3 102
Tabla 74. Coeficientes en base al tipo de estructura 103
Tabla 75. Participación modal de la masa de la estructura 3 107
Tabla 76. Resumen del cortante basal de la estructura N-3 110
Tabla 77. Derivas de piso con los espectros NEC-2015 y determinista de la estructura 3 ... 113
Tabla 78. Valores de Cargas de fuerzas axiales cortantes y momentos de la columna C-3 de la Est.3 113
Tabla 79. Valores cortantes y momentos de la viga B-D-2 del Nv+2.52m de la Est.3 114
Tabla 80. Resumen de los resultados obtenidos de la estructura N-1 114
Tabla 81. Resumen de los resultados obtenidos de la estructura N-2 116
Tabla 82. Resumen de los resultados obtenidos de la estructura N-3 117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Delimitación de las calles del área de estudio..... 125
Anexo 2: Delimitación georreferenciada de la ubicación de los ensayos de SPT..... 126
Anexo 3: Fotografías 127
Anexo 4: Coeficientes de regresión ocupado el modelo Kanno ET AL. (2006) para eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5% 130
Anexo 5: Coeficientes de regresión ocupado el modelo Modelo Boore y Atkinson (2008) . 131
Anexo 6: Coeficientes de regresión ocupado el Akkar y Bommer (2010)..... 134
Anexo 7: Relaciones de atenuación para la aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) ocupada para los terremotos de subducción para el suelo..... 136
Anexo 8: Coeficientes de regresión ocupado el Modelo Zhao ET AL. (2006)..... 136
Anexo 9: Cuantificación de Cargas 137
Anexo 10: Diagramas de momentos, cortantes y fuerzas axiales de elementos estructurales 146

RESUMEN EJECUTIVO

El Ecuador se ubica dentro de una zona de alta actividad sísmica denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, debido al choque de las placas tectónicas de Nazca y la Sudamericana, por lo cual el conocimiento de la sismicidad es necesario para todo cálculo o plan de mitigación de sus efectos y es esencial para la elaboración de los códigos de construcción.

Por consiguiente, el presente trabajo experimental se enfocó en la delimitación de un sector de la ciudad de Ambato, en Huachi chico después se determinó la generación de espectros de aceleración determinista mediante la utilización de las Ecuaciones de Predicción de Movimiento GMPE´s para el régimen Tectónico (Régimen Cortical y Subducción), obteniendo principalmente las siguientes características sísmicas como son: capacidad portante SPT, caracterización y tipología del suelo, tipo de fallas geológicas cercanas que afectan al área de estudio, magnitud de momento sísmico Mw y velocidad de onda cortante Vs. Esto permitió la generación de los espectros deterministas y la obtención de la envolvente, para después realizar la comparación con el espectro obtenido por la norma NEC-2015 y al verificar los datos obtenidos se comparó que el espectro determinista obtiene los mayores valores de aceleración máxima de Sa= 1.319 (g) en un periodo de 0.4 (s), mientras que la NEC-2015 su valor máximo de aceleración alcanzado es de Sa= 1.190 (g) en periodos de 0.2 a 0.6s.

Como resultado se realizó la selección de 3 estructuras construidas en el sector y se comparó los efectos estructurales que les pueden afectar, se concluyó que, en el análisis de derivas, cargas, cortantes y momentos, de las estructuras que se les aplicó el espectro determinista se obtuvieron mayores resultados y por consiguiente es un llamado que se tome en cuenta que en el sector se analice las estructuras aplicando los espectros deterministas, ya que con ello se mejorará el análisis estructural de las edificaciones.

Palabras clave: Peligro sísmico, Vulnerabilidad sísmica, NEC-2015, Espectro determinista, Zonificación sísmica.

ABSTRACT

Ecuador is located within a zone of high seismic activity called the Pacific Ring of Fire, due to the collision of the Nazca and South American tectonic plates, which is why understanding seismicity is necessary for any calculation or plan to mitigate its effects and is essential for the development of building codes.

Therefore, this experimental work focused on the delimitation of a sector of the city of Ambato, in Huachi Chico. Then, deterministic acceleration spectra were generated using Ground Motion Prediction Equations (GMPEs) for the Tectonic Regime (Crustal and Subduction Regime), mainly obtaining the following seismic characteristics: SPT bearing capacity, soil characterization and typology, nearby geological faults affecting the study area, seismic moment magnitude Mw, and shear wave velocity Vs. This allowed for the generation of deterministic spectra and obtaining the envelope, to then make a comparison with the spectrum obtained by the NEC-2015 standard. When verifying the obtained data, it was found that the deterministic spectrum obtains the highest maximum acceleration values of Sa= 1.319 (g) in a period of 0.4 (s), while the NEC-2015's maximum acceleration value reached is Sa= 1.190 (g) in periods from 0.2 to 0.6s.

As a result, 3 structures built in the sector were selected and the structural effects that could affect them were compared. It was concluded that in the analysis of drifts, loads, shears, and moments of the structures to which the deterministic spectrum was applied, greater results were obtained. Therefore, this is a call to take into account that structures in the sector should be analyzed applying deterministic spectra, as this will improve the structural analysis of buildings.

Keywords: Seismic hazard, Seismic vulnerability, NEC-2015, Deterministic spectrum, Seismic zoning.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

I. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Entender el comportamiento del planeta es una tarea complicada y laboriosa, aun mas cuando se trata de fenómenos naturales que tienen un impacto directo a la humanidad, los terremotos son uno de los riesgos a los que estamos expuestos y generan consecuencias extremadamente devastadoras en términos de destrucción y sufrimiento, por lo que se hace énfasis la necesidad de realizar estudios de microzonificación que ayuden a evaluar los niveles de amenaza sísmica y los efectos locales probables, para posteriormente permitir la implementación de estrategias para la reducción del riesgo sísmico.[1]

El Ecuador se ubica dentro de una zona de alta actividad sísmica denominado Cinturón de Fuego del Pacifico, esto es producido por el choque de las placas tectónicas de Nazca y la Placa Sudamericana. El movimiento de estas placas tectónicas va en un intervalo aproximado de 50-60 mm/año y su comportamiento dinámico genera un sistema de fallas conocido como Mayor Dextral. Este sistema se caracteriza por tener una concentración de fallas y pliegues en la Sierra, y junto con la subducción que hay en la Costa, son las principales fuentes generadoras de sismos.[2]

En el territorio ecuatoriano ha llegado a ser afectado por varios terremotos de pequeñas y grandes intensidades, siendo los más representativos. El terremoto del 31 de enero de 1906 en Esmeraldas que tuvo una magnitud de 8.8 Mw y una profundidad de 20 km, el cual fue producto de la subducción de la placa de Nazca y Sudamericana y fue catalogado como el más grande y destructivo de la historia del país, luego está el terremoto de Santa Elena del 2 de octubre de 1933 que tuvo una magnitud de 6.9 Mw y una profundidad de 15 km, después tenemos el sismo de Ambato del 5 de agosto de 1949 con una magnitud de 6.8 Mw que genero cerca de 5050 fallecidos y daños considerables en las viviendas causando en la mayoría colapsos.[3]

Por último, cabe mencionar que entre los sismos del siglo actual tenemos el que azoto a Manabí el 16 de abril del 2016 que tuvo una magnitud de 7.8 Mw y una profundidad de 16 Km.[4][5]

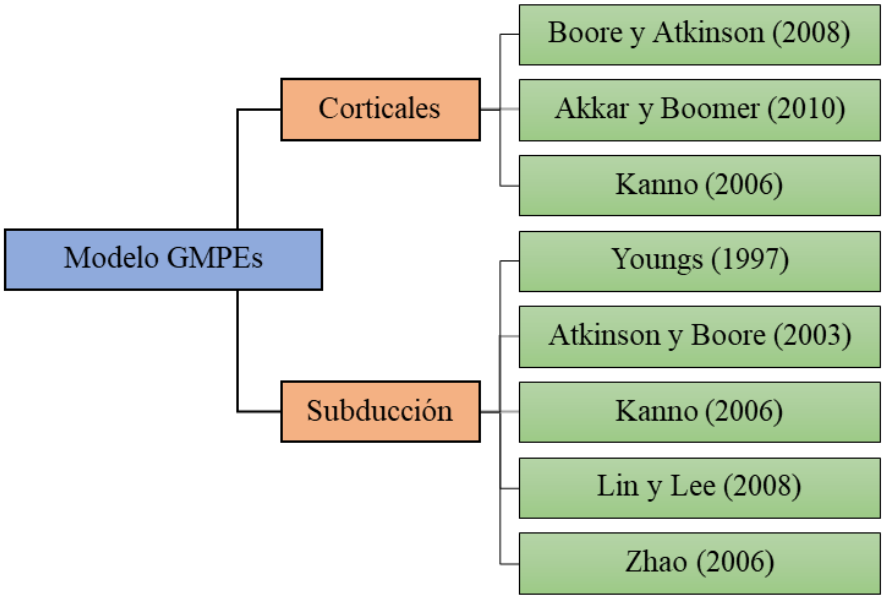
Por esta razón es importante tener el conocimiento de la sismicidad de una localidad, ya que con eso nos ayuda en el diseño de estructuras y generación de un plan de mitigación, en especial cuando la zona existe estructuras esenciales como hospitales, policías, centros de salud, bomberos o estructuras de concentración masiva. En la norma NEC-15 establece que para poblaciones mayores a 100.000 habitantes se debe dispones estudios de geotecnia y microzonificación sísmica del territorio.[6]

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción Considera: “En el Ecuador la principal fuente de generación de energía sísmica se la atribuye al proceso de subducción de la placa de Nazca, por lo que divide al ecuador en 6 zonas sísmicas, dando lugar al Litoral ecuatoriano como una zona de amenaza sísmica muy alta y a la parte Nororiente como una zona de amenaza sísmica intermedia, Ambato se encuentra en la zona sísmica número 5 con un valor de Z=0.40 (Z es la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño), esto se evidencia en un mapa de zonificación sísmica para diseño que proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años).[7]

Por consiguiente, el Dr. Roberto Aguiar considera: Las ciudades capitales han llegado casi a su límite en crecimiento horizontal, por lo tanto, el crecimiento vertical ya es una realidad y esto nos conlleva a contar con un mayor riesgo sísmico por la gran multitud de personas que están viviendo o van a vivir en edificaciones de gran altura, por estas condiciones es fundamental que las grandes ciudades cuenten con un estudio de microzonificación. Con esta información podrán contar los profesionales de la construcción para que puedan analizar los datos y establecer los cálculos estructurales pertinentes y un diseño adecuado de las estructuras. Podemos decir que los sismos son poco predecibles que otros eventos naturales como los volcánicos y los eventos climáticos por dicho motivo es necesario trabajar en la prevención. Estos estudios determinan que lugares tienen que ser regularizados y cuáles no”.[8]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción contempla en el Apéndice 10, sección 10.1. “Fundamentos del Estudio de Peligro Sísmico”, El estudio de peligro sísmico se llevó a cabo en todo el territorio nacional utilizando las metodologías actuales a nivel mundial y la información disponible a nivel local, que incluyo: “La utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes intraplaca tenemos las ecuaciones de Boore y Atkinson (2008), Akkar y Boomer (2010)[9], Kanno (2006). Y las ecuaciones para las fuentes de subducción Youngs (1997), Atkinson y Boore (2003), Kanno (2006), McVerry (2006), Lin y Lee (2008), Zhao (2006).[7]

Figura 1. Modelos de predicción de GMPE's



Fuente: Elaboración Propia

Ante lo mencionado, el ingeniero F. Cañizares en su estudio de las ecuaciones de atenuación compatibles a la tectónica de Quito GMPEs, indica que para estudios de riesgo sísmicos de la ciudad de quito se puede utilizar los modelos de atenuación de Akkar y Bommer, [9] Boore y Atkinson ya que estos incorporan parámetros de amplificación lineal y no lineal del suelo y estos valores cuentan con una similitud a los eventos registrados en la red RENAC, del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2015). Además, los modelos descritos anterior mente son aplicables a los sismos corticales de rangos de magnitud bajos (Mw=4.5)[10].

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A. PELIGRO SÍSMICO

La peligrosidad sísmica se refiere a la probabilidad de excedencia del movimiento del suelo en un momento determinado y durante un espacio de tiempo dado a la ocurrencia de terremotos destructivos, cuyos parámetros de aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificables. [11]

El peligro sísmico, se entenderá en este trabajo como la probabilidad de que, en un lugar determinado, ocurra al menos un movimiento sísmico de intensidad mayor o igual a un cierto valor fijado, para un cierto periodo de interés. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otro parámetro de un sismo, como, por ejemplo, la magnitud, aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, o cualquiera otro de interés. [11]

Existen dos enfoques para representar el peligro sísmico: el enfoque determinístico y el enfoque probabilístico. El enfoque determinístico cuantifica el peligro considerando el sismo más destructivo que pueda ocurrir en el sitio, tomando en cuenta la historia sísmica local. El enfoque probabilístico en cambio cuantifica el peligro considerando todos los posibles sismos que puedan ocurrir en el sitio, asociados a un valor de probabilidad. [12]

B. ANÁLISIS DETERMINÍSTICO DEL PELIGRO SÍSMICO

El enfoque determinístico es el más antiguo. El peligro se evalúa en función del evento más grande que se pueda presentar en el área de estudio. El conjunto de todos los agentes generadores de terremotos se suele denominar el potencial sísmico de la zona y se acostumbra representar por el evento más grande que se pueda generar. Luego de identificar el sismo más grande, el peligro del sitio queda definido en términos del movimiento del suelo o de la respuesta estructural que este sismo pueda generar. Un análisis determinístico de peligro sísmico tiene la ventaja de ser muy simple y claro, ya que se puede determinar directamente el valor de peligro en el sitio y actualizarlo a medida que se obtenga información reciente respecto al sismo máximo. Una dificultad especial en la cuantificación determinística del peligro sísmico radica en lo subjetivo que puede resultar la elección del sismo más grande con el fin de representar el potencial sísmico de la zona. [12]

C. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL PELIGRO SÍSMICO

Debido a la naturaleza aleatoria de los eventos sísmicos, un análisis determinístico resulta con frecuencia poco útil en la toma de decisiones ya que no toma en cuenta la gran variabilidad observada en el movimiento del suelo y la respuesta estructural. La mejor forma de tener en cuenta las características de variabilidad y aleatoriedad de los sismos de una manera lógica y consistente en la toma de decisiones es haciendo uso de la teoría de probabilidades. En los últimos 20 a 30 años los conceptos de probabilidades han permitido que las incertidumbres en la magnitud, ubicación, variación del movimiento del suelo y respuesta estructural puedan ser explícitamente consideradas en la evaluación del peligro sísmico. Un análisis probabilístico de peligro sísmico se desarrolla mediante la representación adecuada de la actividad sísmica de la zona en estudio y la elección de alguna relación entre la amplitud del movimiento del suelo o de la respuesta estructural, alguna medida del sismo (magnitud o intensidad) y la distancia entre el foco y la distancia de interés. La relación entre la amplitud del movimiento, el tamaño del sismo y la distancia se maneja mediante regresiones estadísticas, y las incertidumbres en la ocurrencia, ubicación y el nivel de respuesta sísmica esperada (movimiento del suelo o respuesta estructural) son consideradas mediante funciones de densidad de probabilidades. [13]

D. ECUACIONES DE PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE SUELO (GMPE`S)

Son ecuaciones que estiman el movimiento fuerte del suelo que puede ocurrir en un sitio si ocurre un terremoto de cierta magnitud en un lugar colindante, proporcionando así estimaciones de la carga que una estructura puede sufrir durante un futuro sismo. [14]

En base a los criterios de evaluación, los GMPE’s existen para cada entorno tectónico, en el territorio ecuatoriano para las fuentes Intraplaca se pueden usar las siguientes ecuaciones:

- Boore y Atkinson (2008)
- Akkar y Boomer (2010)
- Kanno et al. (2006)

Para las fuentes de subducción se pueden usar las siguientes ecuaciones:

- Young et el. (1997)
- Zhao et al. (2006)

Donde se escogerán las siguientes ecuaciones:

- **BOORE & ATKINSON (2008)**

$$Lny = F_M(M) + F_D(R_{JB,}M) + F_s(V_{s30}, R_{JB}, M) + \varepsilon$$

Dónde:

FM, FD, Fs: Coeficientes.

M: Magnitud de momento.

RJB: Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio.

VS30: Velocidad media de la onda de cortante.

- **AKKAR & BOMMER (2010) (SISMOS INTRAPLACA – FALLAMIENTO CORTICAL)**

$$log\ y = b1 + b2M + b3M^2 + (b4 + b5M)\ log\sqrt{R^2jb + b^26} + b_7SS + b_8SA + b_9FN + b_{10}FR + \varepsilon\boldsymbol{\sigma}$$

Dónde:

b: Coeficientes.

FN: Falla normal.

FR: Falla inversa.

M: Magnitud de momento.

RJB: Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio.

SA: Suelo rígido.

SS: Suelo suave.

- **KANNO ET AL. (2006) (SISMOS INTRAPLACA – FALLAMIENTO CORTICAL)**

Si D ≤ 30 Km

$$log\ pre = a_1\ M_w + b_1X - log(X + d_1 * 10^{e1M_w}) + c_1 + \varepsilon_1$$

Si D > 30 Km

$$log\ pre = a_2\ M_w + b_2X - log(X) + c_2 + \varepsilon_2$$

Dónde:

D: Profundidad Focal.

a, b, c, d: Coeficientes.

Mw: Magnitud de momento.

X: Distancia de la fuente.

- **YOUNGS ET AL. (1997) (SISMOS SUBDUCCIÓN)**

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

Dónde:

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficientes

R: Distancia fuente a sitio

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

Zt: Tipo de falla

- **ZHAO ET AL. (2006) (SISMOS SUBDUCCIÓN)**

$$log\ y = aMw + bx - log\ (r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + Log(x) + CK$$

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b, e, Ck: Coeficientes

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal

hc: Constante

Ck: Clase de sitio

E. MAGNITUD DE MOMENTO (MW)

Se delimita como la cantidad de energía liberada por un sismo a partir del momento sísmico. La magnitud de momento se obtendrá por medio de Wells – Coppersmith, que nos dice: Se debe estimar el tamaño de los terremotos más grandes que podrían ser generados por una falla

particular o una fuente de terremoto. Se evalúa a partir de estimaciones de parámetros de ruptura de falla, ya que están relacionados con la magnitud del terremoto. [15]

La magnitud de momento se obtendrá mediante de la relación de Wells – Coppersmith por medio de la longitud de ruptura observada en la superficie (SRL) y la magnitud del terreno que ha generado el SRL (viene dado en km). [15]

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

Ecuación	Tipo de Falla	Número de Eventos	Coeficientes y errores estandar		Desviación Estandar	Coeficientes de Correlación	Rango de Magnitudes	Longitud/Ancho
			a(sa)	b(sb)	s	r		Rango(km)
M=a+b*log(SRL)	SS	43	5.16(0.13)	1.12(0.08)	0.28	0.91	5.6 a 8.1	1.3 a 432
	R	19	5.00(0.22)	1.22(0.16)	0.28	0.88	5.4 a 7.4	3.33 a 85
	N	15	4.86(0.34)	1.32(0.26)	0.34	0.81	5.2 a 7.3	2.5 a 41
	All	77	5.08(0.10)	1.16(0.07)	0.28	0.89	5.2 a 8.1	1.3 a 432
log(SRL)=a+b+log(RL	SS	43	-3.55(0.37)	0.74(0.05)	0.23	0.91	5.6 a 8.1	1.3 a 432
	R	19	-2.86(0.55)	0.63(0.08)	0.20	0.88	5.4 a 7.4	3.3 a 85
	N	15	-2.01(0.65)	0.50(0.10)	0.21	0.81	5.2 a 7.3	2.5 a 41
	All	77	-3.22(0.27)	0.69(0.04)	0.22	0.89	5.2 a 8.1	1.3 a 432
M=a+b*log(RLD)	SS	90	4.33(0.06)	1.49(0.05)	0.24	0.96	4.8 a 8.1	1.5 to 350
	R	50	4.49(0.11)	1.49(0.09)	0.26	0.93	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	24	4.34(0.23)	1.54(0.18)	0.31	0.88	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	167	4.38(0.06)	1.49(0.04)	0.26	0.94	4.8 a 8.1	1.1 a 350
log(RLD)=a+b*M	SS	93	-2.57(0.12)	0.62(0.02)	0.16	0.96	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	50	-2.42(0.21)	0.58(0.03)	0.16	0.93	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	24	-1.88(0.37)	0.50(0.06)	0.17	0.88	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	167	-2.44(0.11)	0.59(0.02)	0.16	0.94	4.8 a 8.1	1.1 a 350
M=a+b*log(RW)	SS	87	3.80(0.17)	2.59(0.18)	0.45	0.84	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	43	4.37(0.16)	1.95(0.15)	0.32	0.90	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	23	4.04(0.29)	2.11(0.28)	0.31	0.86	5.2 a 5.3	3.8 a 63
	All	153	4.06(0.11)	2.25(0.12)	0.41	0.84	4.8 a 8.1	1.1 a 350
log(RW)=a+b*M	SS	87	-0.76(0.12)	0.27(0.02	0.14	0.84	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	43	-1.61(0.20)	0.41(0.03)	0.15	0.9	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	23	-1.14(0.28)	0.35(0.05)	0.12	0.86	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	153	-1.01(0.28)	0.32(0.02)	0.15	0.84	4.8 a 8.1	1.1 a 350
M=a+b*log(RA)	SS	83	3.98(0.07)	1.02(0.03)	0.23	0.96	4.8 a 7.9	3 a 5.184
	R	43	4.33(0.12)	0.90(0.05)	0.25	0.94	4.8 a 7.6	2.2 a 2.400
	N	22	3.93(0.23)	1.02(0.10)	0.25	0.92	5.2 a 7.3	19 a 900
	All	148	4.07(0.06)	0.98(0.03)	0.24	0.95	4.8 a 7.9	2.2 a 2.400
Log(RA)=a+b*M	SS	83	-3.42(0.18)	0.90(0.03)	0.22	0.96	4.8 a 7.9	3 a 5.184
	R	43	-3.99(0.39)	0.98(0.06)	0.26	0.94	4.8 a 7.6	2.2 a 2.400
	N	22	-2.87(0.50)	0.82(0.08)	0.22	0.95	5.2 a 7.3	19 to 900
	All	148	-3.49(0.16)	0.91(0.03)	0.24	0.95	4.8 a 7.9	2.2 a 5.184
SRL-Longitud de la superficie de ruptura (km); RDL-Longitud de la subsuperficie de ruptura (Km);RW-Ancho de ruptura (Km); Area de ruptura(Km2);SS-Transcurrente;R-Inversa;N-Normal								

Fuente: Wells-Coppersmith

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL:

- Realizar el estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras de la ciudad de Ambato sector Huachi Chico ubicado entre las calles los Shyris, Av. Atahualpa, Víctor Hugo, Av. los Atis, Av. de los Chasquis, Av. Pichincha y la Av. Rumiñahui.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Seleccionar las fallas activas que abarcan el Régimen Tectónico en base al área de estudio.
- Establecer el espectro de repuesta real del sitio de estudio.
- Verificar el comportamiento estructural con tres estructuras tipo del sito en análisis y comparar el espectro obtenido con el espectro general dado por la NEC.

CAPITULO II.- METODOLOGÍA

En esta presenta investigación se empleó un enfoque cuantitativo ya que se aplica un tipo de investigación descriptiva, determinista, exploratoria y de laboratorio. Adicionalmente se divide el trabajo experimental en 3 fases para poder dar cumplimiento a los objetivos planteados. En la primera fase se realizó la delimitación del proyecto y la posible ubicación de los puntos a realizar los ensayos de SPT. Luego mediante la recolección de información de los datos de sismicidad histórica del sector, se seleccionó cuatro fallas geológicas cercanas y se determinó su tipo de régimen tectónico de afectación. Luego, en la segunda fase mediante la realización de los ensayos de penetración estándar (SPT) y los ensayos complementarios de suelo se pudo determinar la aceleración máxima del sitio de acuerdo al régimen tectónico y se calculó los espectros de aceleración de respuesta específicos del sector. Y por último se seleccionó 3 estructuras o viviendas del sitio a estudio y se verificará el comportamiento estructural con los espectros propuestos por la NEC y los espectros obtenidos del sector.

A continuación, se va a describir los materiales y métodos empleados en cada Fase.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

En todas las fases del presente proyecto técnico el equipo principal de trabajo fue un computador portátil marca Azus, modelo ROG Strix GL703VD, procesador Intel(R) Core (TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz 16GB RAM 952 GB Disco Duro para la delimitación del proyecto, procesamiento de los datos de los ensayos a realizar, los cálculos y graficas de los espectros probabilísticos del sector y la generación del informe final de resultados.

Para la primera fase, en la delimitación en campo de los puntos a realizar los ensayos de suelos, se ocupó un equipo de GPS para georreferenciar. En la segunda fase, para la realización de los ensayos de penetración estándar (SPT) se ocupó un equipo de perforación, la maquinaria e instrumentación para realizar el ensayo de SPT, palas, picos, flexómetro 5.00m/16’ (Truper Gripper), para la determinar de la tipología del suelo se ocupó, una balanza electrónica (Luexus Peso máx 30kg - Houston 22T), para el secado de muestras se ocupó un horno industrial (Marca Humbolt), Tamices #4, #10, #40, #100, #200, bandejas y una tamizadora (Marca Controls Versión 15-d0407/BZ).

En la tercera fase, para la medición de las características arquitectónicas de las 3 estructuras se ocupó un flexómetro 5.00m/16’ (Truper Gripper), Cinta larga 50 m de fibra de vidrio (Truper Gripper) y medidor de distancia laser de 0.2-40m (INCO) y por ultimo para el procesamiento de la información y los cálculos necesarios se utilizó una Laptop, Norma NEC-SE-DS (Norma

Ecuatoriana de la Construcción – Peligro sísmico diseño sismo resistente 2015), Software Microsoft Excel 2016, AutoCAD 2018 y Etabs 2016.

II. MÉTODOS

Como se mencionó anteriormente en la presente investigación se va dividir en tres fases, cuya aplicación es la de buscan cumplir con los objetivos específicos del proyecto.

A. FASE 1

En la primera fase de identificación, se estableció el área a ser estudiada, delimitando el sector de Huachi Chico ubicado entre las calles los Shyris, Av. Atahualpa, Víctor Hugo, Av. los Atis, Av. de los Chasquis, Av. Pichincha y la Av. Rumiñahui (Anexo 1). Una vez delimitado las calles del área de estudio se seleccionó cinco puntos para realizar el ensayo de campo denominado Ensayo de Penetración Estándar (SPT), se los distribuyo en las esquinas periféricas 4 puntos y 1 puntos en la parte central (Anexo 2).

Tabla 2. Coordenadas U.T.M. de los puntos para realizar los ensayos

Perforación	Este	Norte
Punto N-1	763791.68	9861351.29
Punto N-2	764260.73	9861533.33
Punto N-3	764141.89	9860636.91
Punto N-4	764150.05	9860165.15
Punto N-5	764464.46	9860189.29

Fuente: Wilson Gavilanez

Luego se determinó que los sismos que se producen en la ciudad de Ambato son causados por la interacción de las placas tectónicas de subducción, cortical y también son provocados por orígenes volcánicos presentes en esta zona.

Para la ejecución de este proyecto primero se estableció las fallas activas que se localizan cerca del área de estudio, utilizando los datos proporcionados la página Neo Tec/Ecuador.

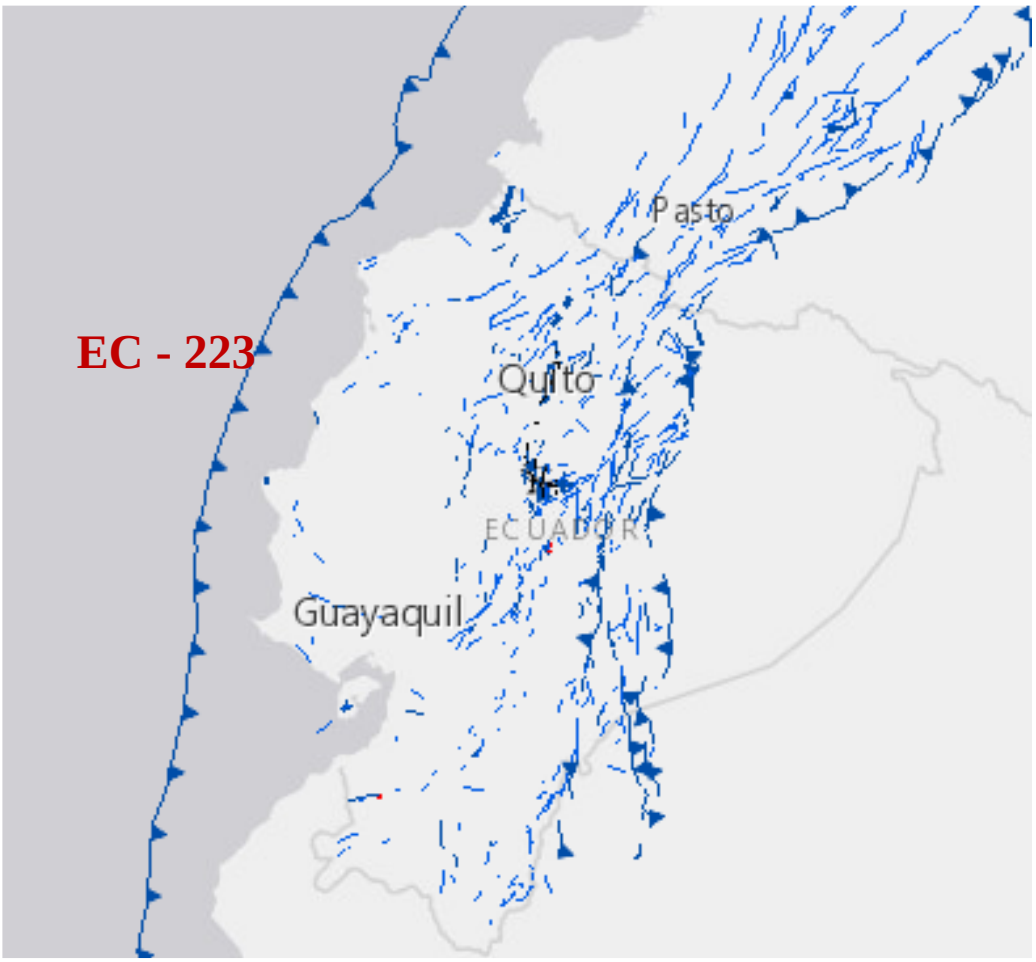
A continuación, se exponen los mapas obtenidos, indicando las fallas existentes en el Ecuador, Tungurahua y Ambato.

Tabla 3. Fallas Geológicas seleccionadas

FALLAS GEOLÓGICAS CERCANAS AL ÁREA EN ESTUDIO			
CÓDIGO	**NOMBRE DE LA FALLA**	**TIPO**	**LONGITUD (KM)**
EC-223	Subducción	Inversa	1536.49
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	12.04
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	16.30
EC-345	Totoras	Transcúrrete I.C.	17.65

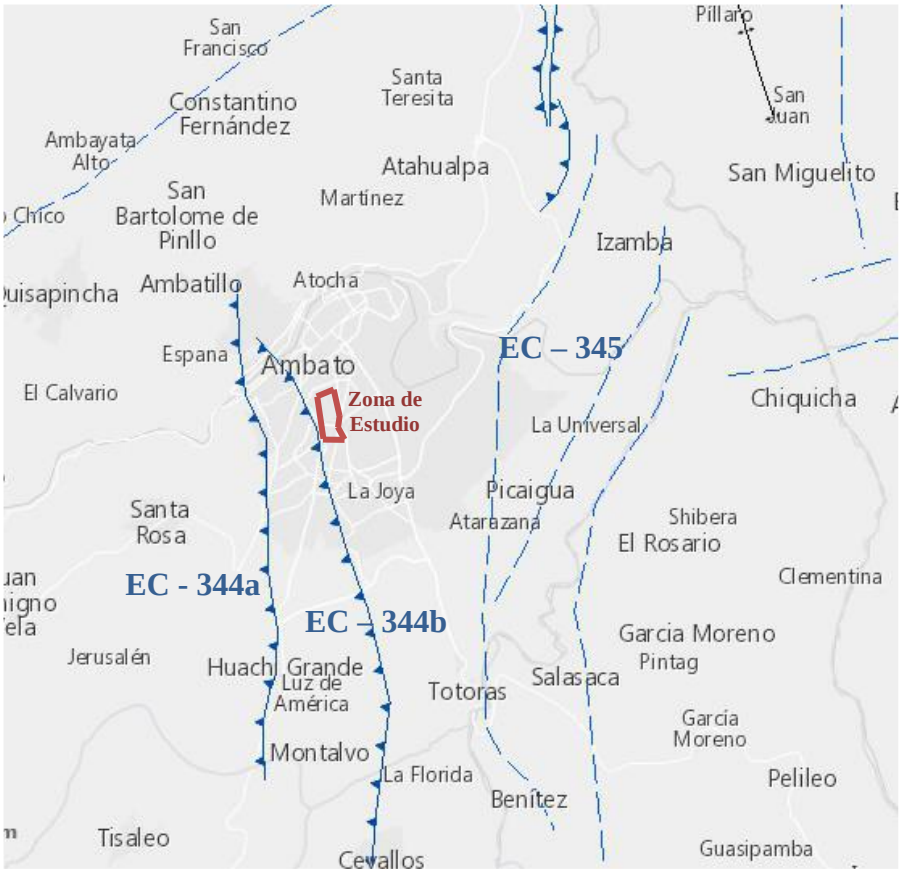
Fuente: Instituto Geofísico, EPN

Figura 2. Falla de subducción EC-223



Fuente: Catálogo Homogenizado 1587-2017 IG-EPN

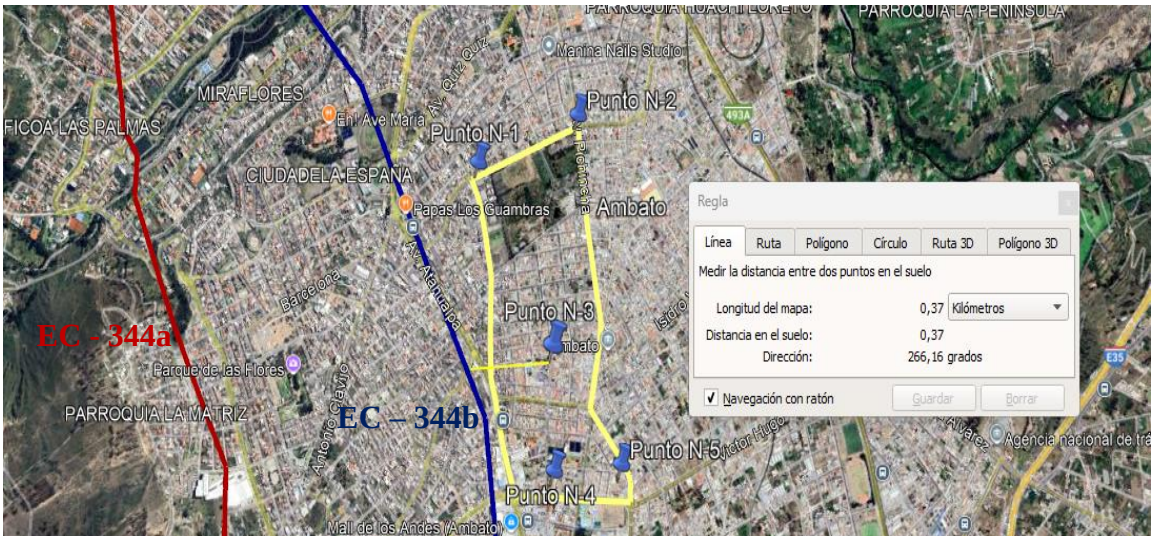
Figura 3. Fallas Geológicas seleccionadas en el área de estudio



Fuente: Catálogo Homogenizado 1587-2017 IG-EPN

Seleccionadas las fallas geológicas se procede a medir una distancia perpendicular desde los puntos de estudio hacia cada una de las fallas geológicas (Rjb distancia de Joyner y Boore), utilizando el Programa Google Earth.

Figura 4. Distancia medida desde el punto N-3 del sitio de estudio hacia la falla Ambato.



Fuente: Google Earth.

B. FASE 2

1) Caracterización del Suelo

El método del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, solicita obtener la información oportuna sobre algunas características principales del suelo a estudiar. Esta información se obtiene a partir de varios ensayos de laboratorio normadas por la ASTM International.

(a) Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Una vez obtenido la ubicación de los puntos, se procede a realizar el ensayo de penetración (SPT) el cual nos permite obtener el valor N de resistencia a la penetración que consiste en sumar los números de golpes de los dos tramos intermedios de 15 cm desechándose tanto el primer como el último tramo por posibles alteraciones del suelo.

El Ensayo de Penetración Estándar SPT seguirá los pasos descritos en la **norma INEN 689**, la cual nos da el procedimiento del ensayo:

- Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de 75 ± 5 cm sobre la cabeza de golpe. [16]
- Para el elevar el martinete se debe usar el cabo de manila o similar y, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo no debe enrollarse más de dos vueltas en el malacate. [16]
- La barra rígida de acero que sirve de guía en la caída del martinete debe estar completamente vertical, con lo cual se asegura que la energía de los golpes no resulte disminuida por efecto de la fricción del martinete sobre dicha barra.
- El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm, lo cual se considera como un proceso necesario de preparación y ajuste para el ensayo. [16]
- Se inicia entonces el ensayo contando el número de golpes (N) necesarios para hacer penetrar el muestreador 30 cm, lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. [16]
- Si al hincar este tramo se sobrepasan los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medida indicada, se debe anotar el número de golpes efectuados y la fracción o longitud de penetración del muestreador. [16]
- Antes de extraer el muestreador a la superficie debe girarse por lo menos dos revoluciones, a fin de cortar la muestra por el fondo, luego de lo cual, se extrae el muestreador a la superficie, se lo abre y se determina la longitud de la muestra recuperada. [16]

- La muestra se describirá según lo establecido en la Norma INEN 693, luego de lo cual se la debe acondicionar y cerrar herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio. [16]
- Para la identificación de las muestras, los recipientes que las contengan deben etiquetarse adecuadamente. [16]

Tabla 4. Clasificación del tipo de perfil del suelo

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCÓN	DEFINICIÓN
A	Perfil de roca competente	Vs≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s >Vs≥ 760m/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 > Vs ≥ 360 m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	N m/s ≥50.0≥360 m/s
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > Vs≥ 180 m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones,o	50 > N ≥ 15.0 100 kPa > Su ≥ 50 kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante,o	Vs< 180 m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% Su< 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)	
	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 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 onda cortante	
	F6 - Rellenos colocados sin control ingenieril	

Fuente: NEC – SE – DS 2015

Tabla 5. Formato de tablas para la recolección de datos del Ensayo SPT

ENSAYO PUNTO N- # DE SPT				
UBICACIÓN: **COORDENADAS: X:**	**Y:**			**ALTITUD: msnm**
PROFUNDIDAD EN METROS	**NÚMERO DE GOLPES c/d 15cm**	**N (SPT) FINAL**	**N (SPT) PROMEDIO**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S.**
DE 0 A 1 m	15 cm			
	30 cm			
	45 cm			
	60 cm			
	75 cm			
	90 cm			
DE 1 A 2 m	15 cm			
	30 cm			
	45 cm			
	60 cm			
	75 cm			
	90 cm			
DE 2 A 3 m	15 cm			
	30 cm			
	45 cm			
	60 cm			
	75 cm			
	90 cm			
DE 2 A 3 m	15 cm			
	30 cm			
	45 cm			
	60 cm			
	75 cm			
	90 cm			
CONCLUSIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO SEGÚN LA NEC 2015:		TIPO DE PERFIL		
OBSERVACIONES:				

Elaboración: Wilson Gavilanez

Luego de determinar el valor N de la resistencia del suelo se procederá a obtener muestras de suelo, se las acondicionará y cerrará herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio.

(b) Ensayo de Granulometría NTE INEN 696

Una vez obtenidas las muestras de suelo productos del ensayo de penetración estándar (SPT), de los 5 puntos a estudiar se procederá a secar las muestras a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, luego se selecciona los tamices necesarios que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, ordenandos de mayor a menor diámetro de abertura respectivamente (del

tamiz #4, #10, #40, #100, #200 y la bandeja en la parte inferior). Después se pesar cada muestra de suelo seca se procederá a agita los tamices por medio de aparatos mecánicos por un periodo de 15 minutos para que pase por todos los tamices Una vez que se termine el proceso de vibración se pesará el suelo retenido en cada tamiz para obtener el porcentaje de suelo retenido en cada tamiz. En las siguientes tablas se determinará la granulometría presente en cada metro de perforación realizada y se utilizará las tablas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para determinar el tipo de existente en cada punto del ensayo de SPT. [17]

Tabla 6. Formato de tablas para la recolección de datos del Ensayo de Granulometría NTE INEN 696

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
PUNTO N - # DE SPT					
UBICACIÓN:					
TAMIZ #	**PESO RET. PARCIAL (gr)**	**PESO RET. /ACUM. (gr)**	**% RETENIDO**	**% QUE PASA**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**
PRIMER METRO (PESO TOTAL = gr)					
# 4					
# 10					
# 40					
# 100					
# 200					
FUENTE					
TOTAL DE MUESTRA					
SEGUNDO METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = gr)					
# 4					
# 10					
# 40					
# 100					
# 200					
FUENTE					
TOTAL DE MUESTRA					
TERCER METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = gr)					
# 4					
# 10					
# 40					
# 100					
# 200					
FUENTE					
TOTAL DE MUESTRA					

Elaboración: Wilson Gavilanez

2) Determinación de la Magnitud de Momento

Con los datos de las fallas seleccionadas, con un potencial peligro sísmico y usando las ecuaciones de Wells y Coppersmith se puede determinar el momento sísmico que pueden generar dichas fallas.

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

(Ec. 1)

Donde:

a, b= Coeficientes que dependen del tipo de falla

SRL= Longitud de rotura superficial de la falla (Km).

Tabla 7. Coeficientes para calcular la magnitud de momento según Wells-Coppersmith

Ecuación	Tipo de Falla	Número de Eventos	Coeficientes y errores estandar		Desviación Estandar	Coeficientes de Correlación	Rango de Magnitudes	Longitud/Ancho
			a(sa)	b(sb)	s	r		Rango(km)
M=a+b*log(SRL)	SS	43	5.16(0.13)	1.12(0.08)	0.28	0.91	5.6 a 8.1	1.3 a 432
	R	19	5.00(0.22)	1.22(0.16)	0.28	0.88	5.4 a 7.4	3.33 a 85
	N	15	4.86(0.34)	1.32(0.26)	0.34	0.81	5.2 a 7.3	2.5 a 41
	All	77	5.08(0.10)	1.16(0.07)	0.28	0.89	5.2 a 8.1	1.3 a 432
log(SRL)=a+b+log(Rl	SS	43	-3.55(0.37)	0.74(0.05)	0.23	0.91	5.6 a 8.1	1.3 a 432
	R	19	-2.86(0.55)	0.63(0.08)	0.20	0.88	5.4 a 7.4	3.3 a 85
	N	15	-2.01(0.65)	0.50(0.10)	0.21	0.81	5.2 a 7.3	2.5 a 41
	All	77	-3.22(0.27)	0.69(0.04)	0.22	0.89	5.2 a 8.1	1.3 a 432
M=a+b*log(RLD)	SS	90	4.33(0.06)	1.49(0.05)	0.24	0.96	4.8 a 8.1	1.5 to 350
	R	50	4.49(0.11)	1.49(0.09)	0.26	0.93	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	24	4.34(0.23)	1.54(0.18)	0.31	0.88	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	167	4.38(0.06)	1.49(0.04)	0.26	0.94	4.8 a 8.1	1.1 a 350
log(RLD)=a+b*M	SS	93	-2.57(0.12)	0.62(0.02)	0.16	0.96	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	50	-2.42(0.21)	0.58(0.03)	0.16	0.93	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	24	-1.88(0.37)	0.50(0.06)	0.17	0.88	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	167	-2.44(0.11)	0.59(0.02)	0.16	0.94	4.8 a 8.1	1.1 a 350
M=a+b*log(RW)	SS	87	3.80(0.17)	2.59(0.18)	0.45	0.84	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	43	4.37(0.16)	1.95(0.15)	0.32	0.90	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	23	4.04(0.29)	2.11(0.28)	0.31	0.86	5.2 a 5.3	3.8 a 63
	All	153	4.06(0.11)	2.25(0.12)	0.41	0.84	4.8 a 8.1	1.1 a 350
log(RW)=a+b*M	SS	87	-0.76(0.12)	0.27(0.02	0.14	0.84	4.8 a 8.1	1.5 a 350
	R	43	-1.61(0.20)	0.41(0.03)	0.15	0.9	4.8 a 7.6	1.1 a 80
	N	23	-1.14(0.28)	0.35(0.05)	0.12	0.86	5.2 a 7.3	3.8 a 63
	All	153	-1.01(0.28)	0.32(0.02)	0.15	0.84	4.8 a 8.1	1.1 a 350
M=a+b*log(RA)	SS	83	3.98(0.07)	1.02(0.03)	0.23	0.96	4.8 a 7.9	3 a 5.184
	R	43	4.33(0.12)	0.90(0.05)	0.25	0.94	4.8 a 7.6	2.2 a 2.400
	N	22	3.93(0.23)	1.02(0.10)	0.25	0.92	5.2 a 7.3	19 a 900
	All	148	4.07(0.06)	0.98(0.03)	0.24	0.95	4.8 a 7.9	2.2 a 2.400
Log(RA)=a+b*M	SS	83	-3.42(0.18)	0.90(0.03)	0.22	0.96	4.8 a 7.9	3 a 5.184
	R	43	-3.99(0.39)	0.98(0.06)	0.26	0.94	4.8 a 7.6	2.2 a 2.400
	N	22	-2.87(0.50)	0.82(0.08)	0.22	0.95	5.2 a 7.3	19 to 900
	All	148	-3.49(0.16)	0.91(0.03)	0.24	0.95	4.8 a 7.9	2.2 a 5.184
SRL-Longitud de la superficie de ruptura (km); RDL-Longitud de la subsuperficie de ruptura (Km);RW-Ancho de ruptura (Km); Area de ruptura(Km2);SS-Transcurrente;R-Inversa;N-Normal								

- **Fuente:** Wells – Coppersmith 1994

3) Velocidad Media de Onda Cortante (V_{S30})

La velocidad de onda de corte Vs es uno de los parámetros más importantes para la caracterización dinámica de suelos, ya que con base en este parámetro es posible determinar el módulo de rigidez al esfuerzo cortante (G), estimar el estado de esfuerzos, establecer y analizar el comportamiento de depósitos de suelo ante cargas cíclicas. [18]

Por medio del ensayo de SPT se obtendrá los valores de V_{S30} para el área de estudio y también se tomará en cuenta en la elección de las ecuaciones para el tipo de suelo presente en el sector.

Tabla 8. Ecuaciones para determinar el V_S30 en función del número de golpes del ensayo de SPT

Author(s)	I.D.	All soils	Sand	Silt	Clay
Shibata (1970)	A	-	Vs = 31.7 N^0.34	-	-
Ohba and Toriumi (1970)	B	Vs = 84 N^0.31	-	-	-
Imai and Yoshimura (1975)	C	Vs = 76 N^0.33	-	-	-
Ohta et al (1972)	D	-	Vs = 87.2 N^0.36	-	-
Fujiwara (1972)	E	Vs = 92.1 N^0.337	-	-	-
Ohsaki and Iwasaki (1973)	F	Vs = 81.4 N^0.39	-	-	-
Imai et al (1975)	G	Vs = 89.9 N^0.341	-	-	-
Imai (1977)	H	Vs = 91 N^0.337	Vs = 80.6 N^0.331	-	Vs = 80.2 N^0.292
Ohta and Goto (1978)	I	Vs = 85.35 N^0.348	-	-	-
Seed and Idriss (1981)	J	Vs = 61.4 N^0.5	-	-	-
Imai and Tonouchi (1982)	K	Vs = 96.9 N^0.314	-	-	-
Sykora and Stokoe (1983)	L	-	Vs = 100.5 N^0.29	-	-
Jinan (1987)	M	Vs = 116.1 (N+0.3185)^0.202	-	-	-
Okamoto et al (1989)	N	-	Vs = 125 N^0.3	-	-
Lee (1990)	O	-	Vs = 57.4 N^0.49	Vs = 105.64 N^0.32	Vs = 114.43 N^0.31
Athanasopoulos (1995)	P	Vs = 107.6 N^0.36	-	-	Vs = 76.55 N^0.445
Sisman (1995)	Q	Vs = 32.8 N^0.51	-	-	-
Iyisan (1996)	R	Vs = 51.5 N^0.516	-	-	-
Kanai (1966)	S	Vs = 19 N^0.6	-	-	-
Jafari et al (1997)	T	Vs = 22 N^0.85	-	-	-
Kiku et al (2001)	U	Vs = 68.3 N^0.292	-	-	-
Jafari et al (2002)	V	-	-	Vs = 22 N^0.77	Vs = 27 N^0.73
Hasancebi and Ulusay (2006)	W	Vs = 90 N^0.309	Vs = 90.82 N^0.319	-	Vs = 97.89 N^0.269
Ulugergerli and Uyank (2007)	X	VSL = 23.291 Ln(N)+405.61	-	-	-
Ulugergerli and Uyank (2007)	Y	VSL = 52.9 e^-0.011N	-	-	-
Dikmen (2009)	Z	Vs = 58 N^0.39	Vs = 73 N^0.33	Vs = 60 N^0.36	Vs = 44 N^0.48
Pitilakis et al. (1999)	AA	-	Vs = 145(N60)^0.178	-	Vs = 132(N60)^0.271
Hasancebi and Ulusay (2006)	AB	Vs = 104.79(N60)^0.26	Vs = 131(N60)^0.205	-	Vs = 107.63(N60)^0.237

Fuente: Shear Wave Velocity as a Statistical Function of Standard Penetration Test Resistance and Vertical Effective Stress at Caltrans Bridge Sites

Para la obtención del valor de la velocidad de onda de corte V_{S30} a ocupar determinaremos de todos los valores de las ecuaciones, la media aritmética, la desviación estándar, la distribución normal y por último se va generar la campana de Gauss.

- **Media Aritmética**

El cálculo de la media aritmética se lo realiza por medio de la suma de todos los valores de un conjunto y dividiendo entre el número de valores.[19]

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N}$$

(Ec. 2)

- **La Desviación Estándar**

La Desviación Estándar se encarga en medir la dispersión de un conjunto de datos en relación con la media y este número único estima la amplitud de los datos. La fórmula para la obtención es la siguiente.[19]

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

(Ec. 3)

- **La Distribución Normal**

La distribución normal es un modelo teórico que se encarga de describir la distribución de probabilidad de los valores de un conjunto, y se conoce también como distribución gaussiana, los valores obtenidos son simétricos en torno a la media y se representan gráficamente como una curva de campana[19]

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{S}$$

(Ec. 4)

- **Campana de Gauss**

Es una representación gráfica que se encarga de mostrar la distribución de los datos en torno a un valor central. Y este método es una herramienta estadística y de probabilidad que se caracteriza por su forma simétrica y acampanada. Para la representación de la campana de gauss ocuparemos los datos de la velocidad de onda de corte V_{S30} como absisas y los datos de la distribución normal como ordenadas.[19]

4) Cálculo de los Espectros Determinísticos

(a) Ecuaciones de atenuación para régimen cortical.

Para los sismos corticales se hace su estudio a una profundidad ≤ 30km y las ecuaciones a ocupar son las siguientes:

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

Modelo Kanno ET AL. (2006)

Las ecuaciones de este modelo se basan en tres variables que son la distancia a la falla, la magnitud del terremoto y profundidad focal.[20]

Si D ≤ 30 Km

$$\boldsymbol{log\ pre = a1Mw + b1x - log\ (X + d1 * 10^{e1Mw}) + c1 + \varepsilon 1}$$

(Ec. 5)

Si D > 30 Km

$$\boldsymbol{log\ pre = a2Mw + b2x - log\ (X) + c2 + \varepsilon 1}$$

(Ec. 6)

Dónde:

D: Profundidad Focal

a, b, c, d: Coeficientes

Mw: Magnitud de momento

X: Distancia de la fuente

- Para este modelo se escoge la ecuación de falla cortical con una profundidad ≤ 30 Km. [20]
- La aceleración sísmica máxima del terreno está dada en términos de cm/s², $e1$ = 0.5.
- Siendo X la distancia al origen para eventos superficiales o suelos pocos profundos:
  - 6.0 (X ≤ km)
  - 3.0 (25< X ≤ 50km)
  - 1.5 (50km< X ≤ 75km)
  - (X > 75km)

Consideraciones:

- ✓ Profundidades focales (D) para eventos poco profundos entre 0km y 30km y para eventos profundos entre 30km y aproximadamente 180km. [20]
- ✓ Emplee Vs30 para caracterizar los efectos del sitio usando la fórmula de corrección: G = log (obs/pre) = p log Vs30 + q, derive p y q por análisis de regresión en residuos promediados a intervalos de cada 100 m/s en Vs30. p = 0.55 y q = 1.35 para PGA. Tener en cuenta que la ecuación sin corrección de sitio predice movimientos de suelo en sitios con Vs30≈300 m/s. [20]

Modelo Boore y Atkinson (2008)

Para la aplicación de estas ecuaciones tienen las siguientes restricciones:

- Velocidad de onda cortante (V_{S30}) debe estar en rangos de 180 m/s a 1300 m/s.
- Magnitud de momento (Mw) entre 5 y 8.
- Distancia de la fuente al sitio de estudio (R_{JB}) debe ser menor a 200km. [21]

$$\boldsymbol{Ln\ y = F_M(M) + F_D(R_{JB}M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon}$$

(Ec. 7)

Donde:

FM,D,S: Coeficientes

M: Magnitud de momento

RJB: Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio

VS30: Velocidad media de la onda de cortante

$$FD(R_{JB}M) = [c1 + c2(M - M_{ref})]\ ln\ (R - R_{ref}) + c3(R - R_{ref})$$

(Ec. 8)

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

Donde: **(Ec. 9)**

c1, c2, c3, y h son los coeficientes a determinar en el análisis.

Mref= 4.5

Rref=1km

✓ Escalamiento de magnitud

- $M \leq M_h$

$$FM(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e5(M - M_h) + e6(M - M_h)^2$$

(Ec. 10)

- $M > M_h$

$$FM(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e7(M - M_h)$$

(Ec. 11)

Donde:

U, SS, NS, y RS son variables ficticias que se usan para indicar el tipo de falla no especificada, normal, inversa. [21]

Mh esta magnitud es para la forma de la escala de magnitud, es un coeficiente que se debe establecer durante el análisis. [21]

✓ Ecuación de amplificación

$$Fs = FLIN + FNL$$

(Ec. 12)

Donde:

FLIN, FNL términos lineales y no lineales. [25]

- Término lineal

$$FLIN = b_{lin}\, ln\left(V_{s30}/V_{ref}\right)$$

(Ec. 13)

Donde:

$$b_{lin} = -0.360$$

$$V_{ref} = 760\ m/s$$

V_{s30} es la velocidad media de la onda de cortante

- Término no lineal

a) pga4nl ≤ a1

$$FNL = b_{nl}\, ln\,(pga_low/0.1)$$

(Ec. 14)

b) a1 < pga4nl ≤ a2

$$FNL = b_{nl}\, ln\,(pga_low/0.1) + c[ln\,(pga4nl/a_1)]^2 + d[ln\,(pga4nl/a_1)]^3$$

(Ec. 15)

a) a2 < pga4nl

$$FNL = b_{nl}\, ln\,(pga_low/0.1)$$

(Ec. 16)

Donde:

pga4nl es la predicción de PGA en g para $V_{ref} = 760\ m/s$

$a_1 = 0.03g$

$a_2 = 0.09g$

$pga_low = 0.06$

Coeficientes c y d para la ecuación 5.8

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

(Ec. 17)

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

(Ec. 18)

$$\Delta x = ln\,(a2/a1)$$

(Ec. 19)

$$\Delta y = b_{nl}\ \ ln\,(a2/pga_low)$$

(Ec. 20)

✓ La pendiente no lineal b_{nl} es una función de ambos períodos y Vs30 viene dado por:

- $V_{s30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1$$

(Ec. 21)

- $V_1 < V_{s30} \leq V_2$

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

(Ec. 22)

- $V_2 < V_{s30} \leq V_{ref}$

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

(Ec. 23)

- $V_{s30} \leq V_{ref}$

$$b_{nl} = 0.0$$

(Ec. 24)

Donde:

$$V_1 = 180\ m/s$$
$$V_2 = 300\ m/s$$
$$b_1 = -0.640\ m/s$$
$$b_2 = -0.14\ m/s$$

Categorías:

Transcúrrete: 4.3 ≤ M ≤ 7.9. SS= 1; U= 0; NS= 0; RS= 0

Inversa: 5.6 ≤ M ≤ 7.6. SS= 0; U= 0; NS= 0; RS= 1

Normal: 5.3 ≤ M ≤ 6.9. SS= 0; U= 0; NS= 1; RS= 0

Esta ecuación es aplicable considerando los siguientes rangos: [21]

- ✓ $180 \leq V_{s30} \leq 1300\ m/s$, no aplica para sitios de roca muy dura.
- ✓ $R_{JB} < 200\ km$
- ✓ $5 \leq M \leq 8$

Modelo Akkar y Bommer (2010)

$$\boldsymbol{log\ y = b1 + b2M + b3M^2 + (b4 + b5M)\ log\ \sqrt{R^2jb + b^26} + b_7S_S + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma}$$

(Ec. 25)

$$\sigma = \sqrt{\sigma 1^2 + \sigma 2^2}$$

(Ec. 26)

Dónde:

b: Coeficientes

FN: Falla normal

FR: Falla inversa

M: Magnitud de momento

RJB: Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio

SA: Suelo rígido

SS: Suelo suave

$\sigma 1 = 0.2610$ (intra-evento)

$\sigma 2 = 0.0994$ (inter-evento**)**

Consideraciones:

- ✓ Donde $y \rightarrow cm/s^2$ [22]
- ✓ Categorías del suelo
  - Suelo blando $S_S = 1;\ S_A = 0$
  - Suelo rígido $S_S = 0;\ S_A = 1$
  - Roca $S_S = 0;\ S_A = 0$
- ✓ Mecanismos de falla
  - Normal $F_N = 1;\ F_R = 0$
  - Inversa $F_N = 0;\ F_R = 1$
  - Transcurrente $F_N = 0;\ F_R = 0$

(b) Ecuaciones de atenuación en falla por Subducción

Las ecuaciones a ocupar tenemos los siguientes:

- Youngs (1997)
- Zhao (2006)

Modelo Youngs ET AL. (1997)

Los datos empleados en la creación de estas ecuaciones de movimiento de suelo revelan que los terremotos causados en áreas de subducción generan movimientos telúricos que se disminuyen en menor proporción que los sismos provocados por fallas dentro de las zonas de placas tectónicas.

Se recomienda el uso de estas ecuaciones para: magnitudes de momento (Mw) mayores a 5, distancias a la proyección de la falla de 10 a 500 km, profundidades focales entre 10 y 229 km. [23]

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

(Ec. 27)

Dónde

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficientes

R: Distancia fuente a sitio

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

Zt: Tipo de falla

Categorías:

- ✓ **Roca:** $Z_r = 1;\ Z_{ds} = 0;\ Z_{ss} = 0$. [23]
- ✓ **Suelo profundo:** $Z_r = 0;\ Z_{ds} = 1; Z_{ss} = 0;$ La profundidad hasta el lecho rocoso es mayor a 20 m.
- ✓ **Suelo poco profundo:** $Z_r = 0;\ Z_{ds} = 0;\ Z_{ss} = 1;$ La profundidad del lecho de roca es inferior a 20 m.

Tipo de evento tectónico:

- ✓ **Interplaca:** $Z_t = 0$
- ✓ **Intraplaca:** $Z_t = 1$

Limitaciones de la ecuación [23]

- ✓ Profundidades focales (H) entre 10 y 229 km
- ✓ Magnitud (Mw) mayor o igual a 5
- ✓ Grandes diferencias entre la roca y el suelo profundo [25]

Modelo Zhao ET AL. (2006)

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

(Ec. 28)

$$r = x + c^{(dMw)}$$

(Ec. 29)

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b, e, Ck: Coeficientes

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal

hc: Constante

Ck: Clase de sitio

Consideraciones:

- ✓ $\delta h = 1$ cuando $h \geq h_c$ caso contrario $\delta h = 0$**.** [24]
- ✓ Use $h_c = 15\ km$ para eventos superficiales
- ✓ Use cinco tipos de escenarios (T periodo natural del lugar): [24]
    1. Roca dura Vs30 > 1100 m/s. Use CH.
    2. SC I Rock, 600 < Vs30 ≤ 1100 m/s, T < 0.2 s. Use C1.
    3. SC II Suelo duro, 300 < Vs30 ≤ 600 m/s, 0.2 ≤ T < 0.4 s. Use C2.
    4. SC III Suelo medio, 200 <Vs30 ≤ 300 m/s, 0.4 ≤ T < 0.6 s. Use C3.
    5. SC IV Suelo blando, Vs30 ≤ 200 m/s, T ≥ 0.6 s. Usa C4.
- ✓ Profundidades focales.[24]
    - Evento Cortical: h= 0 – 25 km
    - Eventos interplaca: h= 10 – 50 km
    - Eventos intraplaca: h= 15 – 162 km
    - Si h > 125 km usar: h= 125 km
- ✓ **FR** se aplica para una falla inversa, tomando como 0 para los demás eventos.
- ✓ **SI** se aplica a los eventos de interplaca, siendo 0 para los demás eventos.
- ✓ **SS** se aplica solo a los eventos de subducción, siendo 0 para los demás eventos.
- ✓ **SSL** es un coeficiente de modificación de trayectoria independiente de la magnitud para los eventos de intraplaca.

C. FASE 3

1) Selección de las estructuras

En esta última fase se seleccionó 3 estructuras de viviendas construidas, que estén dentro del área estudiada y se procedió a analizar su comportamiento estructural que tienen entre el espectro propuesto por la NEC y los espectros deterministas obtenidos del sector.

Figura 5. Estructura N-1



Fuente: Wilson Gavilanez

Figura 6. Estructura N-2



Fuente: Wilson Gavilanez

Figura 7. Estructura N-3



Fuente: Wilson Gavilanez

2) Recolección de datos de las estructuras

Para las estructuras que se estudió fue necesario implementar una tabla de especificaciones tanto estructurales como la de los materiales, después se realizó la medición de la distribución arquitectónica y de alturas de entrepiso. En las edificaciones ocuparemos las siguientes características:

Tabla 9. Tabla tipo de especificaciones para las estructuras

Características Estructurales	
Características	**Detalle**
Sistema Estructural	
Número de pisos	2
Sección de columnas (cm)	X cm * X cm
Sección de vigas (cm)	X cm * X cm
Espesor de losa (cm)	X cm
Tipo de losa	
Altura máxima de la edificación Hm (m)	X m
Propiedades de los Materiales	**Detalle**
Resistencia a la compresión del hormigón	f´c = X kg/cm²
Limite e fluencia del acero	Fy = 4200 kg/cm²
Módulo de elasticidad del hormigón	$Ec = 13100 * \sqrt{f´c}$
Coeficiente de Poisson	u = 0.20

Elaboración: Wilson Gavilanez

3) Cargas Consideradas

En la determinación de las cargas a considerar de la estructura se toman en cuenta las siguientes

Tabla 10. Datos de cargas consideradas

CARGAS CONSIDERADAS	
Carga muerta	Peso propio de la estructura
Adicional de carga muerta (ACM)	Carga de acabados, enlucidos, masillados, etc.
Sobre carga muerta permanente de pared	Carga de pared
Carga viva	Carga viva Según la NEC2015

Elaboración: Wilson Gavilanez

Esto se cuantifica en relación a los pesos unitarios de cada material obtenidos de la norma NEC (cargas no sísmicas).[25] Y los cálculos respectivos para la obtención del peso se lo representara en el Anexo 9.

4) Espectro de diseño

En esta parte, se procedió a la obtención del espectro de respuesta con la ayuda de las fórmulas y tablas de la NEC-SE-DS, esto se determinó para las 3 estructuras de estudio y los datos necesarios se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Tabla tipo para la determinación del espectro de respuesta

Datos de la estructura		
Tipo de estructura	**Otras Estructuras**	**Literal Norma**
Importancia de la estructura		
Tipo de suelo		3.2.1
Zona sísmica		3.1.1
Z(g)		3.2.1- 10.2.
R		6.3.4.
I		4.1.
Øp		5,2,3,
Øe		5,2,3,
Fa		3,3,2,
Fd		3,3,2,
Fs		3,2,2,
Tc		3.3.1
Ct		6,3,3,a,
α		6,3,3,a,
Hn (altura máxima del edificio)		
T(s)		6.3.3
η		3,3,1,
r		3.3.1
Sa(g)		3.3.1
C		3.3.1
K		

Fuente: Wilson Gavilanez

5) Verificación Estructural

Una vez que se obtuvo todos los datos de las 3 estructura, los espectros deterministas y los cálculos por la NEC-SE-DS se procedió a realizar la modelación de las 3 estructuras en ETABS 2016 y se determinó el comportamiento estructural tanto con los datos del espectro determinista como los de la NEC-SE-DS, los apartados que verificamos son los siguientes:

- Verificación de los modos de vibración
- Verificación de la distorsión torsional
- Verificación de las derivas de piso
- Comparación de cargas de cortante y momentos en elementos estructurales

CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. RECOLECCIÓN DE DATOS

En el desarrollo de esta investigación ya se realizó la delimitación del área de estudio y los puntos de ejecución de los ensayos de capacidad portante del suelo (SPT), además se definió las fallas geológicas activas cercanas al área de análisis, por lo cual se procede a medir las distancias perpendiculares desde los puntos de estudio hacia cada una de las fallas geológicas (Rjb distancia de Joyner y Boore).

Tabla 12. Distancias perpendiculares de las fallas geológicas hacia los puntos de los ensayos de suelo

FALLAS GEOLÓGICAS CERCANAS AL ÁREA EN ESTUDIO								
CÓDIGO	**NOMBRE DE LA FALLA**	**TIPO**	**LONGITUD (KM)**	**DISTANCIA AL SPT #1 (KM) Rjb**	**DISTANCIA AL SPT #2 (KM) Rjb**	**DISTANCIA AL SPT #3 (KM) Rjb**	**DISTANCIA AL SPT #4 (KM) Rjb**	**DISTANCIA AL SPT #5 (KM) Rjb**
EC-223	Subducción	Inversa	1536.49	307.07	307.47	307.33	307.22	307.57
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	12.04	1.51	2.02	1.55	1.51	1.81
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	16.30	0.34	0.84	0.37	0.27	0.58
EC-345	Totoras	Transcúrrete I.C.	17.65	4.28	3.85	3.91	3.87	3.56

Fuente: Wilson Gavilanez

B. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

En el presente análisis mediante la tabla dispuesta por la Norma Ecuatorial de la Construcción NEC se clasificará los perfiles de suelo en base al Número de golpes N del ensayo de SPT para cualquier tipo de perfil.

Seguidamente, se muestran las tablas con los valores obtenidos en el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), de los cuales se procede a sumar los valores de los 15 cm finales de cada tramo para obtener el valor de Nspt.

1) Ensayo de penetración estándar SPT

Tabla 13. Ensayo de SPT Punto N-1

ENSAYO DE SPT PUNTO N- 1				
UBICACIÓN: Av. Rumiñahui y calles los Shyris				
COORDENADAS: **X:** 763791.68 **Y:** 9861351.29				**ALTITUD:** 2664 msnm
PROFUNDIDAD EN METROS	**NÚMERO DE GOLPES c/d 15cm**	**N (SPT) FINAL**	**N (SPT) PROMEDIO**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S.**
DE 0 A 1 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm	LIMPIEZA DE CAPA VEGETAL		
DE 1 A 2 m	15 cm 12 30 cm 15 45 cm 15 60 cm 15 75 cm 16 90 cm 17	30 33	35.17	**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 15 30 cm 15 45 cm 15 60 cm 14 75 cm 16 90 cm 15	30 31		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 15 30 cm 17 45 cm 18 60 cm 20 75 cm 25 90 cm 27	35 52		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
PERFIL DE SUELO SEGÚN LA NEC 2015:	TIPO DE PERFIL **D**			
OBSERVACIONES:	No existe nivel freático, humedad natural del suelo			

Fuente: Wilson Gavilanez

Tabla 14. Ensayo de SPT Punto N-2

ENSAYO PUNTO N- 2 DE SPT				
UBICACIÓN: Av. Rumiñahui y Av. Pichincha				
COORDENADAS: **X:** 764260.73 **Y:** 9861533.33				**ALTITUD:** 2665 msnm
PROFUNDIDAD EN METROS	**NÚMERO DE GOLPES c/d 15cm**	**N (SPT) FINAL**	**N (SPT) PROMEDIO**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S.**
DE 0 A 1 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm	LIMPIEZA DE CAPA VEGETAL		
DE 1 A 2 m	15 cm 12 30 cm 13 45 cm 15 60 cm 13 75 cm 13 90 cm 18	28 31	36.33	**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 15 30 cm 15 45 cm 15 60 cm 19 75 cm 20 90 cm 21	30 41		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 20 30 cm 20 45 cm 22 60 cm 20 75 cm 21 90 cm 25	42 46		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
PERFIL DE SUELO SEGÚN LA NEC 2015:	TIPO DE PERFIL **D**			
OBSERVACIONES:	No existe nivel freático, humedad natural del suelo			

Elaboración: Wilson Gavilanez

Tabla 15. Ensayo de SPT Punto N-3

ENSAYO PUNTO N- 3 DE SPT				
UBICACIÓN: Calle Camilo Ponce Enríquez y Placido Camaño				
COORDENADAS: **X:** 7641 41.89 **Y:** 9860636.91				**ALTITUD:** 2697 msnm
PROFUNDIDAD EN METROS	**NÚMERO DE GOLPES c/d 15cm**	**N (SPT) FINAL**	**N (SPT) PROMEDIO**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S.**
DE 0 A 1 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm	LIMPIEZA DE CAPA VEGETAL		
DE 1 A 2 m	15 cm 12 30 cm 15 45 cm 18 60 cm 16 75 cm 16 90 cm 17	33 33	38.00	**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 18 30 cm 16 45 cm 17 60 cm 20 75 cm 18 90 cm 19	33 37		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 17 30 cm 18 45 cm 18 60 cm 26 75 cm 27 90 cm 29	36 56		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
PERFIL DE SUELO SEGÚN LA NEC 2015:	TIPO DE PERFIL **D**			
OBSERVACIONES:	No existe nivel freático, humedad natural del suelo			

Elaboración: Wilson Gavilanez

Tabla 16. Ensayo de SPT Punto N-4

ENSAYO PUNTO N- 4 DE SPT				
UBICACIÓN: Calle Víctor Hugo y Rio Coca				
COORDENADAS: **X:** 764150.05 **Y:** 9860165.15				**ALTITUD:** 2709 msnm
PROFUNDIDAD EN METROS	**NÚMERO DE GOLPES c/d 15cm**		**N (SPT) FINAL**	**N (SPT) PROMEDIO**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S.**
DE 0 A 1 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm		LIMPIEZA DE CAPA VEGETAL		
DE 1 A 2 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm	13 15 12 15 25 18	27 43	47.17	**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm	19 20 20 22 23 29	40 52		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm	25 24 29 35 35 33	53 68		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
PERFIL DE SUELO SEGÚN LA NEC 2015:			TIPO DE PERFIL **D**		
OBSERVACIONES:			No existe nivel freático, humedad natural del suelo		

Elaboración: Wilson Gavilanez

Tabla 17. Ensayo de SPT Punto N-5

ENSAYO PUNTO N- 5 DE SPT				
UBICACIÓN: Calle G. Córdova y Antonio Borrero				
COORDENADAS: **X:** 764464.46 **Y:** 9860189.29				**ALTITUD:** 2705 msnm
PROFUNDIDAD EN METROS	**NÚMERO DE GOLPES c/d 15cm**	**N (SPT) FINAL**	**N (SPT) PROMEDIO**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S.**
DE 0 A 1 m	15 cm 30 cm 45 cm 60 cm 75 cm 90 cm	LIMPIEZA DE CAPA VEGETAL		
DE 1 A 2 m	15 cm 12 30 cm 15 45 cm 18 60 cm 15 75 cm 17 90 cm 17	33 34	44.33	**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 15 30 cm 19 45 cm 20 60 cm 19 75 cm 22 90 cm 22	39 44		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
DE 2 A 3 m	15 cm 20 30 cm 23 45 cm 24 60 cm 35 75 cm 35 90 cm 34	47 69		**SM** (ARENA LIMOSA MAL GRADUADA)
PERFIL DE SUELO SEGÚN LA NEC 2015:	TIPO DE PERFIL **D**			
OBSERVACIONES:	No existe nivel freático, humedad natural del suelo			

Elaboración: Wilson Gavilanez

En los ensayos de penetración estándar (SPT) de los 5 puntos de análisis indica un número de golpes promedio (NSPT medio) que encuentran dentro del rango establecido de la NEC-SE-DS ($15 \leq N < 50$) para clasificar al perfil de suelo como tipo D.

El resultado del SPT es el primer paso que usaremos para determinar el tipo de suelo, el siguiente paso que toca determinar es la clasificación del suelo extraído en base a lo expuesto por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

2) Ensayo de Granulometría NTE INEN 696

Tabla 18. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-1

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
PUNTO N- 1 DE SPT					
UBICACIÓN: Av. Rumiñahui y calles los Shyris					
TAMIZ #	**PESO RET. PARCIAL (gr)**	**PESO RET. /ACUM. (gr)**	**% RETENIDO**	**% QUE PASA**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**
PRIMER METRO (PESO TOTAL = 275.6 gr)					
# 4	2.60	2.60	0.94%	99.06%	
# 10	13.40	16.00	5.81%	94.19%	
# 40	75.10	91.10	33.06%	66.94%	
# 100	61.80	152.90	55.48%	44.52%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	34.70	187.60	68.07%	31.93%	
FUENTE		88.00	31.93%		
TOTAL DE MUESTRA		275.60			
SEGUNDO METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 312.7 gr)					
# 4	2.10	2.10	0.67%	99.33%	
# 10	11.20	13.30	4.25%	95.75%	
# 40	113.30	126.60	40.49%	59.51%	
# 100	64.50	191.10	61.11%	38.89%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	45.90	237.00	75.79%	24.21%	
FUENTE		75.70	24.21%		
TOTAL DE MUESTRA		312.70			
TERCER METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 304.6 gr)					
# 4	2.40	2.40	0.79%	99.21%	
# 10	16.30	18.70	6.14%	93.86%	
# 40	120.30	139.00	45.63%	54.37%	
# 100	54.80	193.80	63.62%	36.38%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	29.30	223.10	73.24%	26.76%	
FUENTE		81.50	26.76%		
TOTAL DE MUESTRA		304.60			

Elaboración: Wilson Gavilanez

De la Tabla 18 se observa que, en cada metro de muestra ensayada, más del 50% de la muestra de suelo pasa el tamiz N # 4, correspondiendo a un suelo de grano grueso, así también menos del 50% pasa el tamiz N # 200 correspondiendo a un suelo de partículas muy finas; por lo cual se determina que el tipo de suelo es arena limosa (SM).

Tabla 19. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-2

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
PUNTO N- 2 DE SPT					
UBICACIÓN: Av. Rumiñahui y Av. Pichincha					
TAMIZ #	**PESO RET. PARCIAL (gr)**	**PESO RET. /ACUM. (gr)**	**% RETENIDO**	**% QUE PASA**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**
PRIMER METRO (PESO TOTAL = 348.1 gr)					
# 4	1.90	1.90	0.55%	99.45%	
# 10	12.60	14.50	4.17%	95.83%	
# 40	134.70	149.20	42.86%	57.14%	
# 100	78.40	227.60	65.38%	34.62%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	53.30	280.90	80.70%	19.30%	
FUENTE	67.20		19.30%		
TOTAL DE MUESTRA	348.10				
SEGUNDO METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 405.3 gr)					
# 4	1.20	1.20	0.30%	99.70%	
# 10	15.30	16.50	4.07%	95.93%	
# 40	147.60	164.10	40.49%	59.51%	
# 100	112.50	276.60	68.25%	31.75%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	54.80	331.40	81.77%	18.23%	
FUENTE	73.90		18.23%		
TOTAL DE MUESTRA	405.30				
TERCER METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 283.4 gr)					
# 4	0.10	0.10	0.04%	99.96%	
# 10	6.50	6.60	2.33%	97.67%	
# 40	98.60	105.20	37.12%	62.88%	
# 100	88.90	194.10	68.49%	31.51%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	29.70	223.80	78.97%	21.03%	
FUENTE	59.60		21.03%		
TOTAL DE MUESTRA	283.40				

Elaboración: Wilson Gavilanez

De la Tabla 19 se observa que, en cada metro de muestra ensayada, más del 50% de la muestra de suelo pasa el tamiz N # 4, correspondiendo a un suelo de grano grueso, así también menos del 50% pasa el tamiz N # 200 correspondiendo a un suelo de partículas muy finas; por lo cual se determina que el tipo de suelo es arena limosa (SM).

Tabla 20. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-3

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
PUNTO N - 3 DE SPT					
UBICACIÓN: Calle Camilo Ponce Enríquez y Placido Camaño					
TAMIZ #	**PESO RET. PARCIAL (gr)**	**PESO RET. /ACUM. (gr)**	**% RETENIDO**	**% QUE PASA**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**
PRIMER METRO (PESO TOTAL = 319.7 gr)					
# 4	0.70	0.70	0.22%	99.78%	
# 10	4.80	5.50	1.72%	98.28%	
# 40	105.30	110.80	34.66%	65.34%	
# 100	98.70	209.50	65.53%	34.47%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	42.10	251.60	78.70%	21.30%	
FUENTE		68.10	21.30%		
TOTAL DE MUESTRA		319.70			
SEGUNDO METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 267.3 gr)					
# 4	1.30	1.30	0.49%	99.51%	
# 10	7.60	8.90	3.33%	96.67%	
# 40	94.50	103.40	38.68%	61.32%	
# 100	58.90	162.30	60.72%	39.28%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	36.20	198.50	74.26%	25.74%	
FUENTE		68.80	25.74%		
TOTAL DE MUESTRA		267.30			
TERCER METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 339.3 gr)					
# 4	0.00	0.00	0.00%	100.00%	
# 10	3.90	3.90	1.15%	98.85%	
# 40	147.30	151.20	44.56%	55.44%	
# 100	78.90	230.10	67.82%	32.18%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	56.70	286.80	84.53%	15.47%	
FUENTE		52.50	15.47%		
TOTAL DE MUESTRA		339.30			

Elaboración: Wilson Gavilanez

De la Tabla 20 se observa que, en cada metro de muestra ensayada, más del 50% de la muestra de suelo pasa el tamiz N # 4, correspondiendo a un suelo de grano grueso, así también menos del 50% pasa el tamiz N # 200 correspondiendo a un suelo de partículas muy finas; por lo cual se determina que el tipo de suelo es arena limosa (SM).

Tabla 21. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-4

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
PUNTO N - 4 DE SPT					
UBICACIÓN: Calle Víctor Hugo y Rio Coca					
TAMIZ #	**PESO RET. PARCIAL (gr)**	**PESO RET. /ACUM. (gr)**	**% RETENIDO**	**% QUE PASA**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**
PRIMER METRO (PESO TOTAL = 351.7 gr)					
# 4	17.80	17.80	5.06%	94.94%	
# 10	24.60	42.40	12.06%	87.94%	
# 40	58.90	101.30	28.80%	71.20%	
# 100	78.40	179.70	51.09%	48.91%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	37.20	216.90	61.67%	38.33%	
FUENTE		134.80	38.33%		
TOTAL DE MUESTRA		351.70			
SEGUNDO METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 327.8 gr)					
# 4	19.30	19.30	5.89%	94.11%	
# 10	28.60	47.90	14.61%	85.39%	
# 40	51.10	99.00	30.20%	69.80%	
# 100	79.10	178.10	54.33%	45.67%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	27.50	205.60	62.72%	37.28%	
FUENTE		122.20	37.28%		
TOTAL DE MUESTRA		327.80			
TERCER METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 451.2 gr)					
# 4	28.90	28.90	6.41%	93.59%	
# 10	21.60	50.50	11.19%	88.81%	
# 40	89.20	139.70	30.96%	69.04%	
# 100	94.70	234.40	51.95%	48.05%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	41.40	275.80	61.13%	38.87%	
FUENTE		175.40	38.87%		
TOTAL DE MUESTRA		451.20			

Elaboración: Wilson Gavilanez

De la Tabla 21 se observa que, en cada metro de muestra ensayada, más del 50% de la muestra de suelo pasa el tamiz N # 4, correspondiendo a un suelo de grano grueso, así también menos del 50% pasa el tamiz N # 200 correspondiendo a un suelo de partículas muy finas; por lo cual se determina que el tipo de suelo es arena limosa (SM).

Tabla 22. Ensayo de Granulometría y clasificación SUCS del Punto N-5

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA					
PUNTO N - 5 DE SPT					
UBICACIÓN: Calle G. Córdova y Antonio Borrero					
TAMIZ #	**PESO RET. PARCIAL (gr)**	**PESO RET. /ACUM. (gr)**	**% RETENIDO**	**% QUE PASA**	**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**
PRIMER METRO (PESO TOTAL = 207.1 gr)					
# 4	7.50	7.50	3.62%	96.38%	
# 10	14.60	22.10	10.67%	89.33%	
# 40	34.80	56.90	27.47%	72.53%	
# 100	49.70	106.60	51.47%	48.53%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	23.60	130.20	62.87%	37.13%	
FUENTE		76.90	37.13%		
TOTAL DE MUESTRA		207.10			
SEGUNDO METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 223.4 gr)					
# 4	6.40	6.40	2.86%	97.14%	
# 10	19.50	25.90	11.59%	88.41%	
# 40	43.20	69.10	30.93%	69.07%	
# 100	79.60	148.70	66.56%	33.44%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	45.60	194.30	86.97%	13.03%	
FUENTE		29.10	13.03%		
TOTAL DE MUESTRA		223.40			
TERCER METRO DE MUESTRA (PESO TOTAL = 379.3 gr)					
# 4	15.90	15.90	4.55%	95.45%	
# 10	29.70	45.60	13.05%	86.95%	
# 40	68.00	113.60	32.52%	67.48%	
# 100	87.40	201.00	57.54%	42.46%	**SM** (ARENA LIMOSA)
# 200	71.30	272.30	77.96%	22.04%	
FUENTE		77.00	22.04%		
TOTAL DE MUESTRA		349.30			

Elaboración: Wilson Gavilanez

De la Tabla 22 se observa que, en cada metro de muestra ensayada, más del 50% de la muestra de suelo pasa el tamiz N # 4, correspondiendo a un suelo de grano grueso, así también menos del 50% pasa el tamiz N # 200 correspondiendo a un suelo de partículas muy finas; por lo cual se determina que el tipo de suelo es arena limosa (SM).

C. DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DE MOMENTO

Empleando la ecuación planteada por Wells y Coppersmith se obtiene el valor de la magnitud de momento Mw:

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

(Ec. 1)

Tabla 23. Magnitud de Momentos de las fallas analizadas

FALLAS GEOLÓGICAS CERCANAS AL ÁREA EN ESTUDIO						
CÓDIGO	**NOMBRE DE LA FALLA**	**TIPO**	**COEFICIENTES**		**SRL LONGITUD (KM)**	**MAGNITUD DE MOMENTO (Mw)**
			a	**b**		
EC-223	Subducción	Inversa	5.00	1.22	1536.49	8.89
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega			12.04	6.32
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega			16.30	6.48
EC-345	Totoras	Transcúrrete I.C.			17.65	6.52

Elaboración: Wilson Gavilanez

D. VELOCIDAD MEDIA DE ONDA CORTANTE ($Vs30$)

Al realizar los ensayos de suelo se determinó según la clasificación SUCS, que el suelo del área de estudio es de tipo **SM** clasificándole como una arena limosa mal graduada. Para el cálculo de la velocidad de onda se tomó las siguientes 16 formulas.

Tabla 24. Ecuaciones para cálculo de la velocidad de onda de corte Vs30

INVESTIGADORES	AÑO	ECUACIÓN ARENA (m/s)
SHIBATA	1970	$Vs = 31.7 * N^{0.54}$
OHTA et al.	1972	$Vs = 87.2 * N^{0.36}$
IMAI	1977	$Vs = 80.6 * N^{0.331}$
SEED et al.	1983	$Vs = 56.4 * N^{0.5}$
SYKORA Y STOKOE	1983	$Vs = 100.5 * N^{0.29}$
FUMAL Y TINSLEY	1985	$Vs = 152 + 5.1 * N^{0.27}$
OKAMOTO et al.	1989	$Vs = 125 * N^{0.3}$
LEE	1990	$Vs = 57.4 * N^{0.49}$
PITILAKIS et al.	1992	$Vs = 162 * N^{0.17}$
RAPTAKIS et al.	1995	$Vs = 100 * N^{0.24}$
KAYABALI	1996	$Vs = 175 + 3.75 * N$
PITILAKIS et al.	1999	$Vs = 145 * N^{0.178}$
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 90.82 * N^{0.319}$
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 131 * N^{0.205}$
DIKMEN	2009	$Vs = 73 * N^{0.33}$
UMA MAHESHARI et al.	2010	$Vs = 100.53 * N^{0.265}$

Elaboración: Wilson Gavilanez

Posteriormente se presentan los valores de V_{S30} calculados para cada pozo con las ecuaciones de la tabla 24. Y para una correcta selección del valor V_{S30}, es necesario determinar la media aritmética, la desviación estándar, la distribución normal y por último se va generar la campana de Gauss.

Tabla 25. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el primer pozo

ENSAYO PUNTO N-1 DE SPT				
UBICACIÓN: Av. Rumiñahui y calles los Shyris				
INVESTIGADORES	**AÑO**	**ECUACIÓN**	**N(SPT) SPT**	**RESULTADO (m/s)**
SHIBATA	1970	$Vs = 31.7 * N^{0.54}$	**35.17**	216.77
OHTA	1972	$Vs = 87.2 * N^{0.36}$		314.15
IMAI	1977	$Vs = 80.6 * N^{0.331}$		261.89
SEED	1983	$Vs = 56.4 * N^{0.5}$		334.48
SYKORA Y STOKOE	1983	$Vs = 100.5 * N^{0.29}$		282.20
FUMAL Y TINSLEY	1985	$Vs = 152 + 5.1 * N^{0.27}$		165.34
OKAMOTO	1989	$Vs = 125 * N^{0.3}$		363.72
LEE	1990	$Vs = 57.4 * N^{0.49}$		326.21
PITILAKIS	1992	$Vs = 162 * N^{0.17}$		296.73
RAPTAKIS	1995	$Vs = 100 * N^{0.24}$		235.01
KAYABALI	1996	$Vs = 175 + 3.75 * N$		306.89
PITILAKIS	**1999**	$\boldsymbol{Vs = 145 * N^{0.178}}$		**273.27**
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 90.82 * N^{0.319}$		282.76
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 131 * N^{0.205}$		271.79
DIKMEN	2009	$Vs = 73 * N^{0.33}$		236.35
UMA MAHESHARI	2010	$Vs = 100.53 * N^{0.265}$		258.24
VALOR DE Vs SELECCIONADO				**273.27**

Elaboración: Wilson Gavilanez

- **Media Aritmética**

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N}$$

(Ec. 2)

$$\bar{x} = \frac{216.77 + 314.15 + 261.89 + 334.48 + 282.20 + 165.34 + 363.72 + 326.21 + 296.73 + 235.01 + 306.89 + 273.27 + 282.76 + 271.79 + 236.35 + 258.24}{16}$$

$$\bar{x} = 276.61$$

- **La Desviación Estándar**

.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

(Ec. 3)

Para la obtencion de la desviacion estandar primero determinamos el valor de $(x - \bar{x})^2$ de todo el conjunto de datos, como muestra del primer ejemplo tenemos los siguiente.

$$x = 216.77$$

$$(x - \bar{x})^2 = (216.77 - 276.61)^2$$

$$(x - \bar{x})^2 = 12382.15$$

A continuación, se muestra la tabla con todos los valores del conjunto.

Tabla 26. Cálculo $(x - \bar{x})^2$ del conjunto de datos

DATOS x	**MEDIA**	$(\boldsymbol{x - \bar{x}})^{\mathbf{2}}$
165.34	276.61	12382.15
216.77		3581.41
235.01		1730.91
236.35		1620.80
258.24		337.34
261.89		216.74
271.79		23.23
273.27		11.19
282.20		31.22
282.76		37.74
296.73		404.83
306.89		916.64
314.15		1409.22
326.21		2460.17
334.48		3348.33
363.72		7587.10

Elaboración: Wilson Gavilanez

Después se procede a calcular la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{12382.15 + 3581.41 + 1730.91 + 1620.80 + 337.34 + 216.74 + 23.23 + 11.19 \\ +31.22 + 37.74 + 404.83 + 916.64 + 1409.22 + 2460.17 + 3348.33 + 7587.10}{16 - 1}}$$

$$S = 49.06$$

- **La Distribución Normal**

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{S}$$

(Ec. 4)

Para determinar el valor de la distribución normal se aplica la formula (Ec. 30) de todo el conjunto de datos y se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 27. Cuadro resumen para la obtención de la distribución normal

DATOS x	MEDIA $\bar{x}$	DESVIACIÓN ESTANDAR S	Z
165.34	276.61	49.06	-2.268
216.77			-1.220
235.01			-0.848
236.35			-0.821
258.24			-0.374
261.89			-0.300
271.79			-0.098
273.27			-0.068
282.20			0.114
282.76			0.125
296.73			0.410
306.89			0.617
314.15			0.765
326.21			1.011
334.48			1.180
363.72			1.776

Elaboración: Wilson Gavilanez

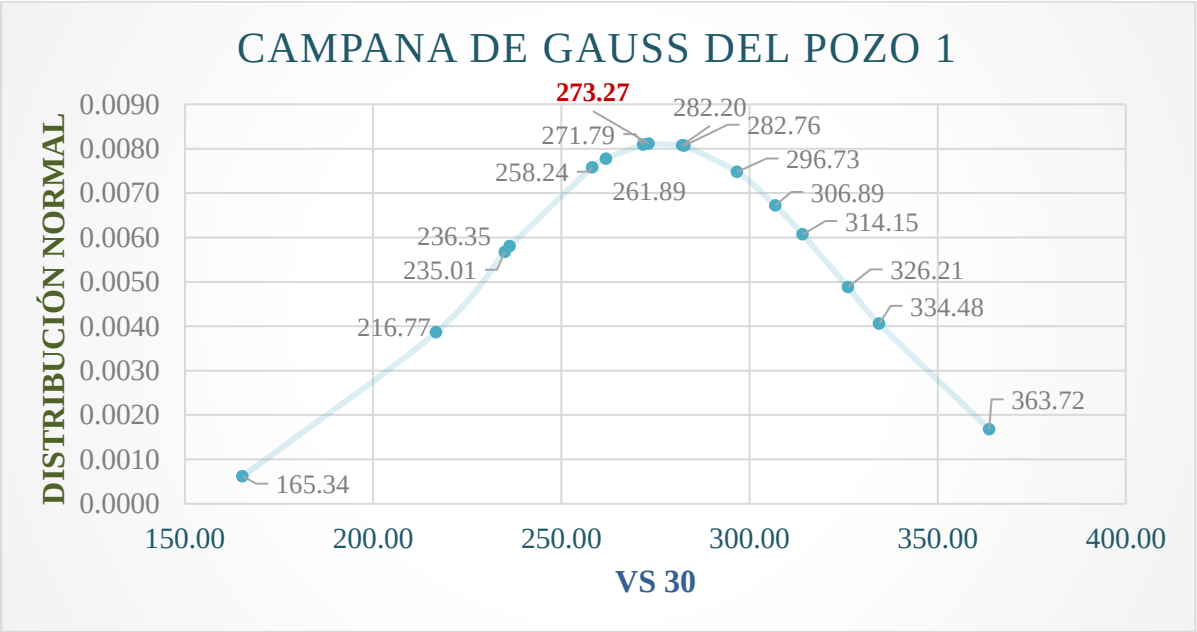
Con el valor z entramos a una tabla de probabilidad de la normal estándar y obtenemos los valores de las ordenadas de la campana de Gauss a continuación tenemos la tabla de la distribución normal.

Tabla 28. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 1

Vs30	DISTRIBUCIÓN NORMAL	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR
165.34	0.000621	276.61	49.06
216.77	0.003864		
235.01	0.005676		
236.35	0.005807		
258.24	0.007582		
261.89	0.007774		
271.79	0.008093		
273.27	0.008113		
282.20	0.008080		
282.76	0.008069		
296.73	0.007476		
306.89	0.006722		
314.15	0.006068		
326.21	0.004878		
334.48	0.004056		
363.72	0.001681		

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 8. Valor Vs30 seleccionado del pozo 1



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la perforación del pozo 1 ubicado en las calles Av. Rumiñahui y calles los Shyris, se escogió un valor intermedio de $\boldsymbol{VS30 = 273.27\ m/s}$ el mismo que corresponde a la ecuación propuesta por los investigadores PITILAKIS en el año 1999.

Tabla 29. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el segundo pozo

ENSAYO PUNTO N-2 DE SPT				
UBICACIÓN: Av. Rumiñahui y Av. Pichincha				
INVESTIGADORES	**AÑO**	**ECUACIÓN**	**N(SPT) SPT**	**RESULTADO (m/s)**
SHIBATA	1970	$Vs = 31.7 * N^{0.54}$	36.33	220.60
OHTA	1972	$Vs = 87.2 * N^{0.36}$		317.84
IMAI	1977	$Vs = 80.6 * N^{0.331}$		264.72
SEED	1983	$Vs = 56.4 * N^{0.5}$		339.95
SYKORA Y STOKOE	1983	$Vs = 100.5 * N^{0.29}$		284.87
FUMAL Y TINSLEY	1985	$Vs = 152 + 5.1 * N^{0.27}$		165.45
OKAMOTO	1989	$Vs = 125 * N^{0.3}$		367.27
LEE	1990	$Vs = 57.4 * N^{0.49}$		331.44
PITILAKIS	1992	$Vs = 162 * N^{0.17}$		298.37
RAPTAKIS	1995	$Vs = 100 * N^{0.24}$		236.84
KAYABALI	1996	$Vs = 175 + 3.75 * N$		311.24
PITILAKIS	**1999**	$\boldsymbol{Vs = 145 * N^{0.178}}$		**274.85**
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 90.82 * N^{0.319}$		285.70
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 131 * N^{0.205}$		273.61
DIKMEN	2009	$Vs = 73 * N^{0.33}$		238.90
UMA MAHESHARI	2010	$Vs = 100.53 * N^{0.265}$		260.47
VALOR DE Vs SELECCIONADO				**274.85**

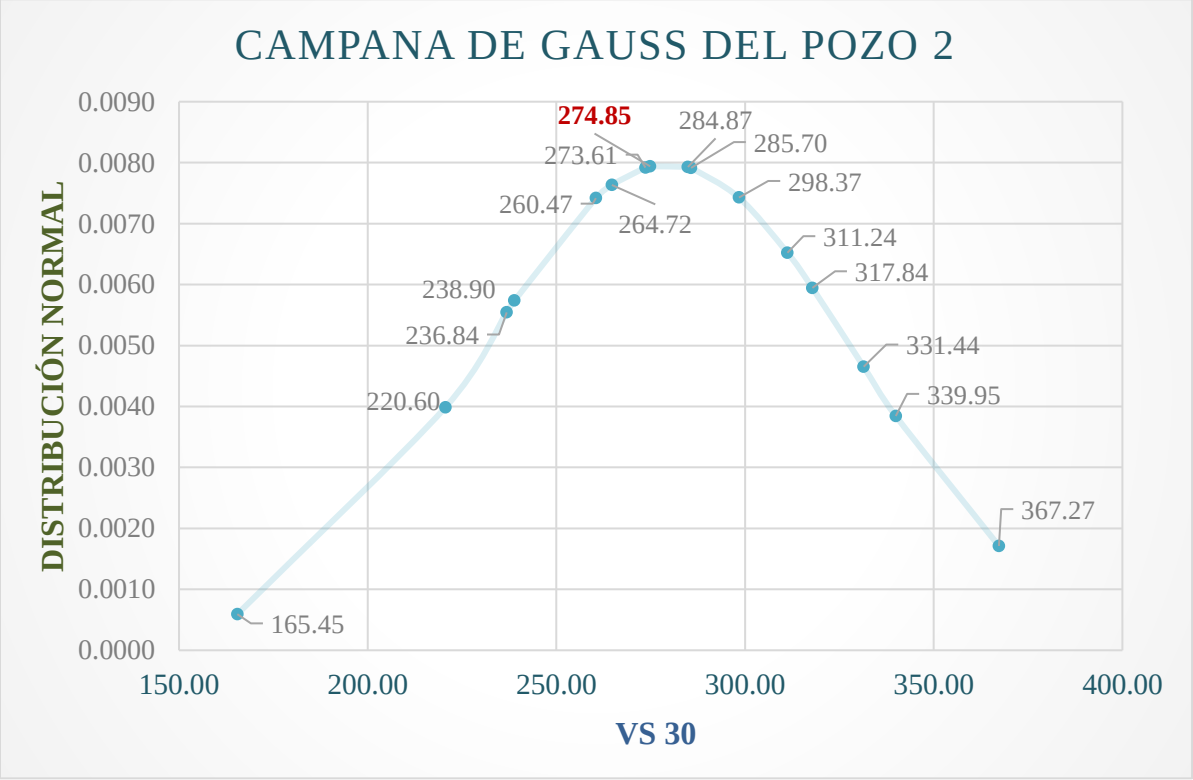
Elaboración: Wilson Gavilanez

Tabla 30. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 2

Vs30	DISTRIBUCIÓN NORMAL	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR
165.45	0.000593		
220.60	0.003987		
236.84	0.005544		
238.90	0.005736		
260.47	0.007418		
264.72	0.007634		
273.61	0.007920		
274.85	0.007940	279.51	50.03
284.87	0.007929		
285.70	0.007914		
298.37	0.007427		
311.24	0.006522		
317.84	0.005946		
331.44	0.004653		
339.95	0.003844		
367.27	0.001711		

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 9. Valor Vs30 seleccionado del pozo 2



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la perforación del pozo 2 ubicado en las calles Av. Rumiñahui y Av. Pichincha, se escogió un valor intermedio de $\boldsymbol{VS30 = 274.85\ m/s}$ el mismo que corresponde a la ecuación propuesta por los investigadores PITILAKIS en el año 1999.

Tabla 31. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el tercer pozo

ENSAYO PUNTO N-3 DE SPT				
UBICACIÓN: Calle Camilo Ponce Enríquez y Placido Camaño				
INVESTIGADORES	**AÑO**	**ECUACIÓN**	**N(SPT) SPT**	**RESULTADO (m/s)**
SHIBATA	1970	$Vs = 31.7 * N^{0.54}$	38	226.02
OHTA	1972	$Vs = 87.2 * N^{0.36}$		323.03
IMAI	1977	$Vs = 80.6 * N^{0.331}$		268.68
SEED	1983	$Vs = 56.4 * N^{0.5}$		347.67
SYKORA Y STOKOE	**1983**	$\boldsymbol{Vs = 100.5 * N^{0.29}}$		**288.60**
FUMAL Y TINSLEY	1985	$Vs = 152 + 5.1 * N^{0.27}$		165.62
OKAMOTO	1989	$Vs = 125 * N^{0.3}$		372.26
LEE	1990	$Vs = 57.4 * N^{0.49}$		338.82
PITILAKIS	1992	$Vs = 162 * N^{0.17}$		300.66
RAPTAKIS	1995	$Vs = 100 * N^{0.24}$		239.41
KAYABALI	1996	$Vs = 175 + 3.75 * N$		317.50
PITILAKIS	1999	$Vs = 145 * N^{0.178}$		277.06
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 90.82 * N^{0.319}$		289.82
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 131 * N^{0.205}$		276.14
DIKMEN	2009	$Vs = 73 * N^{0.33}$		242.47
UMA MAHESHARI	2010	$Vs = 100.53 * N^{0.265}$		263.60
VALOR DE Vs SELECCIONADO				**288.60**

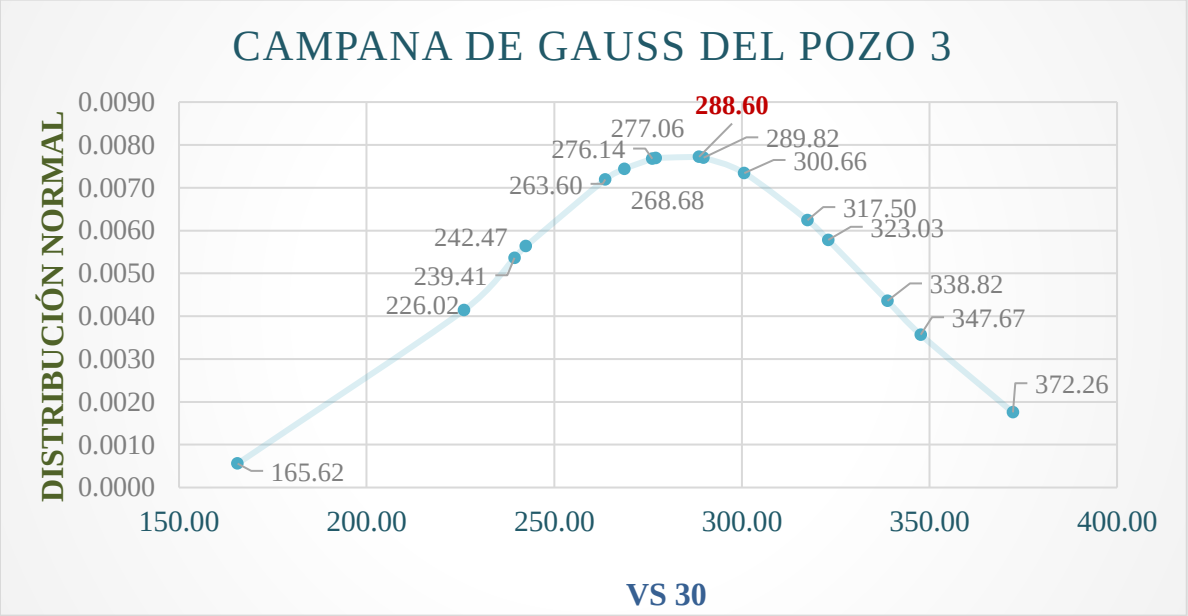
Elaboración: Wilson Gavilanez

Tabla 32. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 3

Vs30	**DISTRIBUCIÓN NORMAL**	**MEDIA**	**DESVIACIÓN ESTANDAR**
165.62	0.000559	283.58	51.43
226.02	0.004146		
239.41	0.005364		
242.47	0.005635		
263.60	0.007193		
268.68	0.007438		
276.14	0.007676		
277.06	0.007695		
288.60	0.007720		
289.82	0.007700		
300.66	0.007341		
317.50	0.006241		
323.03	0.005781		
338.82	0.004357		
347.67	0.003569		
372.26	0.001755		

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 10. Valor Vs30 seleccionado del pozo 3



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la perforación del pozo 3 ubicado en las calles Calle Camilo Ponce Enríquez y Placido Camaño, se escogió un valor intermedio de $\boldsymbol{VS30 = 288.60\ m/s}$ el mismo que corresponde a la ecuación propuesta por los investigadores SYKORA Y STOKOE en el año 1983.

Tabla 33. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el cuarto pozo

ENSAYO PUNTO N-4 DE SPT				
UBICACIÓN: Calle Víctor Hugo y Rio Coca				
INVESTIGADORES	**AÑO**	**ECUACIÓN**	**N(SPT) SPT**	**RESULTADO (m/s)**
SHIBATA	1970	$Vs = 31.7 * N^{0.54}$	47.17	254.00
OHTA	1972	$Vs = 87.2 * N^{0.36}$		349.17
IMAI	1977	$Vs = 80.6 * N^{0.331}$		288.61
SEED	1983	$Vs = 56.4 * N^{0.5}$		387.36
SYKORA Y STOKOE	**1983**	$\boldsymbol{Vs = 100.5 * N^{0.29}}$		**307.28**
FUMAL Y TINSLEY	1985	$Vs = 152 + 5.1 * N^{0.27}$		166.44
OKAMOTO	1989	$Vs = 125 * N^{0.3}$		397.20
LEE	1990	$Vs = 57.4 * N^{0.49}$		376.68
PITILAKIS	1992	$Vs = 162 * N^{0.17}$		311.92
RAPTAKIS	1995	$Vs = 100 * N^{0.24}$		252.16
KAYABALI	1996	$Vs = 175 + 3.75 * N$		351.89
PITILAKIS	1999	$Vs = 145 * N^{0.178}$		287.93
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 90.82 * N^{0.319}$		310.51
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 131 * N^{0.205}$		288.65
DIKMEN	2009	$Vs = 73 * N^{0.33}$		260.39
UMA MAHESHARI	2010	$Vs = 100.53 * N^{0.265}$		279.14
VALOR DE Vs SELECCIONADO				**307.28**

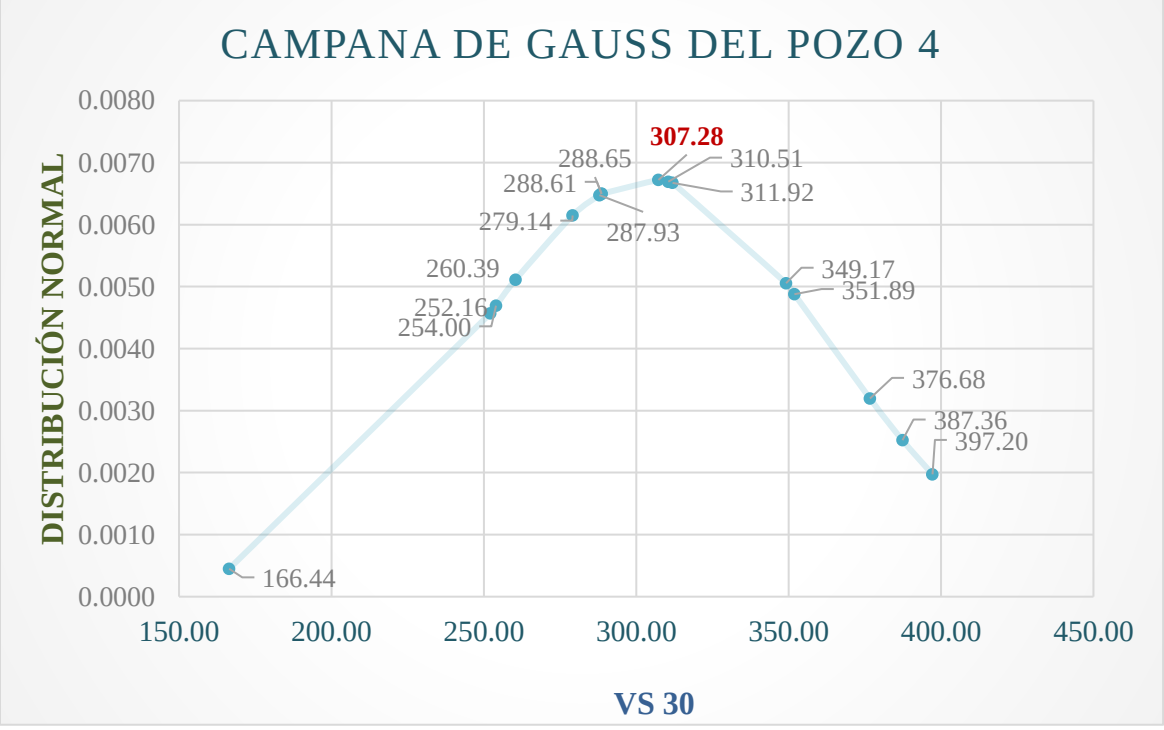
Elaboración: Wilson Gavilanez

Tabla 34. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 4

Vs30	DISTRIBUCIÓN NORMAL	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR
166.44	0.000450		
252.16	0.004569		
254.00	0.004693		
260.39	0.005113		
279.14	0.006148		
287.93	0.006476		
288.61	0.006497		
288.65	0.006498	304.33	59.29
307.28	0.006721		
310.51	0.006692		
311.92	0.006674		
349.17	0.005055		
351.89	0.004878		
376.68	0.003196		
387.36	0.002524		
397.20	0.001973		

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 11. Valor Vs30 seleccionado del pozo 4



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la perforación del pozo 4 ubicado en las calles Calle Camilo Ponce Enríquez y Placido Camaño, se escogió un valor intermedio de $\boldsymbol{VS30 = 307.28\ m/s}$ el mismo que corresponde a la ecuación propuesta por los investigadores SYKORA Y STOKOE en el año 1983.

Tabla 35. Cálculo del $\boldsymbol{VS30}$ para el quinto pozo

ENSAYO PUNTO N-5 DE SPT				
UBICACIÓN: Calle G. Córdova y Antonio Borrero				
INVESTIGADORES	**AÑO**	**ECUACIÓN**	**N(SPT) SPT**	**RESULTADO (m/s)**
SHIBATA	1970	$Vs = 31.7 * N^{0.54}$		245.63
OHTA	1972	$Vs = 87.2 * N^{0.36}$		341.45
IMAI	1977	$Vs = 80.6 * N^{0.331}$		282.74
SEED	1983	$Vs = 56.4 * N^{0.5}$		375.52
SYKORA Y STOKOE	**1983**	$\boldsymbol{Vs = 100.5 * N^{0.29}}$		**301.79**
FUMAL Y TINSLEY	1985	$Vs = 152 + 5.1 * N^{0.27}$		166.20
OKAMOTO	1989	$Vs = 125 * N^{0.3}$		389.87
LEE	1990	$Vs = 57.4 * N^{0.49}$	**44.33**	365.39
PITILAKIS	1992	$Vs = 162 * N^{0.17}$		308.64
RAPTAKIS	1995	$Vs = 100 * N^{0.24}$		248.43
KAYABALI	1996	$Vs = 175 + 3.75 * N$		341.24
PITILAKIS	1999	$Vs = 145 * N^{0.178}$		284.76
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 90.82 * N^{0.319}$		304.42
HASANCEBI Y ULUSAY	2006	$Vs = 131 * N^{0.205}$		285.00
DIKMEN	2009	$Vs = 73 * N^{0.33}$		255.11
UMA MAHESHARI	2010	$Vs = 100.53 * N^{0.265}$		274.58
VALOR DE Vs SELECCIONADO				**301.79**

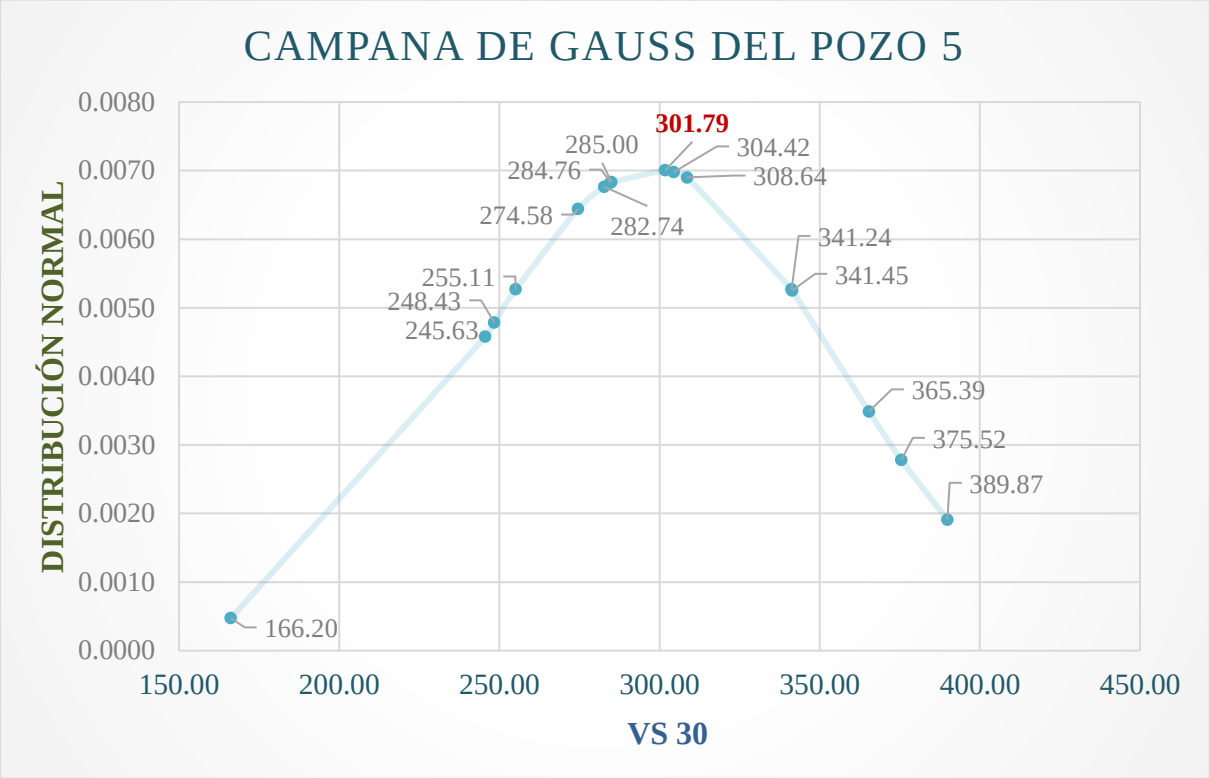
Elaboración: Wilson Gavilanez

Tabla 36. Vs30 y Distribución Normal del Pozo 5

Vs30	**DISTRIBUCIÓN NORMAL**	**MEDIA**	**DESVIACIÓN ESTANDAR**
166.20	0.000474	298.17	56.83
245.63	0.004578		
248.43	0.004786		
255.11	0.005268		
274.58	0.006440		
282.74	0.006765		
284.76	0.006827		
285.00	0.006833		
301.79	0.007005		
304.42	0.006977		
308.64	0.006901		
341.24	0.005268		
341.45	0.005253		
365.39	0.003488		
375.52	0.002781		
389.87	0.001910		

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 12. Valor Vs30 seleccionado del pozo 5



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la perforación del pozo 4 ubicado en las calles Calle Camilo Ponce Enríquez y Placido Camaño, se escogió un valor intermedio de $\boldsymbol{VS30 = 301.79\ m/s}$ el mismo que corresponde a la ecuación propuesta por los investigadores SYKORA Y STOKOE en el año 1983.

Tabla 37. Resumen de valores Vs 30

VELOCIDAD DE ONDA CORTANTE Vs30					
POZO #	**UBICACIÓN**	**N (SPT)**	**TIPO DE PERFIL**	**Vs30(m/s)**	**Vs30(m/s) Promedio**
1	Av. Rumiñahui y calles los Shyris	35,17	D	273.27	289.16
2	Av. Rumiñahui y Av. Pichincha	36,33	D	274.85	
3	Calle Camilo Ponce Enríquez y Placido Camaño	38,00	D	288.60	
4	Calle Víctor Hugo y Rio Coca	47,17	D	307.28	
5	Calle G. Córdova y Antonio Borrero	44,33	D	301.79	

Elaboración: Wilson Gavilanez

En la tabla 37 nos indica los valores obtenidos del Vs30 ocupando ecuaciones para el tipo de suelo arenoso, las cuales al ser comparadas con los valores de Vs30 expuestos en la Norma Ecuatoria de la Construcción nos indican que corresponden al perfil de suelo D con un rango

de 360m/s> Vs >180m/s y el valor promedio encontrado en base a las correlaciones es de 289.16 m/s y representa la velocidad de onda cortante de la zona de estudio.

E. ECUACIONES DE ATENUACIÓN EN FALLAS CORTICALES INTRAPLACAS

Para los sismos corticales superficiales se hace su estudio a una profundidad ≤ 30km y las ecuaciones a ocupar son las siguientes:

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

1) Modelo Kanno ET AL. (2006)

Para este modelo se escoge la ecuación de falla cortical con una profundidad ≤ 30 Km.

Si D ≤ 30 Km

$$\boldsymbol{log\ pre = a1Mw + b1x - log\ (X + d1 * 10^{e1Mw}) + c1 + \varepsilon 1}$$

(Ec. 5)

Dónde:

D: Profundidad Focal

a, b, c, d: Coeficientes

Mw: Magnitud de momento

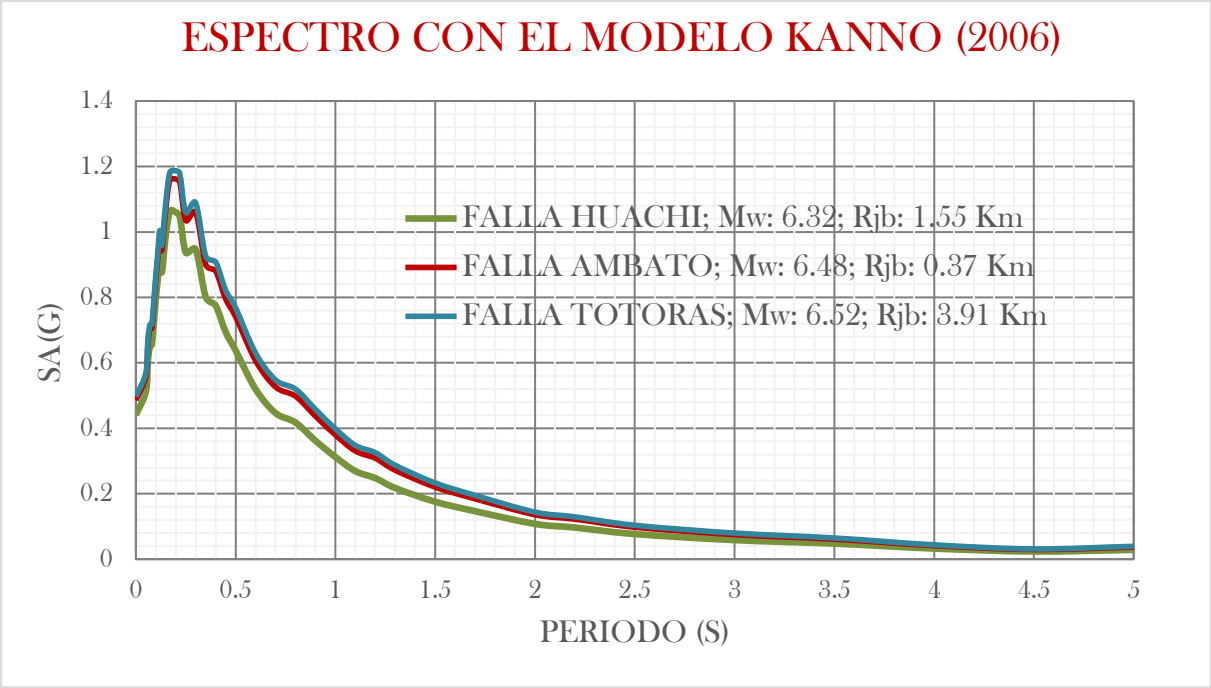
X: Distancia de la fuente

Tabla 38. Valores para los espectros del Modelo Kanno ET AL. (2006)

Datos	Rangos	Fallas		
		Ambato	Totoras	Huachi
Magnitud de momento (Mw)	>5,5	6.48	6.52	6.32
Distancia Rjb en Km		0.39	3.88	1.6
X	< 25 Km		6	
Vs30 (m/s)			289.16	
D (Km)			15	
e1			0.5	
Los coeficientes utilizados a1, b1, c1, d1, E1 están en el anexo 4				

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 13. Espectros de las fallas ocupando el Modelo Kanno (2006)



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 13 se puede concluir que el espectro que presenta una mayor aceleración es el que se encuentra en la falla de Totoras con una aceleración de 1.187 g en un periodo de 0.2 segundos, después se ubica la falla de Ambato con una aceleración de 1.161 g en 0.2 segundo y último está la falla de Huachi con una aceleración de 1.063 g en 0.17 segundos.

2) Modelo Boore y Atkinson (2008)

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

(Ec. 7)

Donde:

FM, D, S: Coeficientes

M: Magnitud de momento

RJB: Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio

VS30: Velocidad media de la onda de cortante

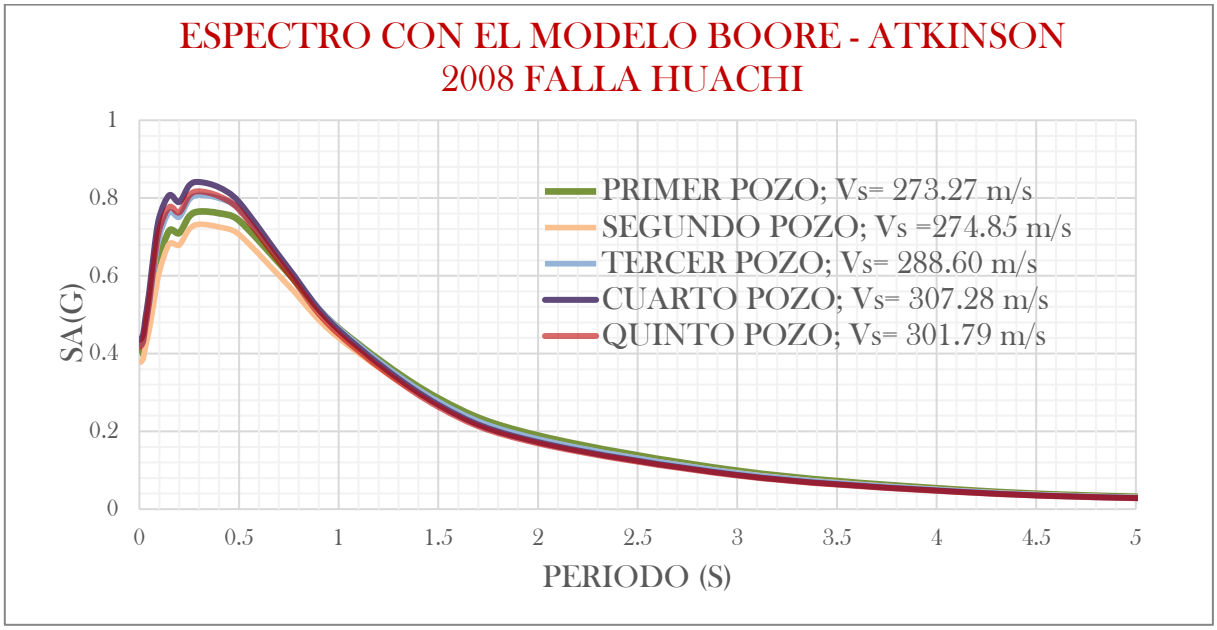
Tabla 39. Valores para los espectros del Modelo Boore y Atkinson (2008)

Datos	Rangos	Fallas		
		Ambato	Totoras	Huachi
Magnitud de momento (Mw)	>5,5	6.48	6.52	6.32
Distancia Rjb en Km	Punto N-1	0.34	4.28	1.51
	Punto N-2	0.84	3.85	2.02
	Punto N-3	0.37	3.91	1.55
	Punto N-4	0.27	3.87	1.51
	Punto N-5	0.58	3.56	1.81
Vs30 (m/s)	Punto N-1	273.27		
	Punto N-2	274.85		
	Punto N-3	288.60		
	Punto N-4	307.28		
	Punto N-5	301.79		
Rref en Km		1		
Mref		4.50		
Vref (m/s)		760		
e1		0.5		
Tipo de Falla	Falla Inversa U = 0, SS = 0, NS = 0, RS = 1			
Constantes	a1 = 0,03, a2 = 0,09, pga_low = 0,06, V1 = 180 m/s, V2 = 300m/s			
Los coeficientes blin, b1, b2, c1, c2, c3, h, e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7y Mh				
Anexo 5.1., 5.2. y 5.3.				

Elaboración: Wilson Gavilanez

En las siguientes figuras vamos apreciar los espectros de la falla de Huachi sacados mediante los resultados de velocidades de corte de cada punto donde se realizó el ensayo de SPT.

Figura 14. Espectros de aceleración ocupando el Modelo Boore y Atkinson (2008), Falla Huachi



Elaboración: Wilson Gavilanez

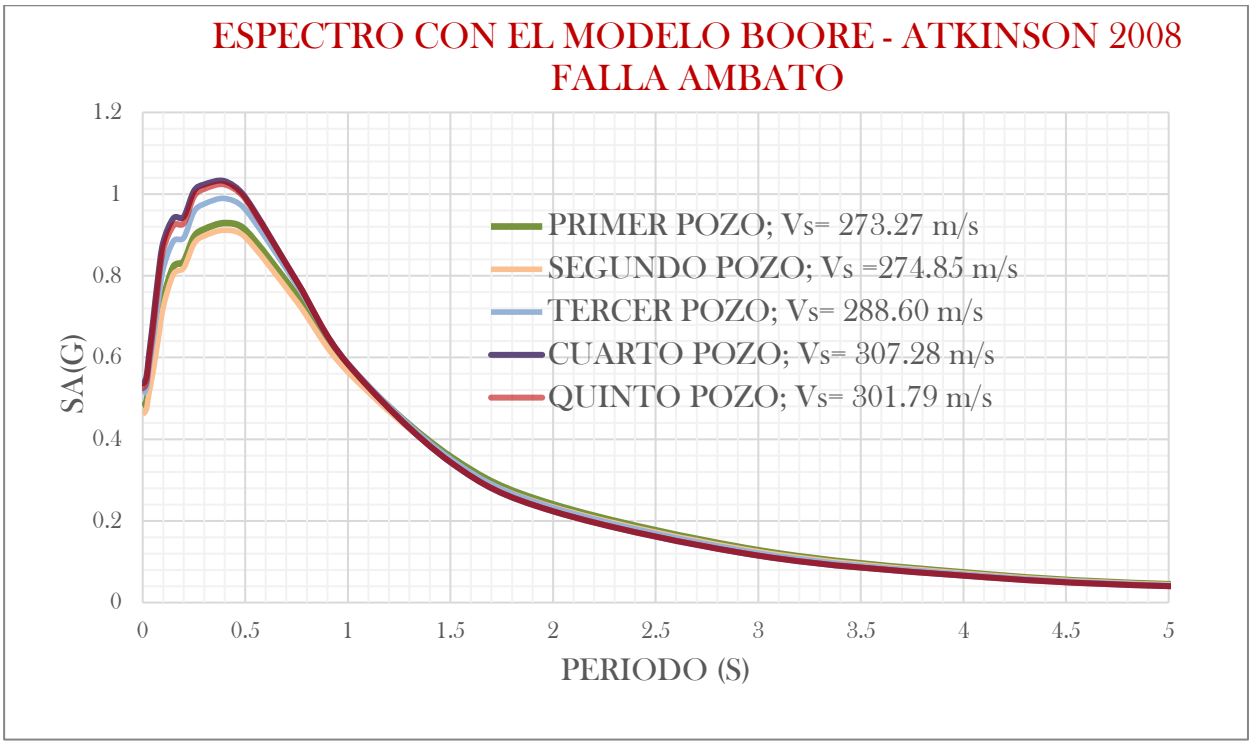
En la Figura 14 se puede visualizar espectro obtenido en el cuarto pozo genera una aceleración mayor, en relación a los otros pozos ya que depende de la magnitud de momento, distancia y de la velocidad cortante.

Tabla 40. Resumen de los valores de aceleraciones máximas empleando el modelo Boore y Atkinson de la falla de Huachi

POZO	ACELERACIÓN MÁXIMA	PERIODO (s)
Punto N-1	0.765	0.300
Punto N-2	0.732	0.300
Punto N-3	0.807	0.300
Punto N-4	0.841	0.300
Punto N-5	0.817	0.300

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 15. Espectros de aceleración ocupando el Modelo Boore y Atkinson (2008), Falla Ambato



Elaboración: Wilson Gavilanez

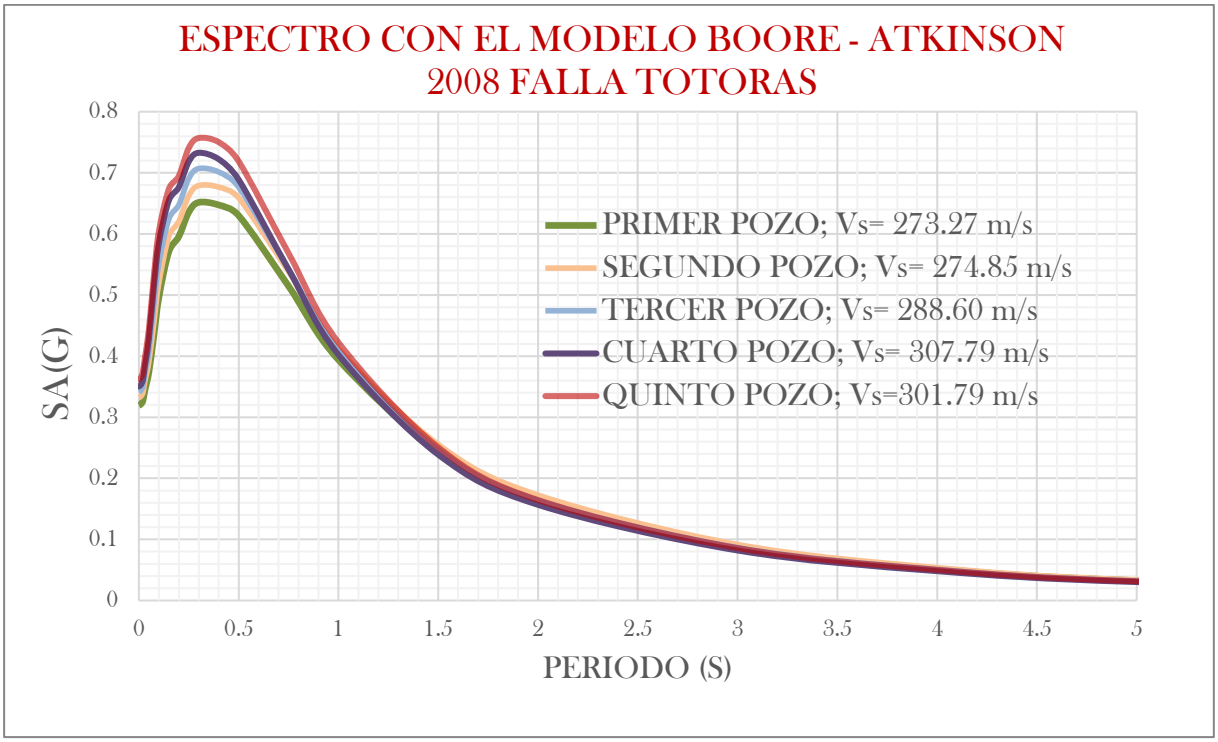
En la Figura 15 se puede visualizar espectro obtenido en el cuarto pozo y quinto pozo genera una aceleración mayor, en relación a los otros pozos ya que depende de la magnitud de momento, distancia y de la velocidad cortante.

Tabla 41. Resumen de los valores de aceleraciones máximas empleando el modelo Boore y Atkinson de la falla de Ambato

POZO	ACELERACIÓN MÁXIMA	PERIODO (s)
Punto N-1	0.929	0.400
Punto N-2	0.912	0.400
Punto N-3	0.989	0.400
Punto N-4	1.032	0.400
Punto N-5	1.024	0.400

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 16. Espectros de aceleración ocupando el Modelo Boore y Atkinson (2008), Falla Totoras



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 16 se puede visualizar espectro obtenido en el quinto pozo genera una aceleración mayor, en relación a los otros pozos ya que depende de la magnitud de momento, distancia y de la velocidad cortante.

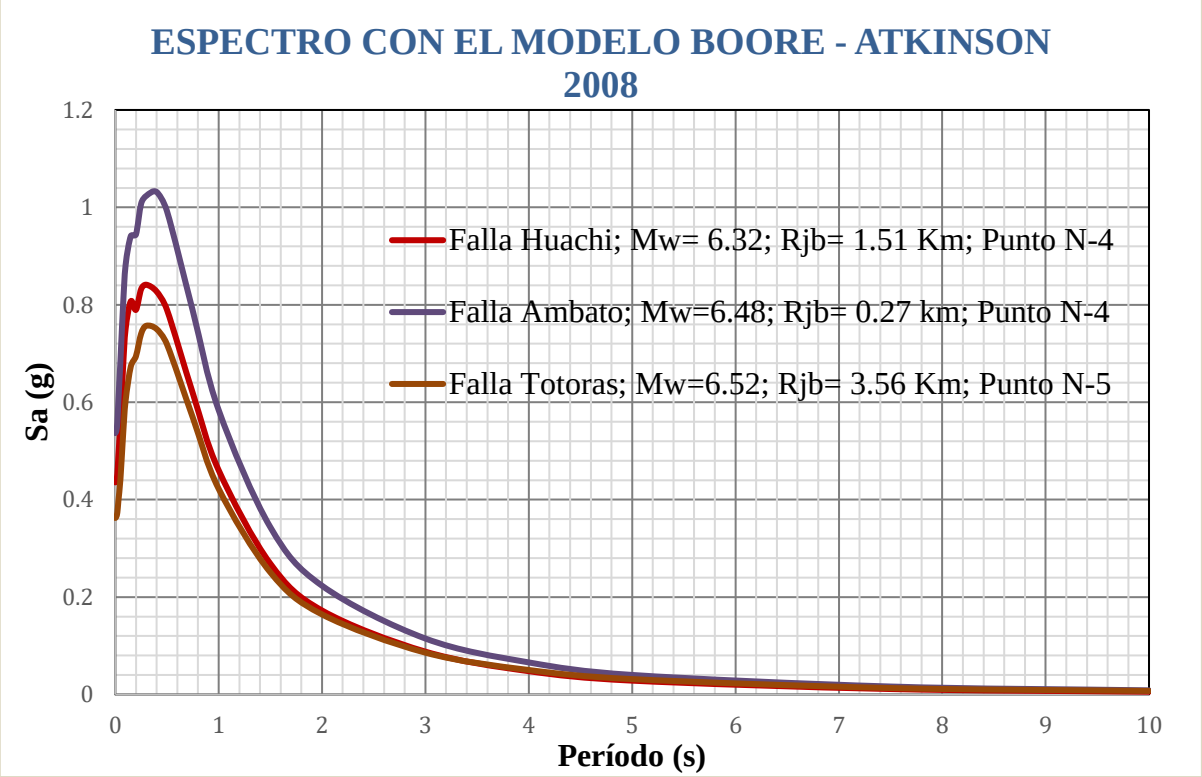
Tabla 42. Resumen de los valores de aceleraciones máximas empleando el modelo Boore y Atkinson de la falla de Totoras

POZO	ACELERACIÓN MÁXIMA	PERIODO (s)
Punto N-1	0.652	0.300
Punto N-2	0.679	0.300
Punto N-3	0.707	0.300
Punto N-4	0.733	0.300
Punto N-5	0.757	0.300

Elaboración: Wilson Gavilanez

Posteriormente se creó un espectro de respuesta de valores máximos de aceleración con las gráficas conseguidas anteriormente para cada una de las fallas cercanas al sitio aplicando el modelo Boore – Atkinson.

Figura 17. Espectros de aceleraciones ocupando valores máximos en el Modelo Boore y Atkinson (2008)



Elaboración: Wilson Gavilanez

Se puede determinar que el espectro de aceleración con mayor valor es de la falla de Ambato con una aceleración Sa (g) de 1.032 g y en un periodo de 0.4 s, esto se debe a la cercanía que tiene la falla con el lugar de proyecto.

3) Modelo Akkar y Bommer (2010)

$$\boldsymbol{log\ y = b1 + b2M + b3M^2 + (b4 + b5M)\ log\ \sqrt{R^2jb + b^26} + b_7S_S + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma}$$

(Ec. 25)

$$\sigma = \sqrt{\sigma 1^2 + \sigma 2^2}$$

(Ec. 26)

Dónde:

b: Coeficientes

FN: Falla normal

FR: Falla inversa

M: Magnitud de momento

RJB: Distancia desde donde se libera la energía hasta el punto de estudio

SA: Suelo rígido

SS: Suelo suave

$\sigma 1 = 0.2610$ (intra-evento)

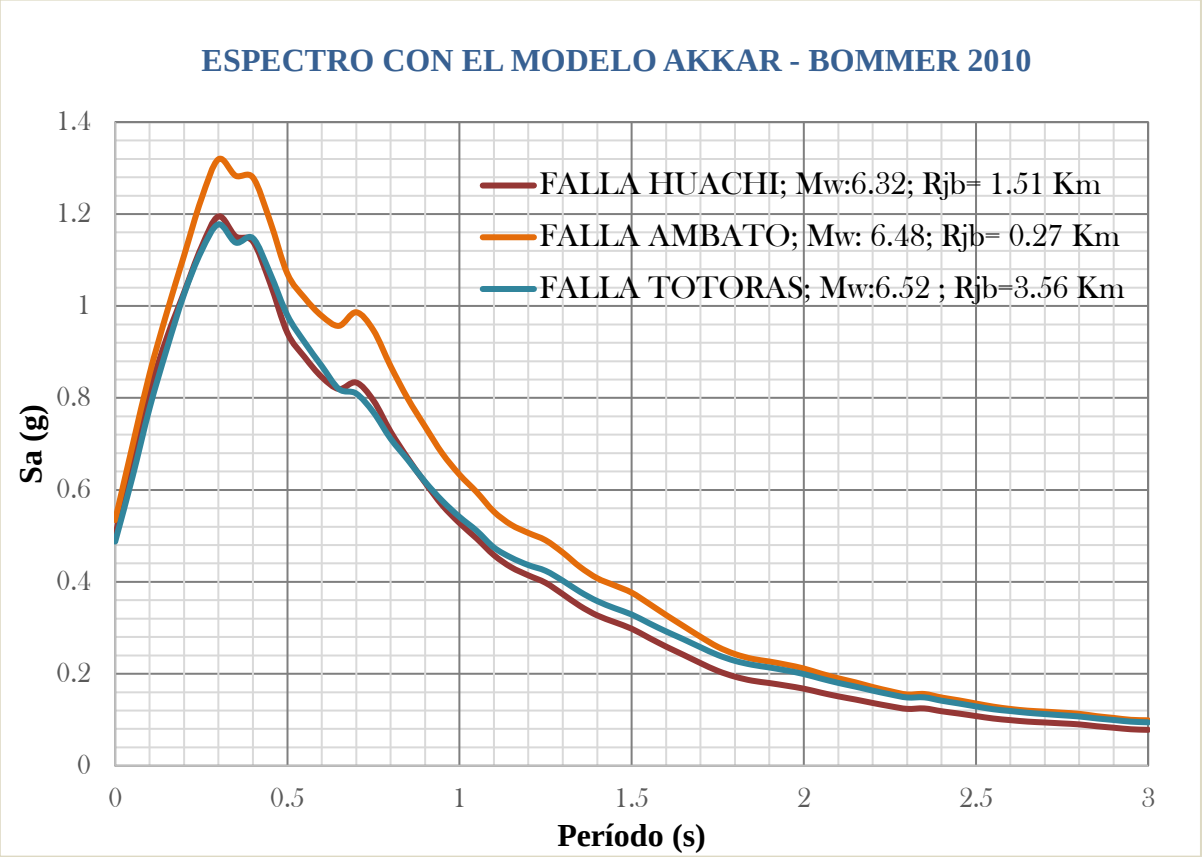
$\sigma 2 = 0.0994$ (inter-evento**)**

Tabla 43. Valores ocupados para la elaboración de los espectros del Modelo Akkar y Bommer (2010)

Datos	**Fallas**		
	Ambato	**Totoras**	**Huachi**
Magnitud de momento (Mw)	6.48	6.52	6.32
Distancia Rjb más cercana en Km	0.27	3.56	1.51
Tipo de Suelo	Duro "SA"=0 y Duro "SS"=1		
Tipo de Falla	Normal "FN"= 0 y Inversa "FR"= 1		
Los coeficientes b1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8, b10, σ1, σ2 y σ			
Anexo 6.1 y 6.2			

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 18. Espectros de las fallas ocupando el Modelo Akkar y Bommer (2010)



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 18 se puede concluir que el espectro que presenta una mayor aceleración es el que se encuentra en la falla de Ambato con una aceleración de 1.32 g en un periodo de 0.3 segundos, después se ubica la falla de Huachi con una aceleración de 1.19 g en 0.3 segundo y último está la falla de Ambato con una aceleración de 1.18 g en 0.3 segundos.

F. ECUACIONES DE ATENUACIÓN EN FALLA POR SUBDUCCIÓN

La profundidad focal (H) para las ecuaciones de atenuación en fallas por subducción será de 125 km, ya que en eventos registrados dichas profundidades han superado los 100 km. Los Modelos de Youngs y Zhao nos permiten determinar los espectros de aceleración con el 5% de amortiguamiento para movimientos de tierra causados por la falla de subducción.

1) Modelo Youngs ET AL. (1997)

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

(Ec. 27)

Dónde

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficientes

R: Distancia fuente a sitio

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

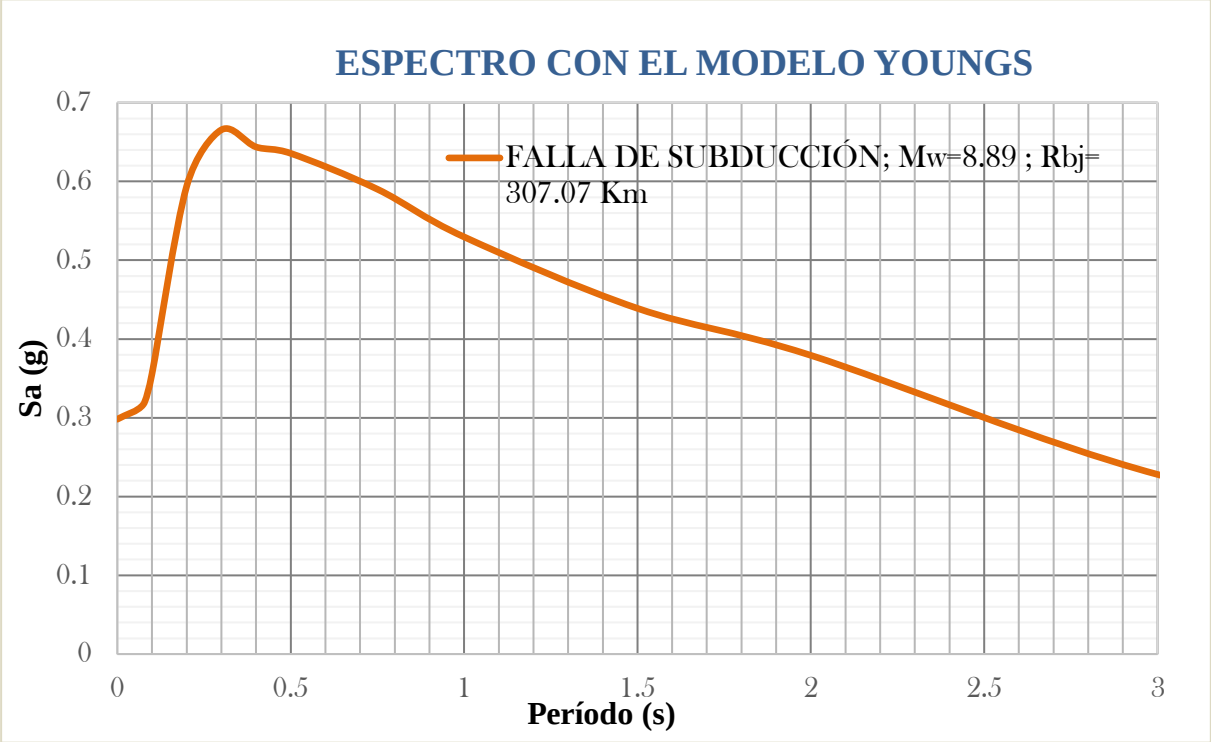
Zt: Tipo de falla

Tabla 44. Valores para los espectros del Modelo Youngs ET AL. (1997)

Datos	Falla
	Subducción
Magnitud de momento (Mw)	8.89
Distancia Rjb en Km	307.07
Profundidad Focal "h" (km)	125
Tipo de Falla"Zt"	Interplaca Zt=0
δh	1
Coeficientes "C1, C2, C3, C*4 y C*5"	
Anexo 7	

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 19. Espectro de Aceleración con el modelo Youngs (Subducción)



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 19 se puede concluir que el espectro presenta una aceleración máxima de 0.666g en un periodo de 0.3 segundos, también se puede visualizar que después de alcanzar sus puntos máximos el espectro va descendiendo de forma suavizada.

2) Modelo Zhao ET AL. (2006)

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

(Ec. 2831)

$$r = x + c^{(dMw)}$$

(Ec. 29)

Dónde:

M: Magnitud de momento

a, b, e, Ck: Coeficientes

x: Distancia a la fuente en Km

h: Profundidad focal

hc: Constante

Ck: Clase de sitio

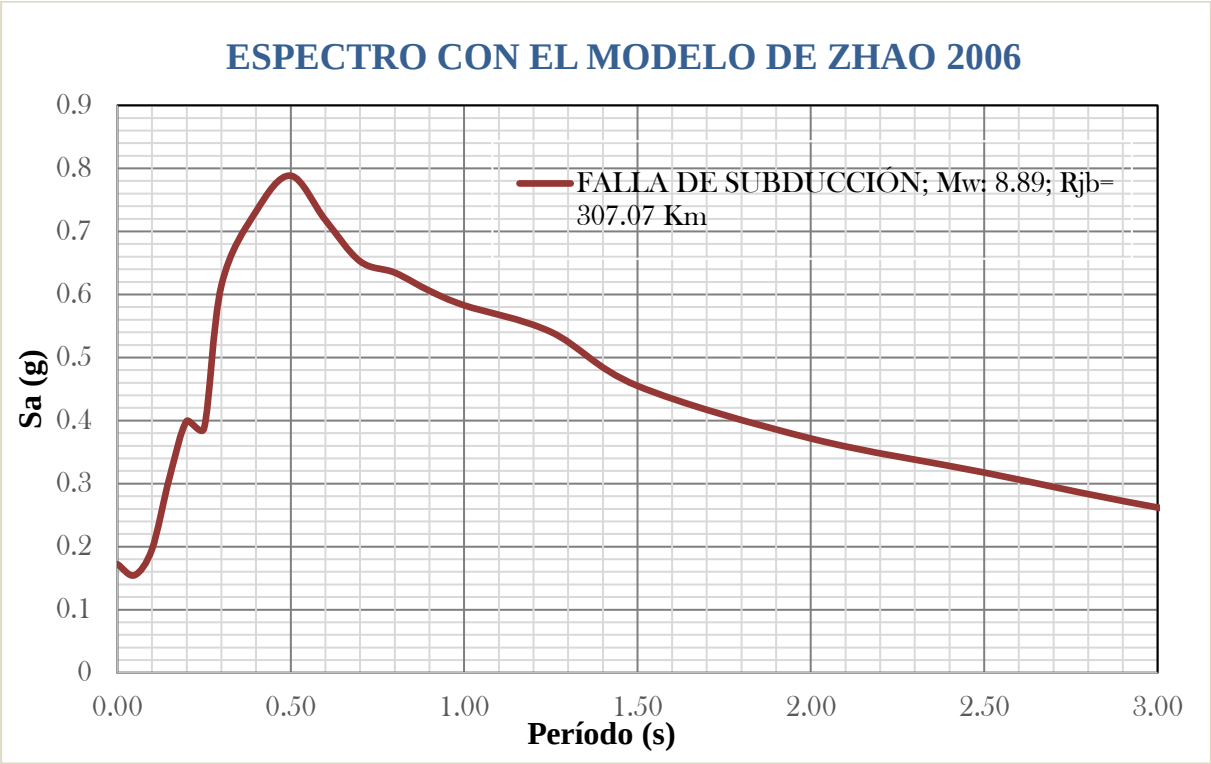
Tabla 45. Valores para los espectros del Modelo Zhao ET AL. (2006)

Datos	Falla
	Subducción
Magnitud de momento (Mw)	8.89
Distancia Rjb en Km	307.07
Profundidad Focal "h" (km)	50
Constante de profundidad "hc"(km)	0
Tipo de Suelo	C3
δh	1
Coeficientes "a, b, c, d, e, Si, Ss, Ssl, SR, Ck"	
Anexo 8.1. y 8.2.	

Elaboración: Wilson Gavilanez

Empleando las ecuaciones del modelo en mención se generó el espectro de respuesta para la falla de subducción presentando en la siguiente gráfica.

Figura 20. Espectro de Aceleración con el modelo Zhao ET AL. (2006) (Subducción)



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 20 se puede concluir que el espectro presenta una aceleración máxima de 0.788g en un periodo de 0.5 segundos.

G. ESPECTROS DE ACELERACIÓN DE LOS MODELOS CRÍTICOS EN RELACIÓN AL ESPECTRO DE ACELERACIÓN DE LA NEC-15

Como siguiente paso calculamos el espectro probabilista expuesto por la NEC-2015 para realizar una comparación con los espectros calculados de los modelos propuestos en esta tesis.

Tabla 46. Valores para el cálculo del espectro NEC-2015

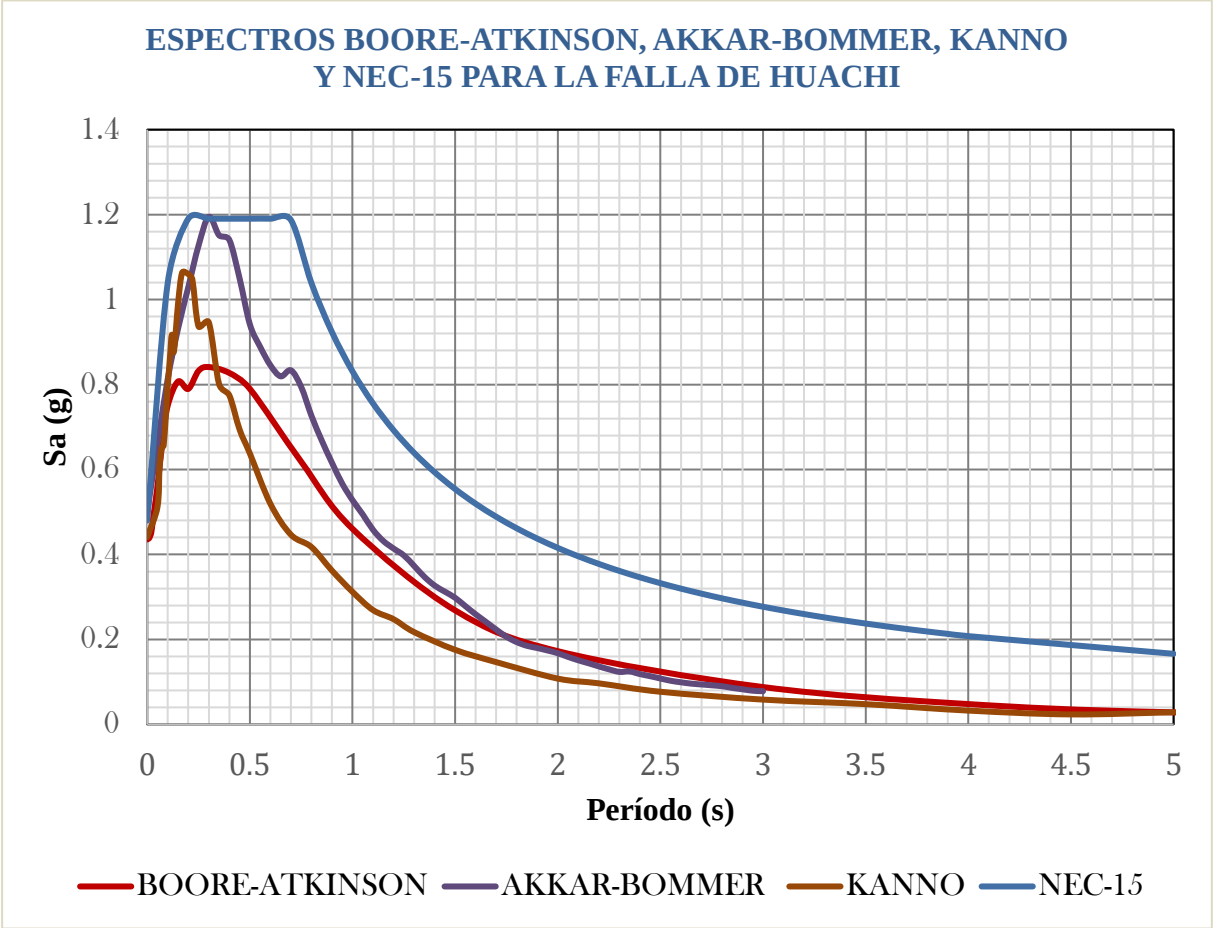
Datos para la determinación espectro NEC-2015		
Tipo de estructura	**Otras Estructuras**	**Literal Norma**
Tipo de suelo	D	3.2.1
Zona sísmica	V	3.1.1
Z(g)	0.4	3.2.1- 10.2.
R	8	6.3.4.

I	1	4.1.
Fa	1.2	3,3,2,
Fd	1.19	3,3,2,
Fs	1.28	3,2,2,
Tc	0.70	3.3.1

Elaboración: Wilson Gavilanez

En las gráficas de los espectros anteriores descritos se puede observar las diferentes aceleraciones aplicando las ecuaciones para cada modelo y utilizando las fallas descritas anterior mente. Ahora se graficarán los espectros producidos, agrupados mediante los diferentes modelos de cada una de las fallas por separado.

Figura 21. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Kanno, Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y NEC-2015 ocupados en la falla de Huachi



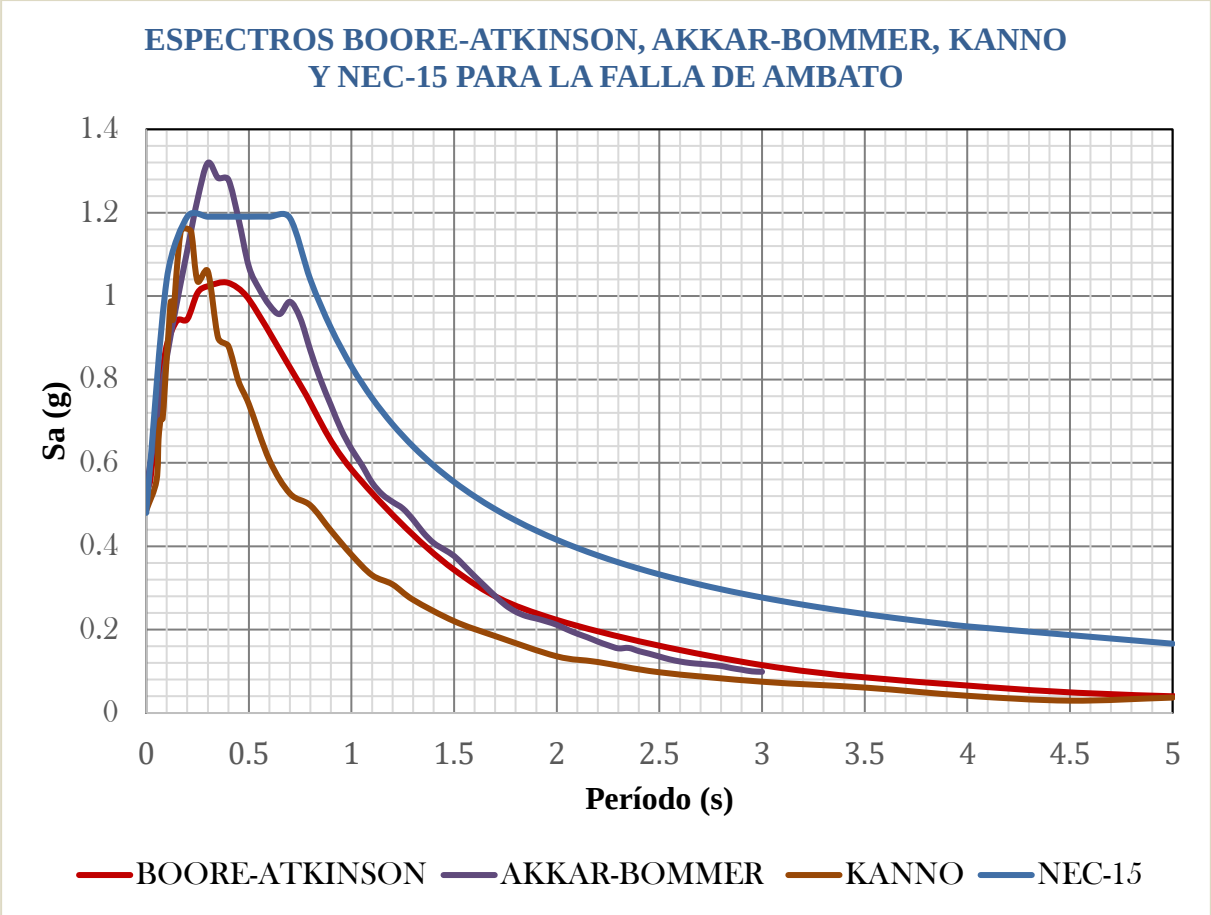
Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 21 se concluye que el modelo de Akkar & Bommer para la Falla de Huachi es el espectro determinístico más crítico, evidencia una aceleración máxima de Sa= 1.195 (g) y un

periodo 0.3 (s), luego le sigue el Espectro NEC-2015 con una aceleración máxima de Sa= 1.190 (g) y un periodo 0.2 (s).

.

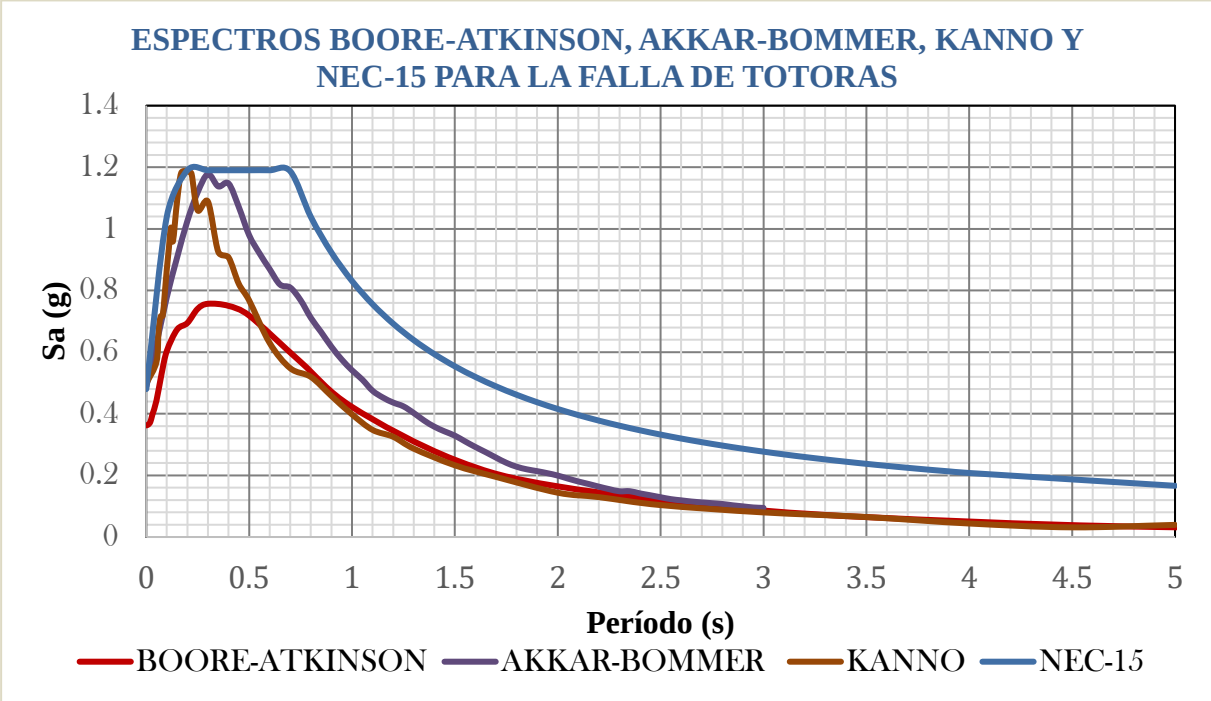
Figura 22. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Kanno, Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y NEC-2015 ocupados en la falla de Ambato



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 22 se concluye que el modelo de Akkar & Bommer para la Falla de Ambato es el espectro determinístico más crítico, evidencia una aceleración máxima de Sa= 1.319 (g) y un periodo 0.4 (s), luego le sigue el Espectro NEC-2015 con una aceleración máxima de Sa= 1.190 (g) y un periodo 0.2 (s).

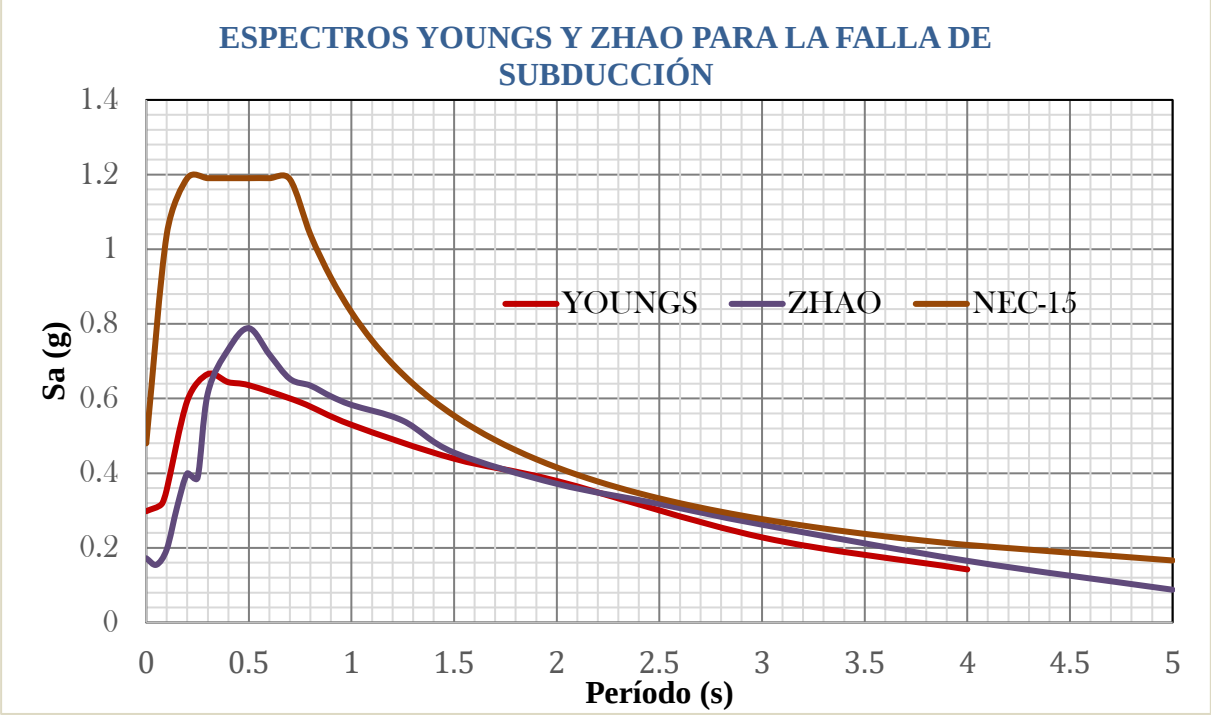
Figura 23. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Kanno, Boore & Atkinson, Akkar & Bommer y NEC-2015 ocupados en la falla de Totoras



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 23 se concluye los espectros deterministas de la Falla de Totoras produce aceleraciones inferiores a las del espectro NEC 2015.

Figura 24. Espectros de aceleración críticos para los modelos de Youngs, Zhao y NEC-2015 ocupados en la falla de Subducción



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 24 se concluye los espectros deterministas de la Falla de subducción presentan aceleraciones inferiores a las del espectro NEC 2015.

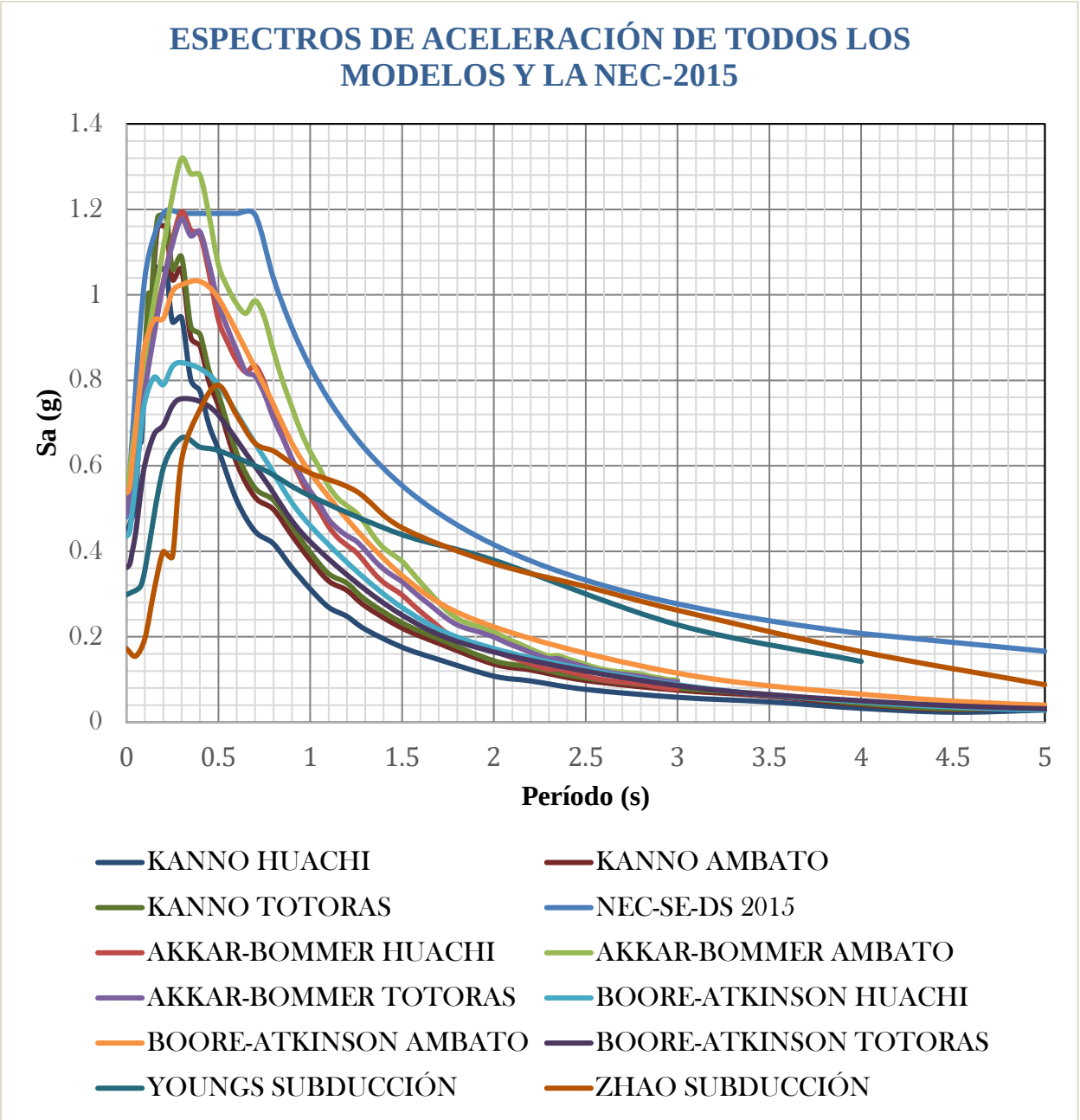
A continuación, se presenta una tabla resumen con todos los valores de aceleración máximos y sus periodos de todos los espectros deterministas de las fallas tectónicas estudiadas, adicional se muestra la tabla comparativa de variación de aceleración que tienen con el espectro calculado de la NEC.

Tabla 47. Valores resumen de aceleraciones máximas, porcentaje de participación y periodos, ocupados todos los modelos y NEC-2015.

FALLA DE HUACHI				
MODELO	**ACELERACIÓN MÁX**	**PERIODO "S"**	**VARIACION % DE ACELERACIÓN**	
NEC-2015	1.190	0.2 a 0.6 s		100.00%
Kanno	1.063	0.17 s	Kanno vs NEC-2015	89.33%
Boore-Atkinson	0.841	0.3 s	Akkar-Bommer vs NEC-2015	70.67%
Akkar-Bommer	1.195	0.3 s	Boore-Atkinson vs NEC-2015	100.38%
FALLA DE AMBATO				
MODELO	**ACELERACIÓN MÁX**	**PERIODO "S"**	**VARIACION % DE ACELERACIÓN**	
NEC-2015	1.190	0.2 a 0.6 s		100.00%
Kanno	1.161	0.2 s	Kanno vs NEC-2015	97.57%
Boore-Atkinson	1.032	0.4 s	Akkar-Bommer vs NEC-2015	86.67%
Akkar-Bommer	1.319	0.3 s	Boore-Atkinson vs NEC-2015	110.83%
FALLA DE TOTORAS				
MODELO	**ACELERACIÓN MÁX**	**PERIODO "S"**	**VARIACION % DE ACELERACIÓN**	
NEC-2015	1.190	0.2 a 0.6 s		100.00%
Kanno	1.187	0.2 s	Kanno vs NEC-2015	99.70%
Boore-Atkinson	0.757	0.3 s	Akkar-Bommer vs NEC-2015	63.59%
Akkar-Bommer	1.178	0.3 s	Boore-Atkinson vs NEC-2015	98.93%
FALLA POR SUBDUCCIÓN				
MODELO	**ACELERACIÓN MÁX**	**PERIODO "S"**	**VARIACION % DE ACELERACIÓN**	
NEC-2015	1.190	0.2 a 0.6 s		100.00%
Young	0.666	0.3	Young vs NEC-2015	55.91%
Zhao	0.788	0.5	Zhao vs NEC-2015	66.23%

Elaboración: Wilson Gavilanez

Figura 25. Espectros de aceleración de todos los modelos y la NEC-2015



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 25 muestra los espectros de aceleración de todos los modelos propuestos en esta investigación, para cada una de las fallas cercanas al sitio de estudio y se los compara con el espectro propuesto por la NEC-2015.

H. ESPECTRO DETERMINISTA ESPECÍFICO BASADO EN LOS VALORES EVOLVENTES DE LOS MODELOS ESTUDIADOS Y COMPARADOS POR LA NEC-2015.

Para poder elaborar el envolvente del espectro más crítico tomamos los valores de aceleración máximos de cada modelo de las fallas propuestas en este estudio, a continuación, presentamos una tabla resumen de los valores.

Tabla 48. Valores máximos tomados para la elaboración del espectro Determinista

PERIODO T (s)	FALLA CORTICAL											VALOR MAXIMO
	KANNO (HUACHI)	KANNO (AMBATO)	KANNO (TOTORAS)	B/A (HUACHI)	B/A (AMBATO)	B/A (TOTORAS)	A/B (HUACHI)	A/B (AMBATO)	A/B (TOTORAS)	YOUNGS	ZHAO	Sa(%g)
0	0.441	0.486	0.497	0.435	**0.537**	0.362	0.5	0.534	0.488	0.298	0.172	0.537
0.01				0.439	**0.541**	0.365						0.541
0.02				0.453	**0.558**	0.374						0.558
0.03				0.49	**0.604**	0.397						0.604
0.05	0.512	0.558	0.569	0.561	0.686	0.443	0.66	**0.695**	0.627		0.155	0.695
0.06	0.605	0.657	**0.67**									0.67
0.07	0.65	0.703	**0.716**									0.716
0.075				0.67	**0.797**	0.531				0.317		0.797
0.08	0.657	0.706	**0.718**									0.718
0.09	0.723	0.776	0.789									0.789
0.1	0.797	0.855	0.869	0.751	**0.882**	0.604	0.814	0.853	0.778	0.356	0.196	0.882
0.11	0.858	0.921	**0.936**									0.936
0.12	0.917	0.987	**1.004**									1.004
0.13	0.877	0.944	**0.961**									0.961
0.15	0.99	1.07	**1.09**	0.807	0.941	0.673	0.931	0.986	0.907		0.309	1.09
0.17	1.063	1.158	**1.182**									1.182
0.2	1.06	1.161	**1.187**	0.79	0.944	0.695	1.029	1.11	1.026	0.594	0.399	1.187
0.22	1.047	1.153	**1.179**									1.179
0.25	0.937	1.035	1.06	0.832	1.008	0.741	1.127	**1.232**	1.119		0.387	1.232
0.3	0.946	1.059	1.088	0.841	1.024	0.757	1.195	**1.319**	1.178	0.666	0.614	1.319
0.35	0.801	0.9	0.926				1.151	**1.283**	1.138			1.283
0.4	0.775	0.88	0.908	0.827	1.032	0.75	1.14	**1.28**	1.148	0.644	0.732	1.28
0.45	0.694	0.795	0.821				1.05	**1.184**	1.071			1.184
0.5	0.638	0.741	0.768	0.79	0.992	0.719	0.942	**1.07**	0.98	0.636	0.788	1.07
0.55							0.889	**1.018**	0.921			1.018
0.6	0.519	0.606	0.63				0.845	**0.978**	0.869		0.718	0.978
0.65							0.819	**0.957**	0.819			0.957
0.7	0.447	0.526	0.548				0.834	**0.986**	0.81		0.653	0.986
0.75				0.618	0.787	0.568	0.795	**0.947**	0.769	0.59		0.947
0.8	0.418	0.498	0.52				0.727	**0.869**	0.711		0.635	0.869
0.85							0.669	**0.798**	0.665			0.798
0.9	0.362	0.437	0.458				0.616	**0.738**	0.618		0.606	0.738
0.95							0.567	**0.679**	0.576			0.679
1	0.312	0.38	0.398	0.46	0.584	0.422	0.528	**0.633**	0.541	0.53	0.583	0.633
1.05							0.494	**0.595**	0.511			0.595
1.1	0.269	0.331	0.348				0.458	**0.553**	0.475			0.553
1.15							0.432	**0.524**	0.453			0.524
1.2	0.248	0.308	0.325				0.414	**0.506**	0.436			0.506
1.25							0.398	**0.49**	0.424			0.49
1.3	0.217	0.272	0.287				0.373	**0.464**	0.403			0.464
1.35							0.347	**0.432**	0.378			0.432
1.4							0.327	**0.408**	0.358			0.408
1.45							0.312	**0.392**	0.343			0.392
1.5	0.176	0.22	0.233	0.268	0.343	0.251	0.298	0.377	0.329	0.439	**0.455**	0.455
1.55							0.278	**0.353**	0.31			0.353
1.6							0.259	**0.328**	0.292			0.328
1.65							0.241	**0.304**	0.275			0.304
1.7	0.147	0.184	0.195				0.223	**0.28**	0.258			0.28
1.75							0.206	**0.259**	0.241			0.259
1.8							0.194	**0.243**	0.228			0.243
1.85							0.185	**0.233**	0.22			0.233
1.9							0.18	**0.227**	0.214			0.227
1.95							0.174	**0.22**	0.207			0.22
2	0.108	0.136	0.144	0.172	0.223	0.164	0.168	0.212	0.199	**0.379**	0.372	0.379
2.05							0.159	**0.2**	0.19			0.2
2.1							0.151	**0.19**	0.18			0.19
2.15							0.144	**0.181**	0.172			0.181
2.2	0.097	0.122	0.129				0.137	**0.171**	0.163			0.171
2.25							0.13	**0.162**	0.155			0.162
2.3							0.124	**0.155**	0.148			0.155
2.35							0.125	**0.156**	0.149			0.156
2.4							0.119	**0.148**	0.141			0.148
2.45							0.114	**0.142**	0.135			0.142
2.5	0.077	0.098	0.104				0.108	0.135	0.129		**0.318**	0.318
2.55							0.103	**0.129**	0.123			0.129
2.6							0.099	**0.124**	0.119			0.124
2.65							0.096	**0.12**	0.115			0.12
2.7							0.094	**0.118**	0.112			0.118
2.75							0.092	**0.115**	0.11			0.115
2.8							0.09	**0.113**	0.107			0.113
2.85							0.086	**0.108**	0.103			0.108
2.9							0.083	**0.104**	0.099			0.104
2.95							0.079	**0.1**	0.096			0.1
3	0.058	0.075	0.08	0.088	0.115	0.086	0.078	0.099	0.094	0.228	**0.262**	0.262
3.5	0.048	0.061	**0.065**									0.065
4	0.033	0.041	0.044	0.048	0.066	0.05				0.142	**0.165**	0.165
4.5	0.024	0.03	**0.031**									0.031
5	0.029	0.037	0.039	0.028	0.04	0.032					**0.088**	0.088
7.5				**0.011**	0.016	0.013						0.016
10				**0.006**	0.008	0.007						0.008

Elaboración: Wilson Gavilanez

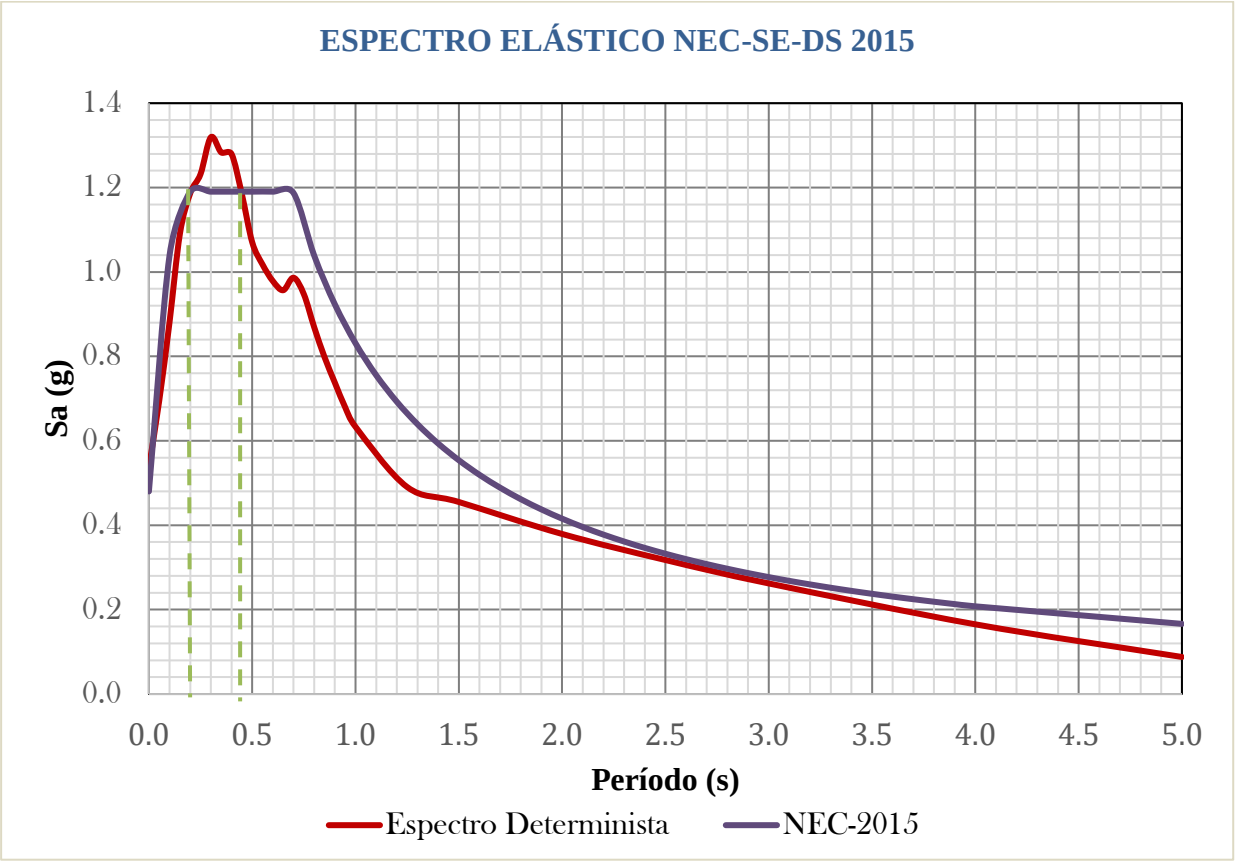
Tabla 49. Datos finales para la determinación del espectro determinista con los valores de los envolventes.

ESPECTRO ESPECIFICO ENVOLVENTE	
Periodo T(s)	**Sa(%g)**
0.000	0.537
0.050	0.695
0.100	0.882
0.150	1.090
0.200	1.187
0.250	1.232
0.300	1.319
0.350	1.283
0.400	1.280
0.450	1.184
0.500	1.070
0.550	1.018
0.600	0.978
0.650	0.957
0.700	0.986
0.750	0.947
0.800	0.869
0.850	0.798
0.900	0.738
0.950	0.679
1.000	0.633
1.250	0.490
1.500	0.455
2.000	0.379
2.500	0.318
3.000	0.262
4.000	0.165
5.000	0.088

Elaboración: Wilson Gavilanez

Con los valores del periodo y aceleración de la tabla 49 conseguimos un espectro crítico en el que va a ser comparado con el espectro de la NEC-2015.

Figura 26. Espectro Determinista con los envolventes Vs Espectro NEC-2015



Elaboración: Wilson Gavilanez

En la Figura 26 se puede observar que en los periodos comprendidos entre 0.20 s y 0.45 s, el espectro determinista de aceleraciones es mayor de hasta 1.319 g, a comparación del espectro de la NEC-2015, por lo que se concluye que en los periodos descritos anteriormente el espectro determinista destaca en un 10.83% al espectro de la Norma Ecuatoriana.

I. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS ESPECÍFICOS CALCULADOS VS Y EL PROPUESTO POR LA NEC-SE-DS 2015.

La respuesta de una edificación a solicitaciones sísmica del suelo se determina por el uso de aceleraciones, velocidades y desplazamientos de sus elementos, en particular de los pisos en el caso de los edificios. Se ocupa la teoría de diseño basada en el desempeño de las estructuras y los requisitos presentados se determinan mediante el comportamiento elástico lineal y no lineal.

Para el análisis del comportamiento estructural se seleccionó 3 edificaciones con diferentes niveles siendo estas de dos pisos, tres pisos y cinco pisos, dado que este dipo de edificaciones son las más presentes en el área de estudio.

1) Primera Estructura a ser analizada

En esta edificación realizamos el levantamiento de información, obteniendo las siguientes características:

Tabla 50. Tabla de especificaciones para la estructura 1

Características Estructurales	
Características	**Detalle**
Sistema Estructural	Hormigón Armado
Número de pisos	3
Sección de columnas (cm)	35 cm * 35 cm
Sección de vigas (cm)	30 cm * 25 cm
Espesor de losa (cm)	20 cm
Tipo de losa	Nervada
Altura máxima de la edificación Hm (m)	8.08 m
Propiedades de los Materiales	**Detalle**
Resistencia a la compresión del hormigón	f´c = 240 kg/cm²
Limite e fluencia del acero	Fy = 4200 kg/cm²
Módulo de elasticidad del hormigón	$Ec = 13100 * \sqrt{f´c}$
Coeficiente de Poisson	u = 0.20

Elaboración: Wilson Gavilanez

(a) Cargas Consideradas

En la determinación de las cargas a considerar de la estructura se toman en cuenta las siguientes

Carga Muerta

Para la cuantificación de la carga muerta se determinó el peso adicional de la losa, del enlucido, masillado y de los acabados, también se consideró el peso de las paredes y para visualizar el cálculo se puede ver en los anexos 9.1

Tabla 51. Cargas Muertas Adicionales Actuantes Estructura 1

CARGA MUERTA (CM) Nv+2.88m	
Carga Adicional de Losa	187 kg/m²
Carga de Paredes	380.84 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	567.84 kg/m²

CARGA MUERTA (CM) Nv+5.58m	
Carga Adicional de Losa	187 kg/m²
Carga de Paredes	271.94 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	458.94 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) Nv+8.08m	
Carga Adicional de Losa	118 kg/m²
Carga de Paredes	95.09 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	213.09 kg/m²

Elaboración: Wilson Gavilanez

Carga Viva

Para la asignación de la carga viva de la estructura se determinó de acuerdo a la NEC-SE-CG, sección 4.2. obteniendo los siguientes datos.

Tabla 52. Carga Viva de la estructura 1

CARGA VIVA	
Ocupación	**Valor**
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	200 kg/m²
Cubiertas	70 kg/m²

Elaboración: Wilson Gavilanez

(b) Espectros elásticos aplicados a la estructura

Espectro elástico NEC-15

Para la determinación del espectro NEC-15 se procedió a la interpretación de datos con sus respectivos coeficientes, con la ayuda de la norma NEC-SE-DS como se observa en la tabla 53.

Tabla 53. Valores para el cálculo del espectro elástico NEC-15 de la estructura 1

Espectro Elástico NEC-15		
Coeficientes NEC	**Datos de la estructura**	**NEC Literal Norma**
Tipo de suelo	D	Sec. 3.2.1
Zona sísmica	V	Sec. 3.1.1
Z(g)	0.4	Sec. 3.2.1- 10.2.
R	8	Sec. 6.3.4.
I	1	Sec. 4.1.
Øp	1	Sec. 5,2,3,
Øe	1	Sec. 5,2,3,
Fa	1.20	Sec. 3,3,2,
Fd	1.19	Sec. 3,3,2,
Fs	1.28	Sec. 3,2,2,
Tc	0.698	Sec. 3.3.1
Ct	0.055	Sec. 6,3,3,a,
α	0.9	Sec. 6,3,3,a,

Hn (altura máxima del edificio)	8.08	m
T(s)	0.361	Sec. 6.3.3
η	2.48	Sec. 3,3,1,
r	1	Sec. 3.3.1
Sa(g)	1.190	Sec. 3.3.1
C	0.149	Sec. 3.3.1
K	1.0000	

Elaboración: Wilson Gavilanez

Para la visualización de los datos de periodo Tseg. y la aceleración del espectro NEC-215 se colocó en el Anexo 9.1

Períodos de Vibración

Para el periodo de vibración ocupamos la siguiente fórmula propuesta por la NEC-2015 que determina el periodo fundamental T

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

(Ec. 30)

Donde:

Ct = Coeficiente del tipo de edificio.

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

T = Período de vibración.

Tabla 54. Coeficientes en base al tipo de estructura

PÓRTICOS ESPECIALES DE HORMIGÓN ARMADO		
Tipo de estructura	**Ct**	α
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

Fuente: NEC SE DS 2015

$$T = 0.055 * 8.08^{0.9}$$

$$T = 0.361 \text{ seg}$$

Espectro Determinista

Con los datos obtenidos de la Tabla 49, que corresponden a los datos finales para la determinación del espectro determinista se procedió a calcular el espectro determinista inelástico por medio de los siguientes datos.

$$C = \frac{\mathrm{I} * \mathrm{Sa(Det)}}{\mathrm{R} * \emptyset\mathrm{P} * \emptyset\mathrm{E}}$$

(Ec.31)

Donde:

C = Coeficiente de reducción del espectro determinista

I = Factor de importancia

Sa (Det) = Aceleración máxima del espectro determinista

R = Factor de reducción de resistencia sísmica

$\emptyset P$ = Coeficiente de configuración en planta

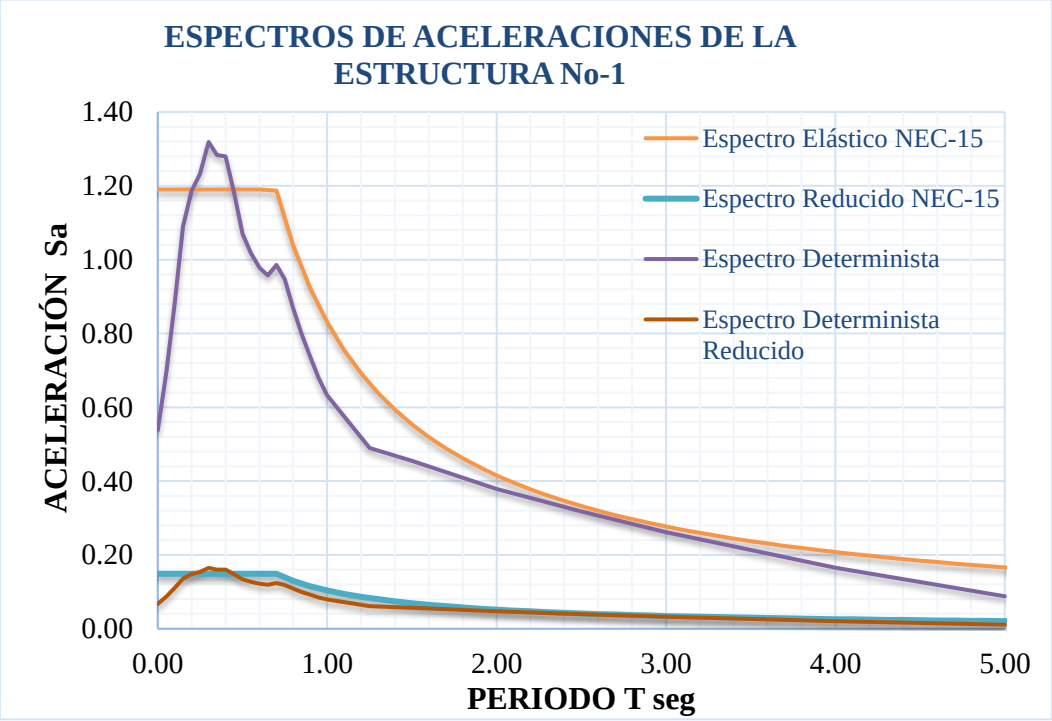
$\emptyset E$ = Coeficiente de configuración en elevación

$$C = \frac{1 * 1.319}{8 * 1 * 1}$$

$$C = 0.165$$

Con esta misma fórmula se calculó para todos los datos de periodo Tseg. y la aceleración del espectro determinista y se colocó en el Anexo 9.1

Figura 27. Espectros de Aceleración Est.-1



Elaboración: Wilson Gavilanez

(c) Verificación del comportamiento estructural

A continuación, se procedió a realizar la modelación de la estructura N-1 introduciendo el espectro NEC 2015 y el espectro determinista para luego realizar la comparación de los resultados y conocer su comportamiento

Figura 28. Vista en planta de la primera estructura analizada

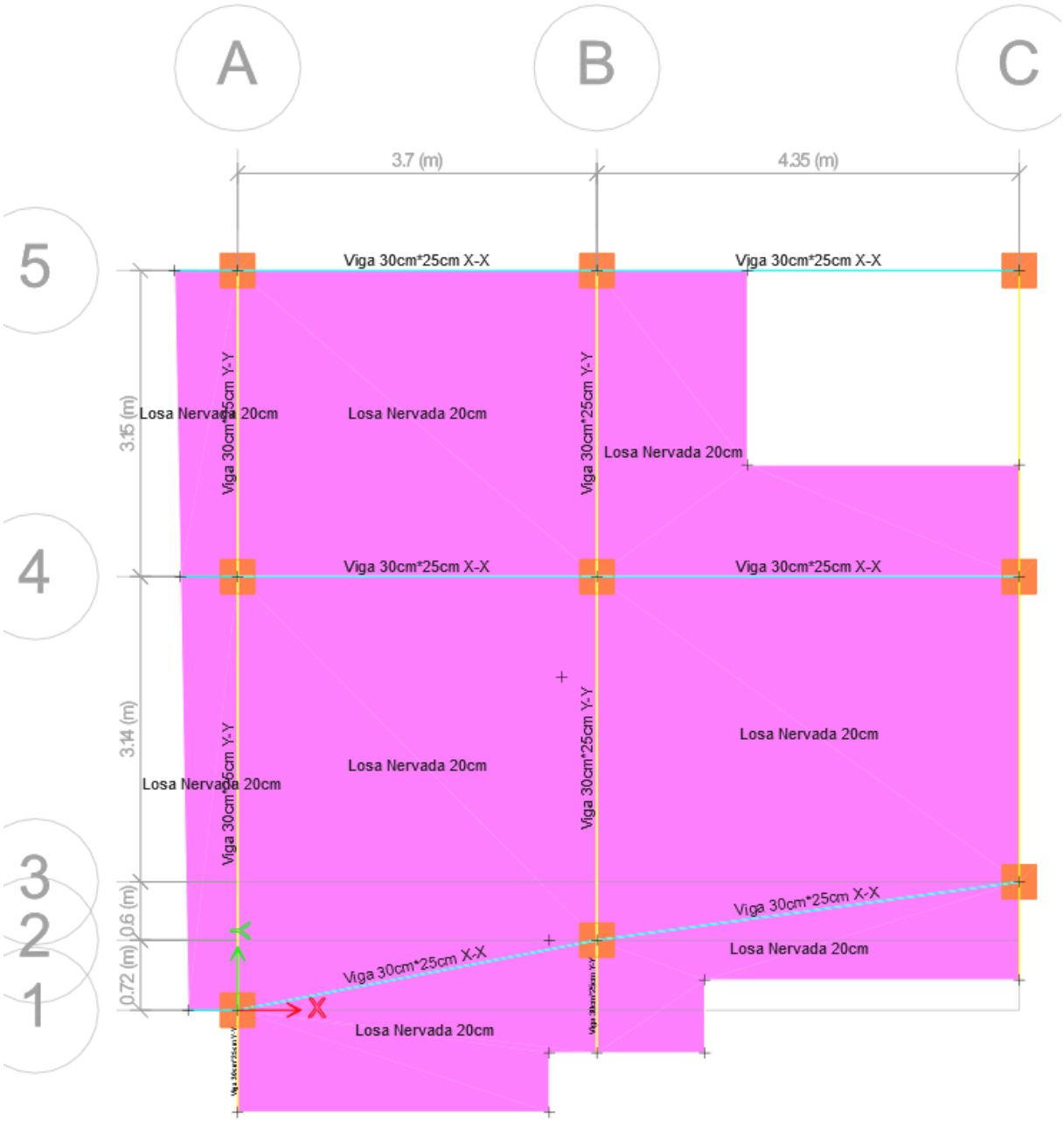
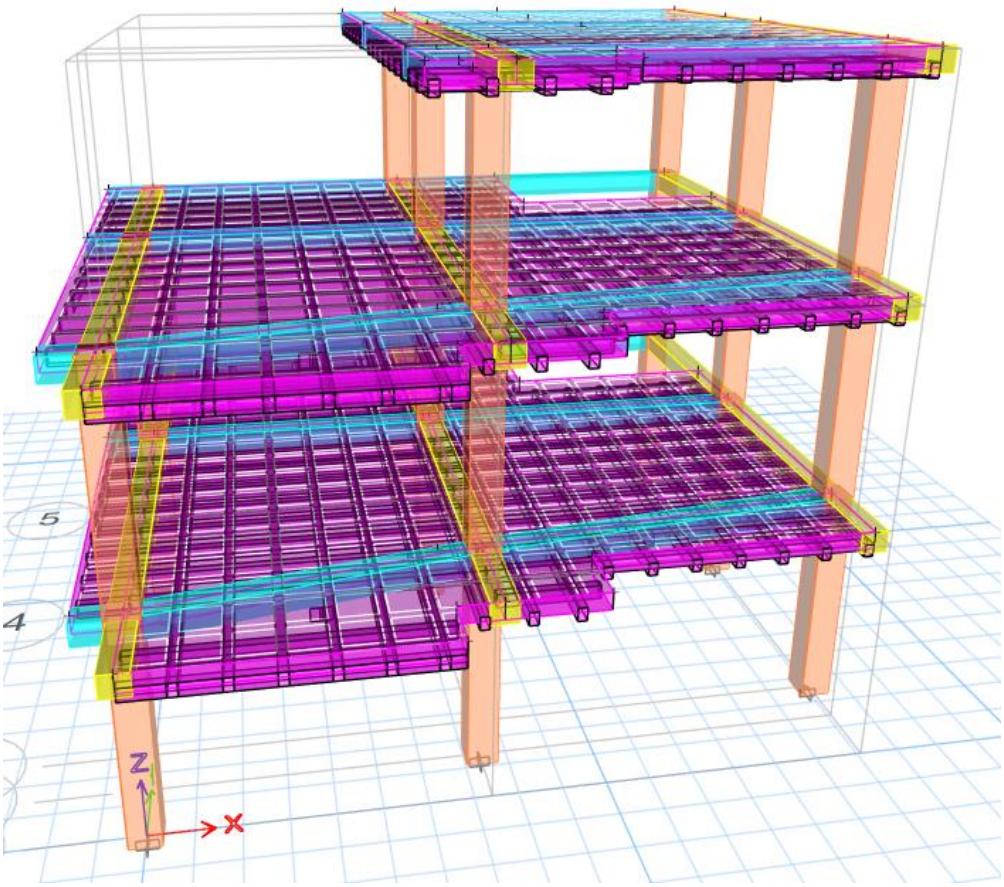

A
B
C
3.7 (m)
4.35 (m)
5
4
3
2
1
3.15 (m)
3.14 (m)
0.6 (m)
0.72 (m)
Viga 30cm*25cm X-X
Viga 30cm*25cm Y-Y
Losa Nervada 20cm
Losa Nervada 20cm
Losa Nervada 20cm

Figura 29. Vista en 3d de la primera estructura analizada



Fuente: Etabs 2016. V16

Períodos y modos de vibración

El valor del periodo de vibración calculado con Etabs no debe ser mayor en un 30% al valor del espectro y cumple la siguiente expresión.

$$\boldsymbol{Tmodal \leq 1.3T}$$

(Ec.32)

Para la verificación de los modos de vibración, se procede analizar los 3 primeros modos de vibración, para verificar que el movimiento de los 2 primeros modos sea traslacional y el tercero rotacional, además según Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-DS, 2015, dice que todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas, para su determinación aplicamos la siguiente ecuación.

$$\%\boldsymbol{TORSIÓN} = \frac{\boldsymbol{RZ}}{(\boldsymbol{UX};\boldsymbol{UY})} * \boldsymbol{100} \ < \boldsymbol{30}\%$$

(Ec.33)

Tabla 55. Participación modal de la masa de la estructura 1

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
Case	**Mode**	**Period sec**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**	**RZ**
Modal	1	**0.496**	**0.7945**	0.0199	0.7945	0.0199	**0.0222**
Modal	2	0.485	0.0293	**0.7657**	0.8239	0.7856	**0.0448**
Modal	3	0.381	0.0091	0.0596	0.833	0.8451	0.7729
Modal	4	0.165	0.1152	0.001	**0.9482**	0.8461	0.002
Modal	5	0.156	0.0034	0.1025	0.9516	**0.9486**	0.0001
Modal	6	0.13	0.0045	0.0093	0.9561	0.9579	0.1002
Modal	7	0.106	0.0157	0.0212	0.9718	0.9791	0.0212
Modal	8	0.097	0.0255	0.0169	0.9973	0.9959	0.0044
Modal	9	0.075	0.0027	0.004	1	1	0.0322

Fuente: Etabs 2016. V16

$$\boldsymbol{Tmodal \leq 1.3T}$$

$$0.496\ seg\ \leq\ 1.3\ *\ 0.361\ \text{seg}$$

$$0.496\ seg\ >\ 0.469\ \text{seg}$$

No cumple

Modo de Vibración en UX

$$\%TORSIÓN = \frac{0.0222}{0.7945} * 100\ < 30\%$$

$$\%TORSIÓN = 2.794\% < 30\% \therefore \textbf{TRANSLACIÓN}$$

Modo de Vibración en Uy

$$\%TORSIÓN = \frac{0.0448}{0.7657} * 100\ < 30\%$$

$$\%TORSIÓN = 5.851\% < 30\% \therefore \textbf{TRANSLACIÓN}$$

Se verifica que en el primero y el segundo modo de vibración son traslacionales y no generan torción en planta. Además, se visualiza que al menos del 90% de la masa modal recae en el cuarto modo de vibración y quinto modo de vibración cumplimento que participe el 90% de la masa en cualquier modo de vibración.

Cortante Basal Estático vs. Cortante Basal Dinámico

La NEC-SE-DS, 2015 instituye que el valor del cortante dinámico total en el base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

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

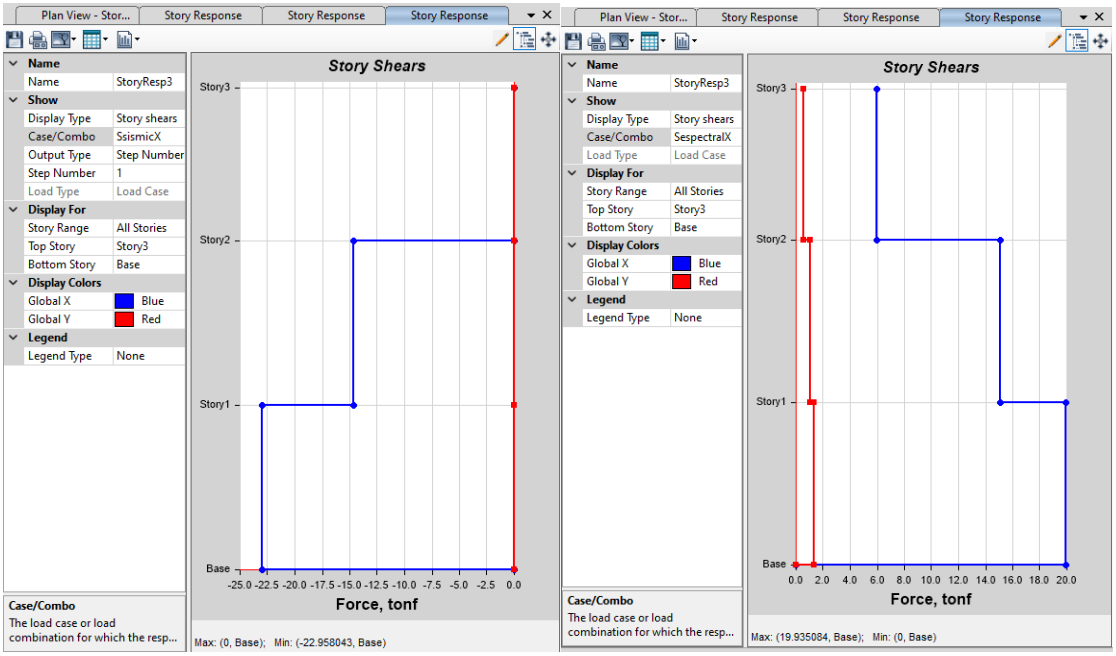
Para realizar la verificación empleamos la relación más crítica.

$$Vdinámico\ \geq\ 85\%\ Vestático$$

(Ec.34)

Comparación del cortante basal con el espectro NEC-2015

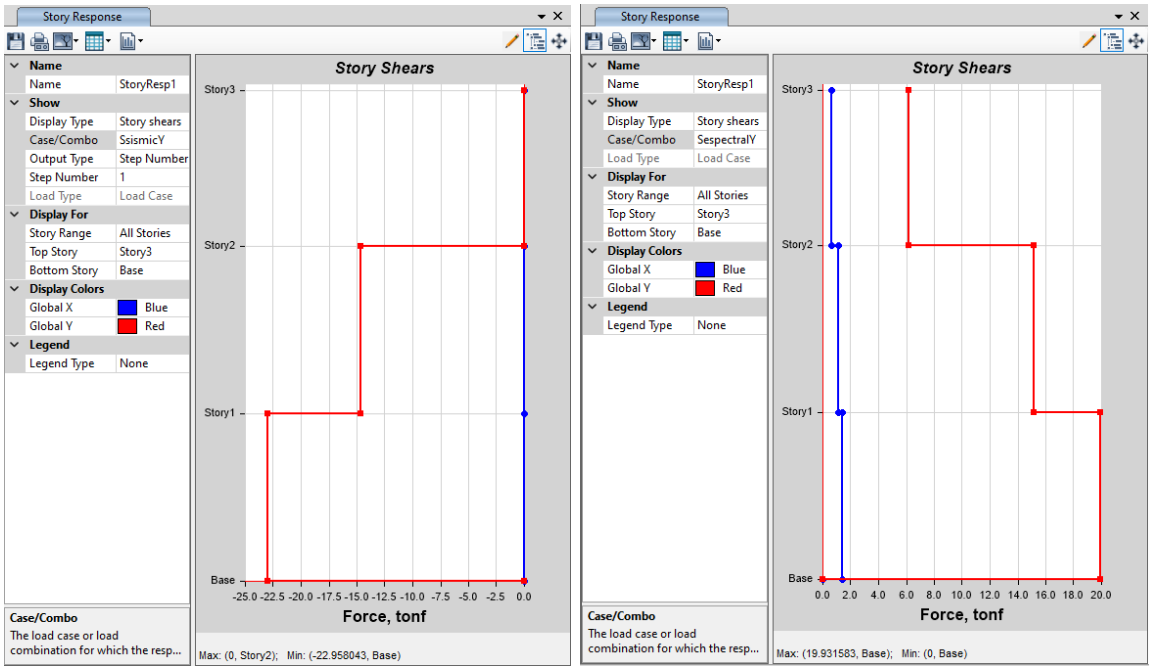
Figura 30. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1



Fuente: Etabs 2016. V16

Sentido Y-Y

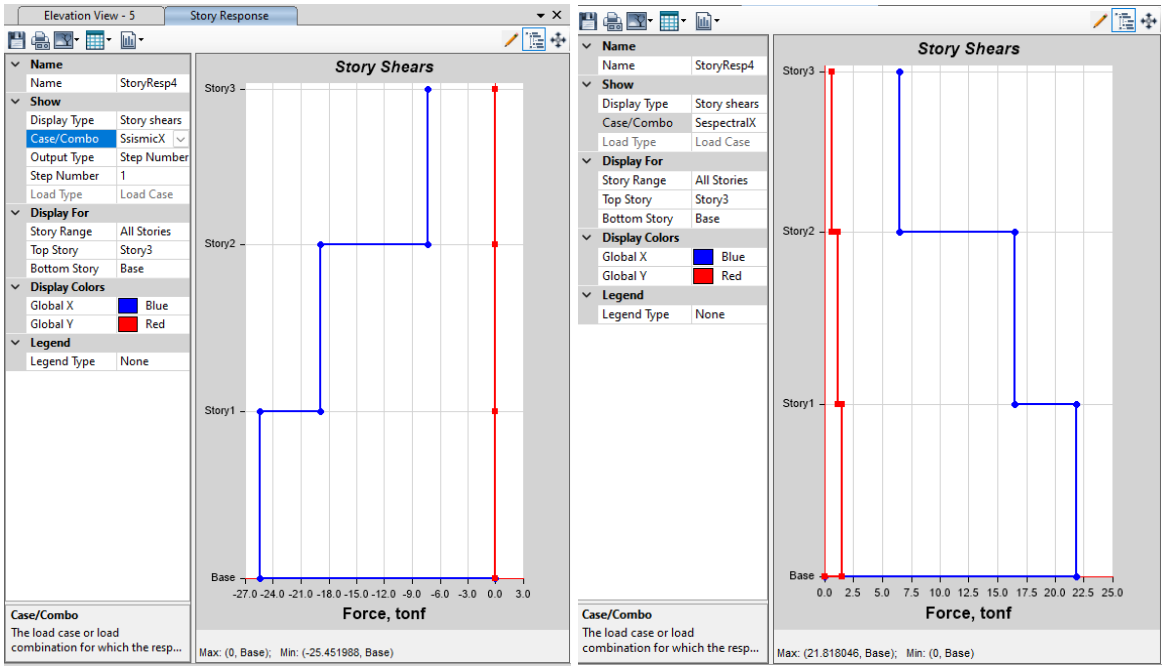
Figura 31. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1



Fuente: Etabs 2016. V16

Comparación del cortante basal con el espectro determinista

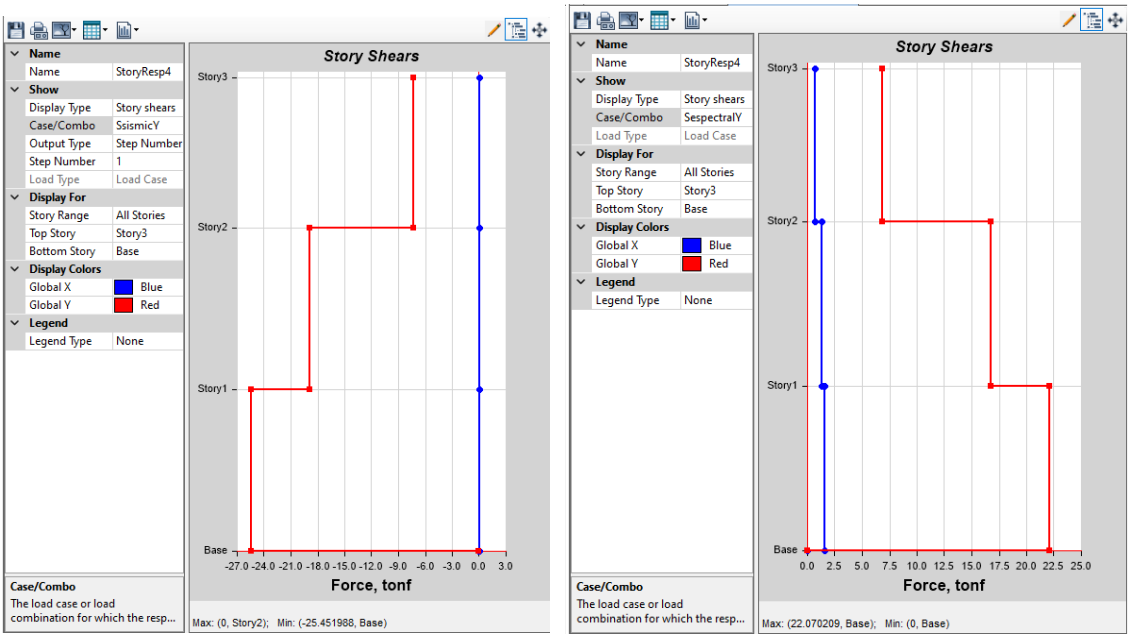
Figura 32. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1



Fuente: Etabs 2016. V16

Sentido Y-Y

Figura 33. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-1



Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 56. Resumen del cortante basal de la estructura n-1

Espectro	Cortante Basal (ton)		Cortante Basal Dinámico/Cortante Basal Dinámico (%)	Observaciones
	Estático	Dinámico		
Sentido X-X				
NEC-2015	22.958	19.935	86.83%	Cumple
Sentido Y-Y				
NEC-2015	22.958	19.935	86.83%	Cumple
Sentido X-X				
Determ.	25.452	21.818	85.72%	Cumple
Sentido Y-Y				
Determ.	25.452	22.070	86.71%	Cumple

Elaboración: Wilson Gavilanez

Verificación de las derivas de piso

En este apartado se realizó la revisión de las derivas de piso con la finalidad de verificar que no sobrepasen los límites que propone la NEC-2015

$$\Delta \boldsymbol{M.INELÁSTICA} \leq \mathbf{2}\%$$

(Ec.35)

$$\Delta \boldsymbol{M} = \mathbf{0.75} * \boldsymbol{R} * \Delta \boldsymbol{E}$$

(Ec.36)

Dónde:

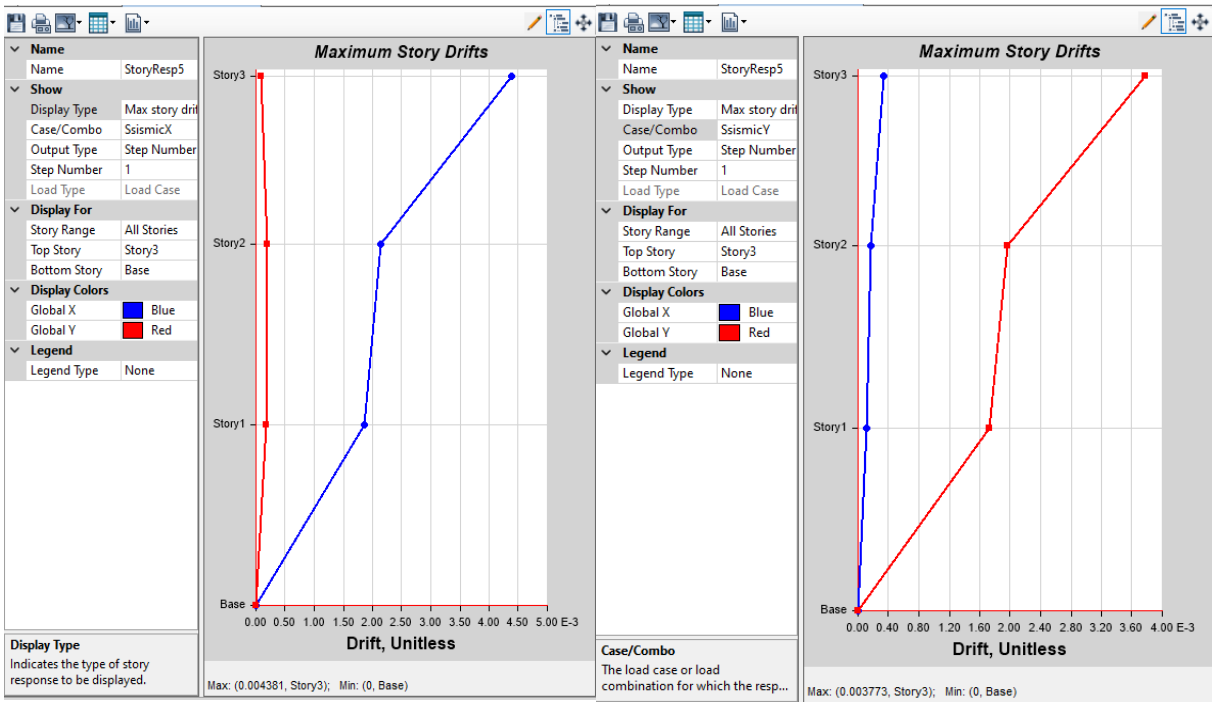
$\Delta \boldsymbol{M}$= Deriva máxima inelástica

$\Delta \boldsymbol{E}$= Deriva máxima elástica

R= Factor de reducción

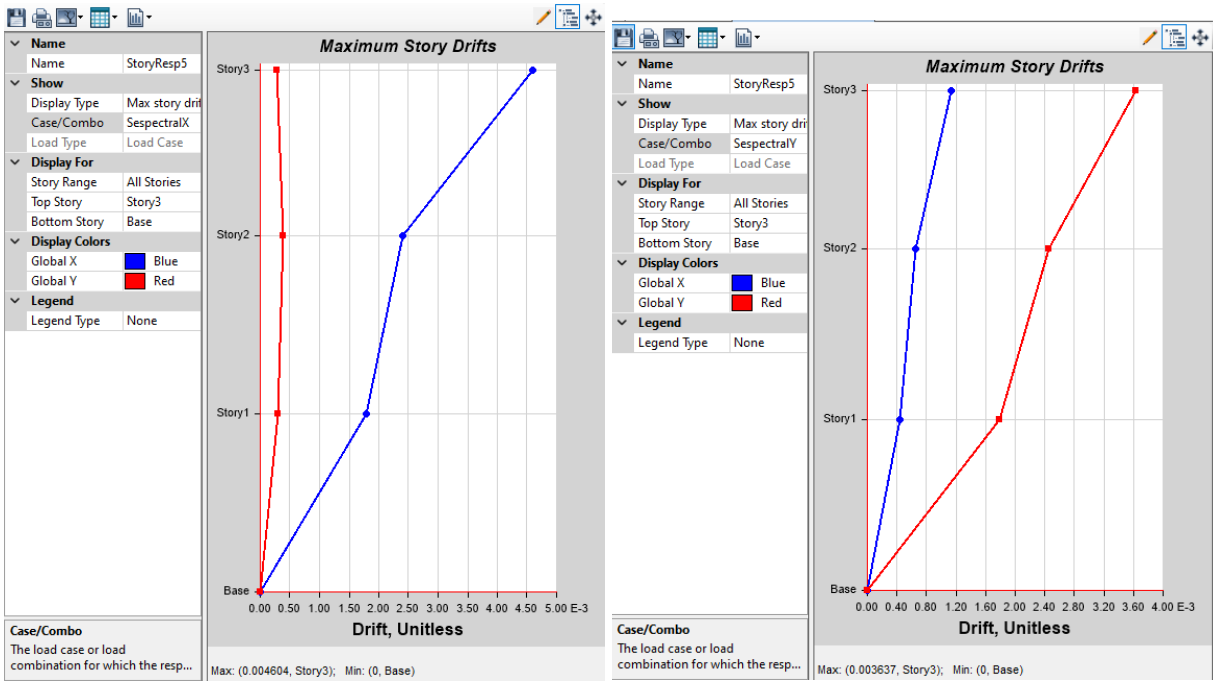
Derivas de piso con el espectro NEC-2015

Figura 34. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 1



Fuente: Etabs 2016. V16

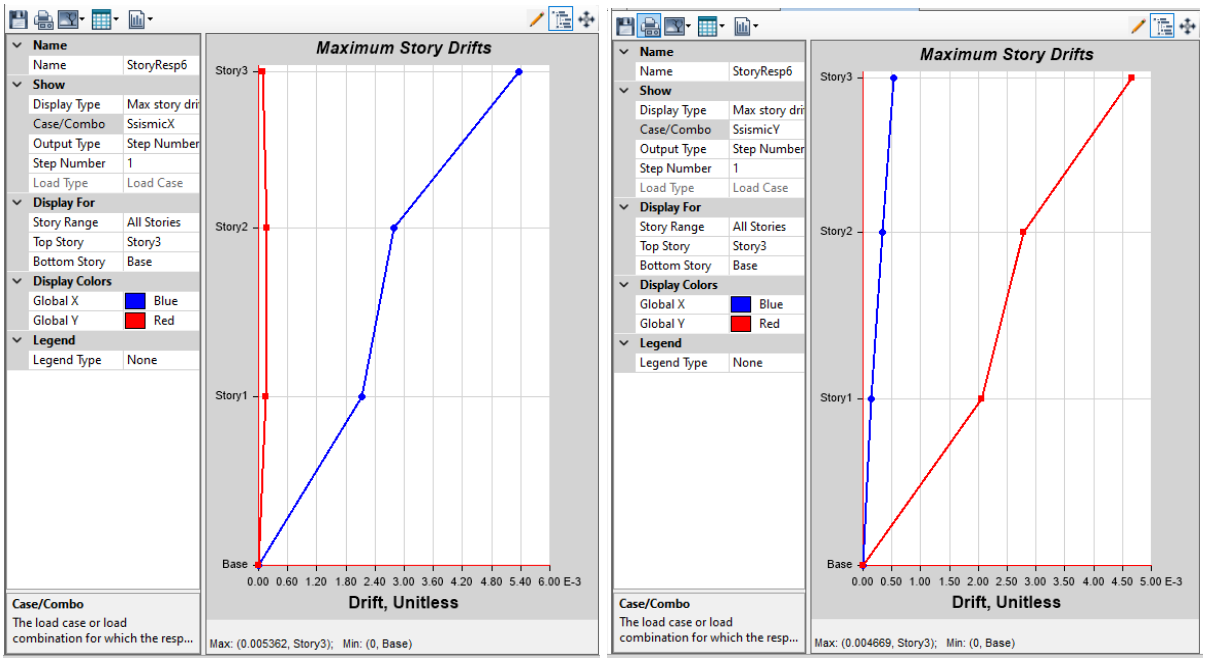
Figura 35. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 1



Fuente: Etabs 2016. V16

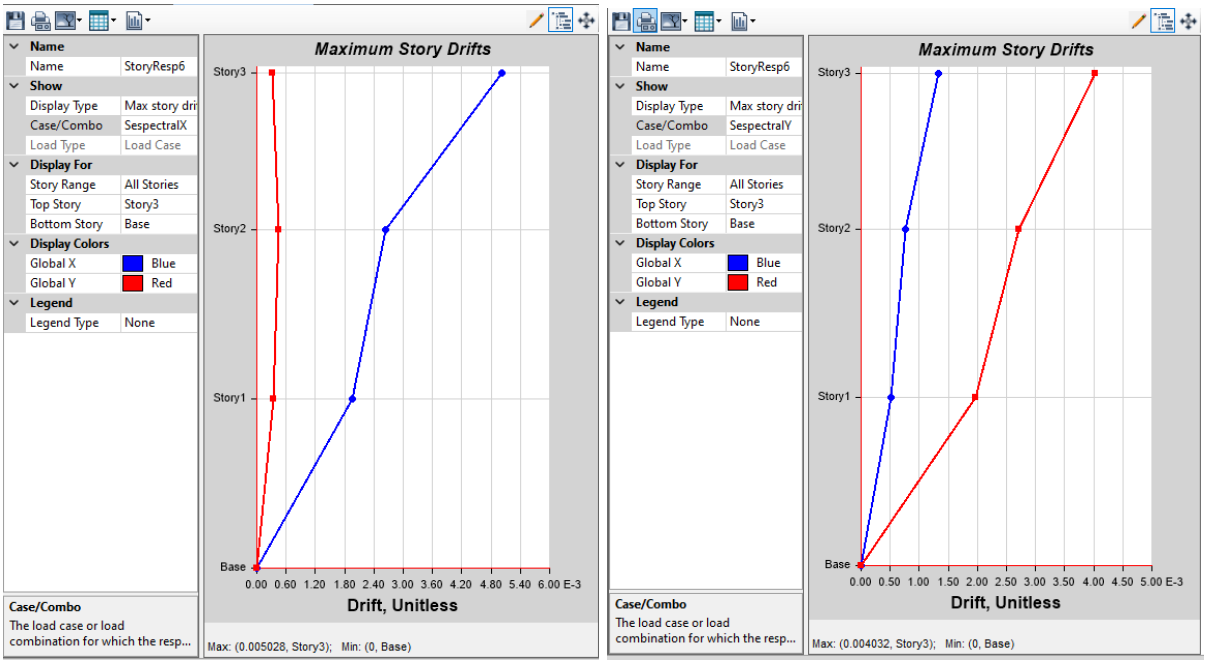
Derivas de piso con el espectro Determinista

Figura 36. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 1



Fuente: Etabs 2016. V16

Figura 37. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 1



Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 57. Derivas de piso con los espectros NEC-2015 y determinista de la estructura 1

Derivas Inelásticas con el espectro de la NEC 2015 y Determinista								
Espectro	Derivas Elásticas				Derivas Inelásticas ΔM = 0.75*R*ΔE			
	Análisis Estático (%)		Análisis Dinámico (%)		Análisis Estático (%)		Análisis Dinámico (%)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
NEC	0.00438	0.00377	0.00460	0.00367	2.629%	2.264%	2.762%	2.202%
Determinista	0.00536	0.00467	0.00503	0.00403	3.217%	2.801%	3.017%	2.419%

Elaboración: Wilson Gavilanez

Al verificar las derivas de piso se puede concluir que en el análisis de la estructura 1, las derivas tanto para el espectro NEC-2015 y determinista no cumple ya que son mayores al 2%.

Diagramas de momentos, cortantes y fuerzas axiales de elementos estructurales

Columna

Para la visualización de los momentos, cortantes y fuerzas axiales se seleccionó la columna central del eje B-4 y la combinación de carga que tubo mayores valores es la 1.2D+L-SX obteniendo los siguientes estos los resultados.

Tabla 58. Valores de Cargas de fuerzas axiales cortantes y momentos de la columna B-4 de la Est.1

NEC-2015			DETERMINISTA		
Combinación 1.2D+L-SX			Combinación 1.2D+L-SX		
Tipo de carga	Valor	Unidad	Tipo de carga	Valor	Unidad
Fuerza Axial	46.25	Ton	Fuerza Axial	47.07	Ton
Cortante X	3.35	Ton	Cortante X	3.78	Ton
Cortante Y	0.20	Ton	Cortante Y	0.21	Ton
Momento X	5.51	Ton-m	Momento X	6.33	Ton-m
Momento Y	0.41	Ton-m	Momento Y	0.43	Ton-m

Fuente: Etabs 2016. V16

Para la visualización de los valores obtenidos en el Etabs 2016 verificar en el anexo 10.1

Viga

Para la visualización de los momentos y cortantes se seleccionó la Viga central ejes B-3-4 del Nv+5.40m y la combinación de carga elegida es la 9D-SX obteniendo los siguientes estos los resultados.

Tabla 59. Valores cortantes y momentos de la viga B-3-4 Nv+ de la Est.1

NEC-2015			DETERMINISTA		
Combinación 0.9D-SX			Combinación 0.9D-SX		
Tipo de carga	**Valor**	**Unidad**	**Tipo de carga**	**Valor**	**Unidad**
Cortante	1.125	Ton	Cortante	1.12	Ton
Momento Superior	1.321	Ton-m	Momento Superior	1.75	Ton-m
Momento Inferior	0.453	Ton-m	Momento Inferior	0.48	Ton-m

Fuente: Etabs 2016. V16

Para la visualización de los valores obtenidos en el Etabs 2016 verificar en el anexo 10.1

2) Segunda Estructura a ser analizada

En esta edificación realizamos el levantamiento de información, obteniendo las siguientes características:

Tabla 60. Tabla de especificaciones para la estructura 2

Características Estructurales	
Características	**Detalle**
Sistema Estructural	Hormigón Armado
Número de pisos	5
Sección de columnas (cm)	35 cm * 60 cm 50 cm * 70 cm 40 cm * 80 cm 60 cm * 70 cm
Sección de vigas (cm)	25 cm * 50 cm
Espesor de losa (cm)	25 cm
Tipo de losa	Nervada
Altura máxima de la edificación Hm (m)	16.2 m
Propiedades de los Materiales	**Detalle**
Resistencia a la compresión del hormigón	f´c = 240 kg/cm²
Limite e fluencia del acero	Fy = 4200 kg/cm²
Módulo de elasticidad del hormigón	$Ec = 13100 * \sqrt{f´c}$
Coeficiente de Poisson	u = 0.20

Elaboración: Wilson Gavilanez

(a) Cargas Consideradas

En la determinación de las cargas a considerar de la estructura se toman en cuenta las siguientes

Carga Muerta

Para la cuantificación de la carga muerta se determinó el peso adicional de la losa, del enlucido, masillado y de los acabados, también se consideró el peso de las paredes y para visualizar el cálculo se puede ver en los anexos 9.2

Tabla 61. Cargas Muertas Adicionales Actuantes Estructura 2

CARGA MUERTA (CM) Nv+3.24, Nv+6.48, Nv+9.72	
Carga Adicional de Losa	173 kg/m²
Carga de Paredes	363.11 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	536.11 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) Nv+12.96	

Carga Adicional de Losa	173 kg/m²
Carga de Paredes	369.73 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	542.73 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) Nv+16.20	
Carga Adicional de Losa	85 kg/m²
Carga de Paredes	14.23 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	99.23 kg/m²

Elaboración: Wilson Gavilanez

Carga Viva

Para la asignación de la carga viva de la estructura se determinó de acuerdo a la NEC-SE-CG, sección 4.2. obteniendo los siguientes datos.

Tabla 62. Carga Viva de la estructura 2

CARGA VIVA	
Ocupación	**Valor**
Residencias multifamiliares Habitaciones	200 kg/m²
Cubiertas	70 kg/m²

Elaboración: Wilson Gavilanez

(b) Espectros elásticos aplicados a la estructura

Espectro elástico NEC-15

Para la determinación del espectro NEC-15 se procedió a la interpretación de datos con sus respectivos coeficientes, con la ayuda de la norma NEC-SE-DS como se observa en la tabla 63.

Tabla 63. Valores para el cálculo del espectro elástico NEC-15 de la estructura 2

Espectro Elástico NEC-15		
Coeficientes NEC	**Datos de la estructura**	**NEC Literal Norma**
Tipo de suelo	D	Sec. 3.2.1
Zona sísmica	V	Sec. 3.1.1
Z(g)	0.4	Sec. 3.2.1- 10.2.
R	8	Sec. 6.3.4.
I	1	Sec. 4.1.
Øp	1	Sec. 5,2,3,
Øe	1	Sec. 5,2,3,
Fa	1.20	Sec. 3,3,2,
Fd	1.19	Sec. 3,3,2,
Fs	1.28	Sec. 3,2,2,
Tc	0.698	Sec. 3.3.1
Ct	0.055	Sec. 6,3,3,a,
α	0.9	Sec. 6,3,3,a,

Hn (altura máxima del edificio)	16.2	m
T(s)	0.674	Sec. 6.3.3
η	2.48	Sec. 3,3,1,
r	1	Sec. 3.3.1
Sa(g)	1.190	Sec. 3.3.1
C	0.149	Sec. 3.3.1
K	1.0872	

Elaboración: Wilson Gavilanez

Para la visualización de los datos de periodo Tseg. y la aceleración del espectro NEC-215 se colocó en el Anexo 9.2

Períodos de Vibración

Para el periodo de vibración ocupamos la siguiente fórmula propuesta por la NEC-2015 que determina el periodo fundamental T

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

(Ec. 30)

Donde:

Ct = Coeficiente del tipo de edificio.

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

T = Período de vibración.

Tabla 64. Coeficientes en base al tipo de estructura

PÓRTICOS ESPECIALES DE HORMIGÓN ARMADO		
Tipo de estructura	**Ct**	α
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

Fuente: NEC SE DS 2015

$$T = 0.055 * 16.20^{0.9}$$

$$T = 0.674 \text{ seg}$$

Espectro Determinista

Con los datos obtenidos de la Tabla 49, que corresponden a los datos finales para la determinación del espectro determinista se procedió a calcular el espectro determinista inelástico por medio de los siguientes datos.

$$C = \frac{\mathrm{I} * \mathrm{Sa(Det)}}{\mathrm{R} * \emptyset\mathrm{P} * \emptyset\mathrm{E}}$$

(Ec.31)

Donde:

C = Coeficiente de reducción del espectro determinista

I = Factor de importancia

Sa (Det) = Aceleración máxima del espectro determinista

R = Factor de reducción de resistencia sísmica

$\emptyset P$ = Coeficiente de configuración en planta

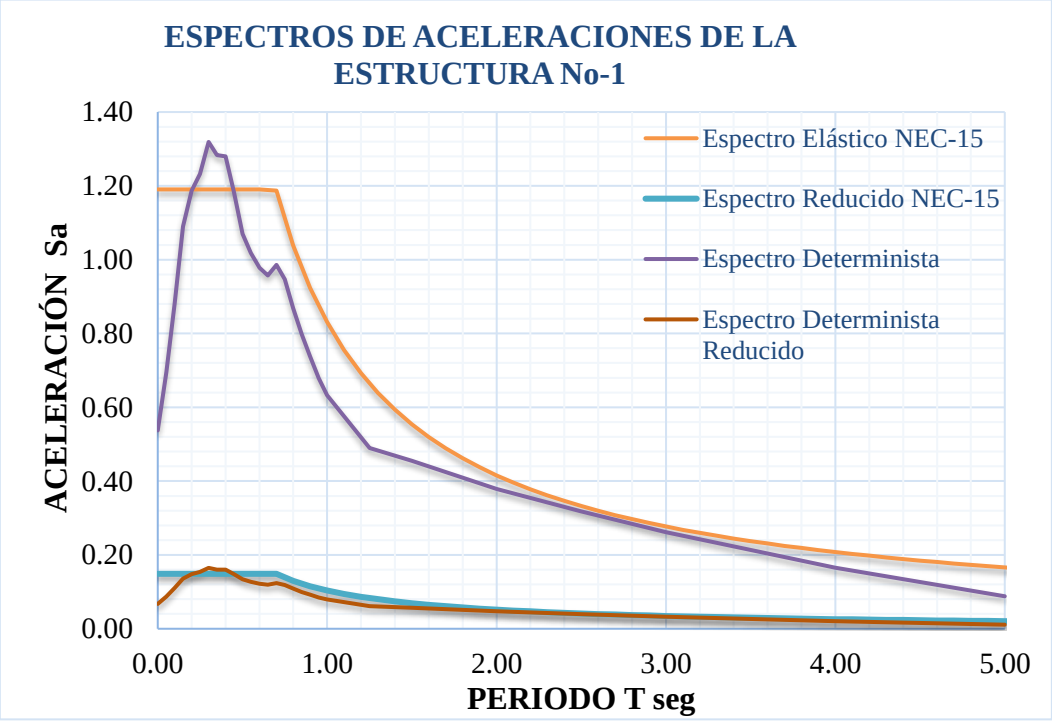
$\emptyset E$ = Coeficiente de configuración en elevación

$$C = \frac{1 * 1.319}{8 * 1 * 1}$$

$$C = 0.165$$

Con esta misma fórmula se calculó para todos los datos de periodo Tseg. y la aceleración del espectro determinista y se colocó en el Anexo 9.2

Figura 38. Espectros de Aceleración Est.-2

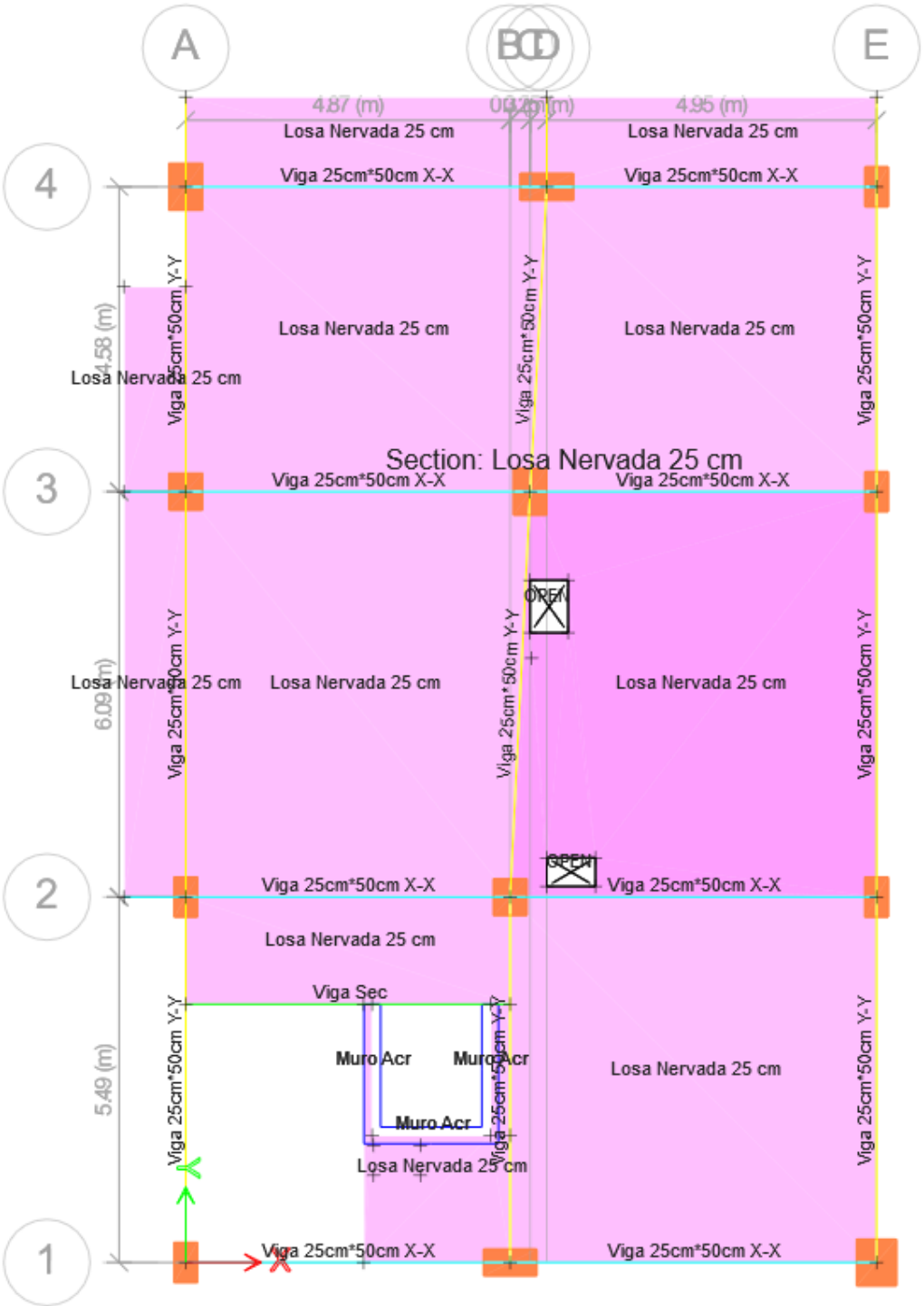


Elaboración: Wilson Gavilanez

(c) Verificación del comportamiento estructural

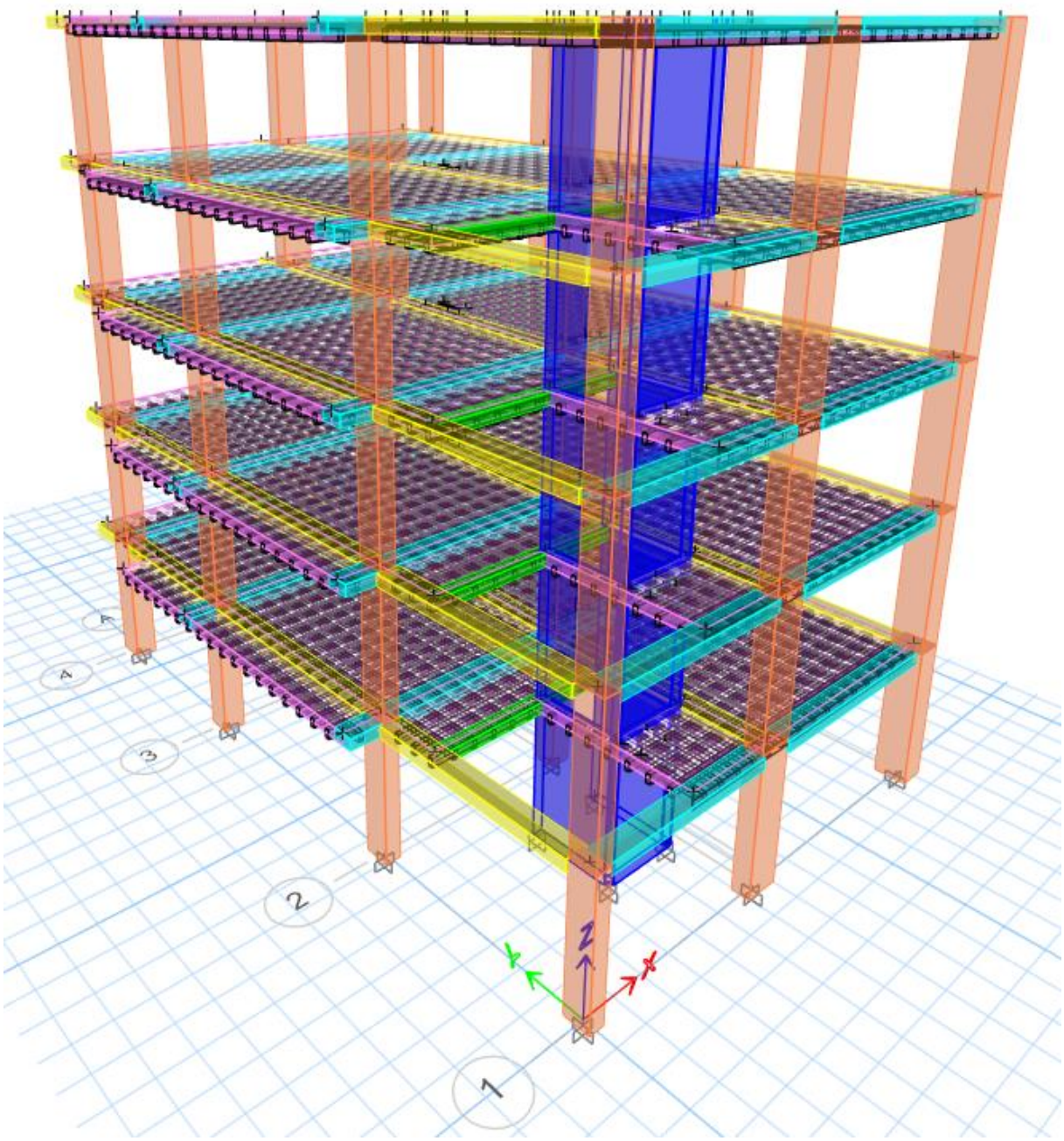
A continuación, se procedió a realizar la modelación de la estructura N-2 introduciendo el espectro NEC 2015 y el espectro determinista para luego realizar la comparación de los resultados y conocer su comportamiento

Figura 39. Vista en planta de la segunda estructura analizada



Fuente: Etabs 2016. V16

Figura 40. Vista en 3d de la segunda estructura analizada



Fuente: Etabs 2016. V16

Períodos y modos de vibración

El valor del periodo de vibración calculado con Etabs no debe ser mayor en un 30% al valor del espectro y cumple la siguiente expresión.

$$\boldsymbol{Tmodal \leq 1.3T}$$

(Ec.32)

Para la verificación de los modos de vibración, se procede analizar los 3 primeros modos de vibración, para verificar que el movimiento de los 2 primeros modos sea traslacional y el tercero rotacional, además según Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-DS, 2015, dice que todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas, para su determinación aplicamos la siguiente ecuación.

$$\%\boldsymbol{TORSIÓN} = \frac{\boldsymbol{RZ}}{(\boldsymbol{UX};\boldsymbol{UY})} * \mathbf{100} \ < \mathbf{30}\%$$

(Ec.33)

Tabla 65. Participación modal de la masa de la estructura 2

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**	**RZ**
		sec					
Modal	1	**1.0380**	**0.5063**	0.0123	0.5063	0.0123	**0.2737**
Modal	2	0.6410	0.0238	**0.7062**	0.5300	0.7185	**0.0012**
Modal	3	0.4820	0.2214	0.0134	0.7514	0.7319	0.4813
Modal	4	0.3000	0.0875	0.0021	0.8389	0.7340	0.0351
Modal	5	0.1580	0.0060	0.1668	0.8449	**0.9008**	0.0003
Modal	6	0.1500	0.0324	0.0005	0.8773	0.9014	0.0204
Modal	7	0.1150	0.0709	0.0032	**0.9482**	0.9046	0.1218
Modal	8	0.0930	0.0160	0.0004	0.9642	0.9050	0.0106
Modal	9	0.0720	0.0024	0.0602	0.9666	0.9652	0.0001
Modal	10	0.0690	0.0057	0.0003	0.9723	0.9654	0.0032
Modal	11	0.0540	0.0187	0.0018	0.9909	0.9672	0.0359
Modal	12	0.0450	0.0011	0.0242	0.9920	0.9914	0.0001
Modal	13	0.0360	0.0062	0.0013	0.9983	0.9928	0.0129
Modal	14	0.0350	0.0003	0.0066	0.9986	0.9994	0.0000
Modal	15	0.0290	0.0014	0.0006	1.0000	1.0000	0.0033

Fuente: Etabs 2016. V16

$$\boldsymbol{Tmodal} \leq \mathbf{1.3T}$$

$$1.038\ seg \ \leq \ 1.3 \ * \ 0.674\ \text{seg}$$

$$1.038\ seg \ \leq \ 0.877\ \text{seg}$$

No cumple

Modo de Vibración en UX

$$\%TORSIÓN = \frac{0.2737}{0.5063} * 100 \ < 30\%$$

$$\%TORSIÓN = 54.06\% > 30\% \therefore \textbf{ROTACIÓN}$$

Modo de Vibración en Uy

$$\%TORSIÓN = \frac{0.0012}{0.7062} * 100 \ < 30\%$$

$$\%TORSIÓN = 5.04\% \ < 30\% \therefore \textbf{TRANSLACIÓN}$$

Se verifica que el primer modo de vibración genera torción en planta ya que supera el 30% permitido y el segundo modo de vibración son traslacionales y no generan torción en planta. Además, se visualiza que al menos del 90% de la masa modal recae en el quito modo de vibración y séptimo modo de vibración cumplimento que participe el 90% de la masa en cualquier modo de vibración.

Cortante Basal Estático vs. Cortante Basal Dinámico

La NEC-SE-DS, 2015 instituye que el valor del cortante dinámico total en el base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

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

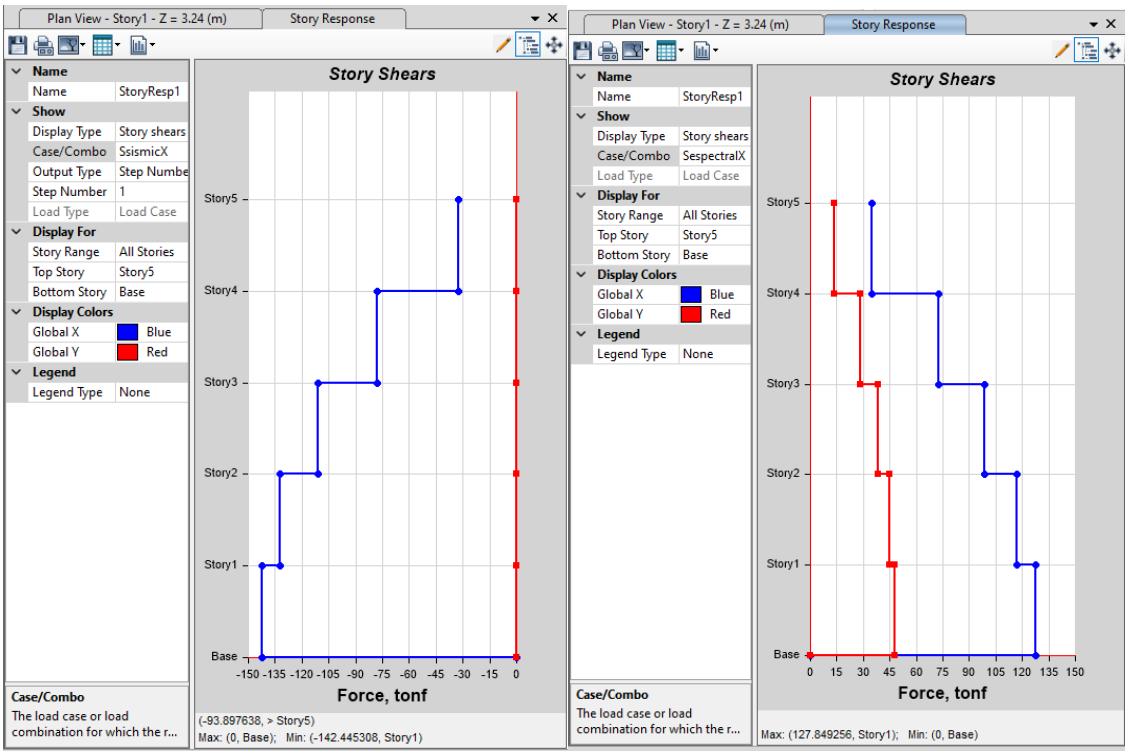
Para realizar la verificación empleamos la relación más crítica.

$$Vdinámico \ \geq \ 85\% \, Vestático$$

(Ec.34)

Comparación del cortante basal con el espectro NEC-2015

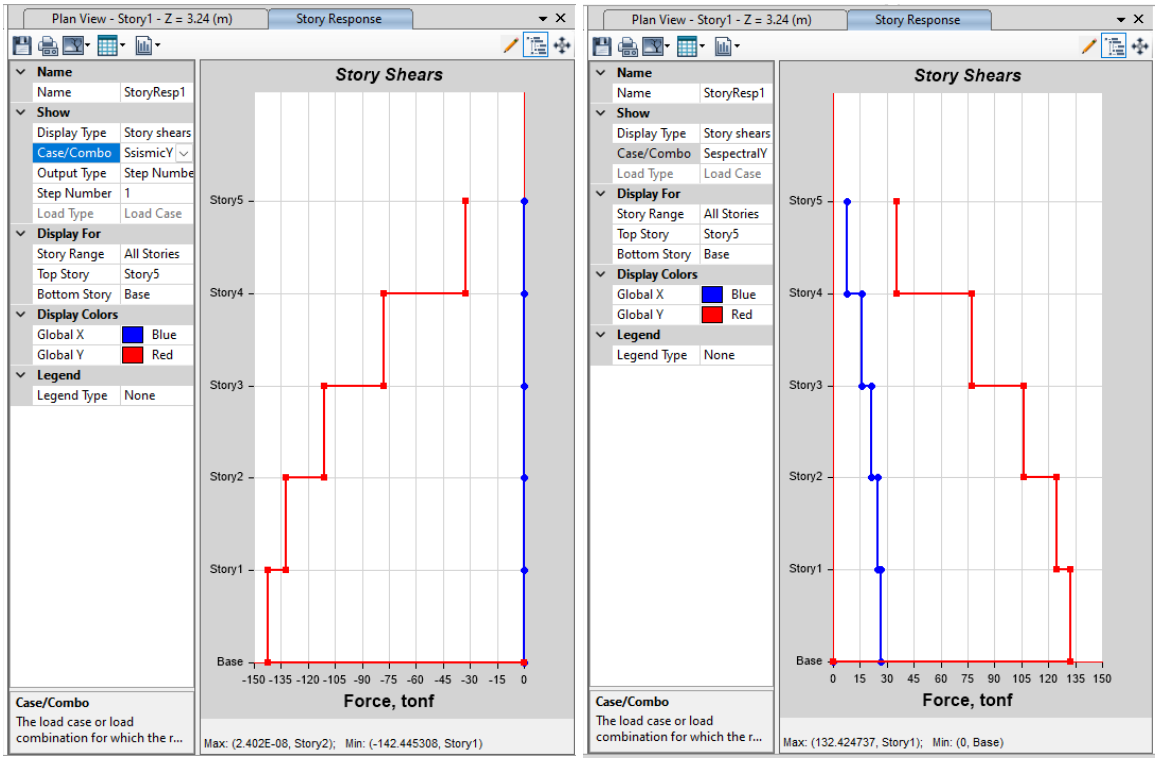
Figura 41. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2



Fuente: Etabs 2016. V16

Sentido Y-Y

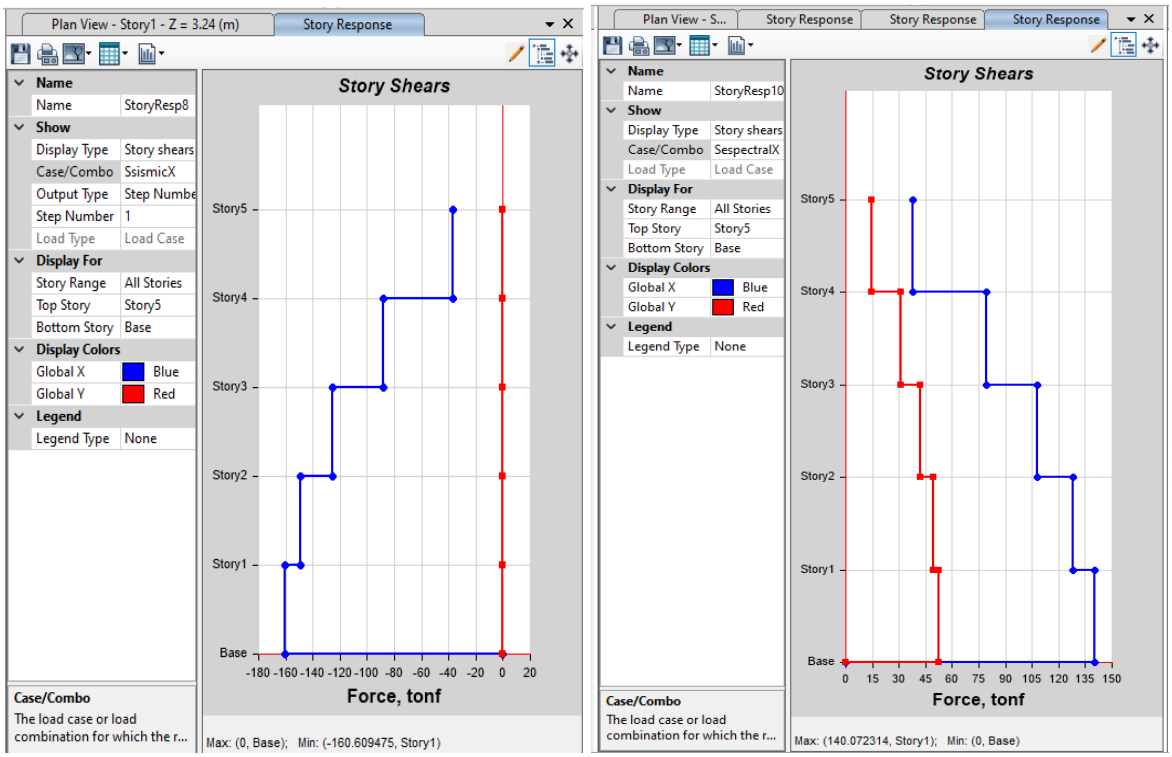
Figura 42. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2



Fuente: Etabs 2016. V16

Comparación del cortante basal con el espectro determinista

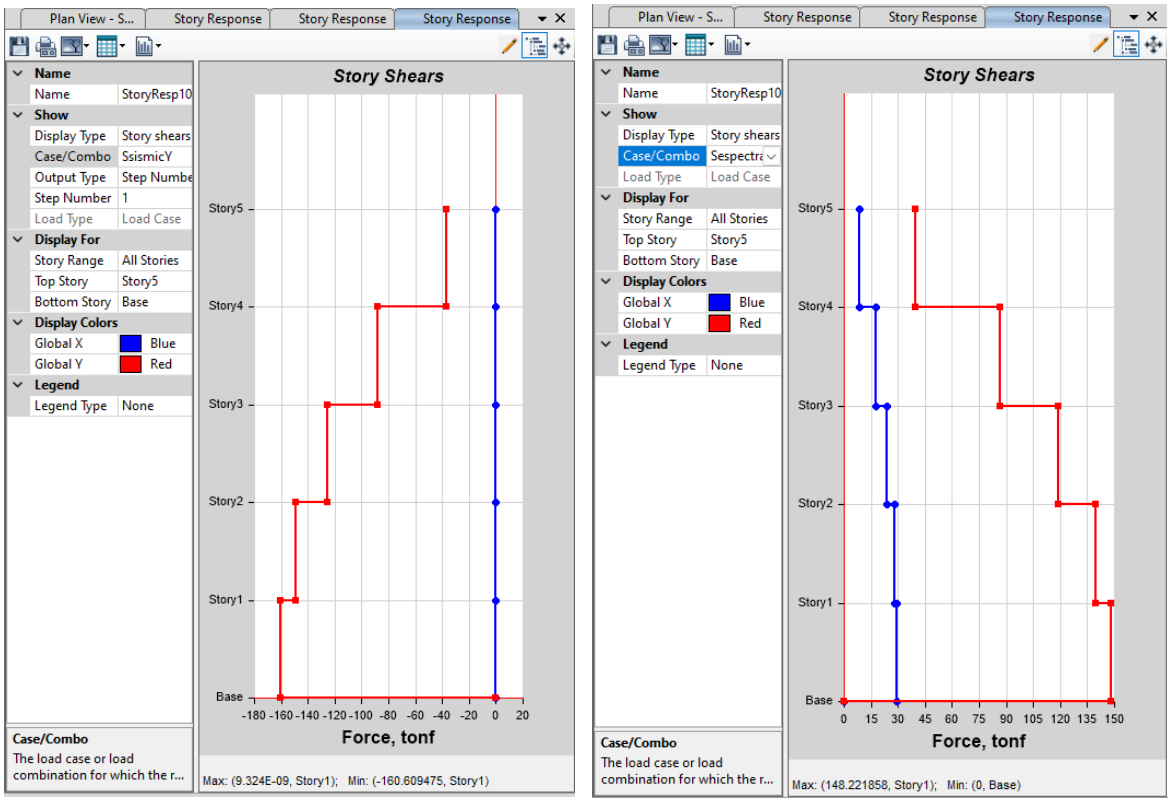
Figura 43. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2



Fuente: Etabs 2016. V16

Sentido Y-Y

Figura 44. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-2



Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 66. Resumen del cortante basal de la estructura N-2

Espectro	Cortante Basal (ton)		Cortante Basal Dinámico/Cortante Basal Dinámico (%)	Observaciones
	Estático	Dinámico		
Sentido X-X				
NEC-2015	142.445	127.849	89.75%	Cumple
Sentido Y-Y				
NEC-2015	142.445	132.425	92.97%	Cumple
Sentido X-X				
Determ.	160.609	140.073	87.21%	Cumple
Sentido Y-Y				
Determ.	160.609	148.222	92.29%	Cumple

Elaboración: Wilson Gavilanez

Verificación de las derivas de piso

En este apartado se realizó la revisión de las derivas de piso con la finalidad de verificar que no sobrepasen los límites que propone la NEC-2015

$$\Delta M.INELÁSTICA \leq 2\%$$

(Ec.35)

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

(Ec.36)

Dónde:

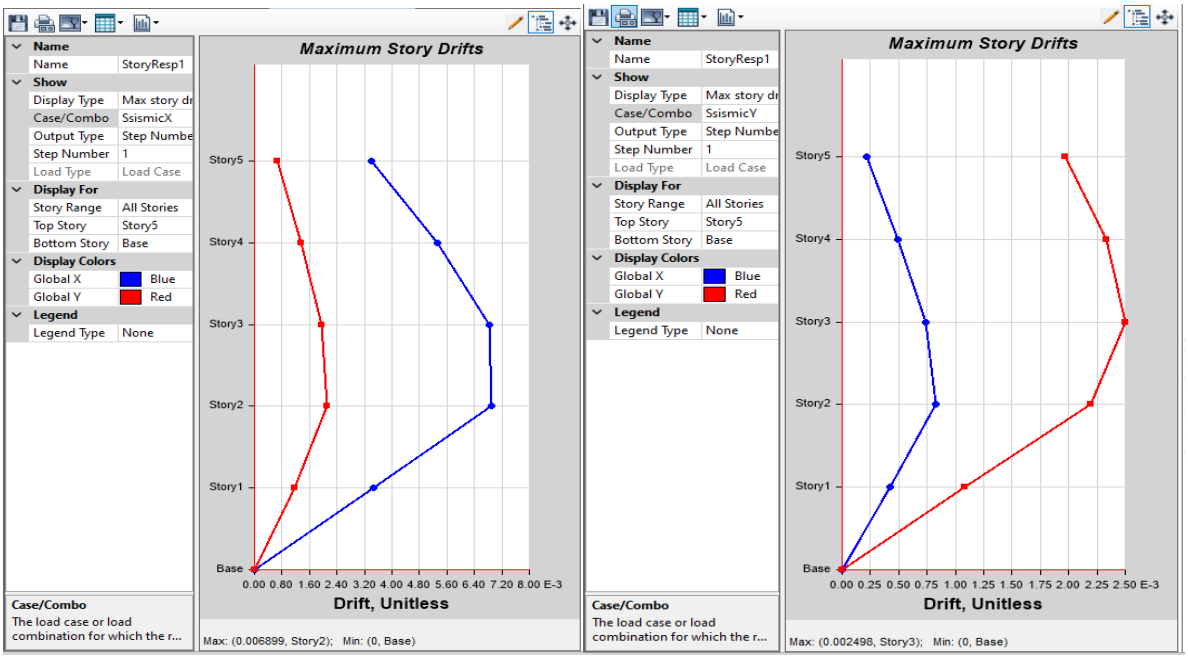
$\Delta \boldsymbol{M}$= Deriva máxima inelástica

$\Delta \boldsymbol{E}$= Deriva máxima elástica

R= Factor de reducción

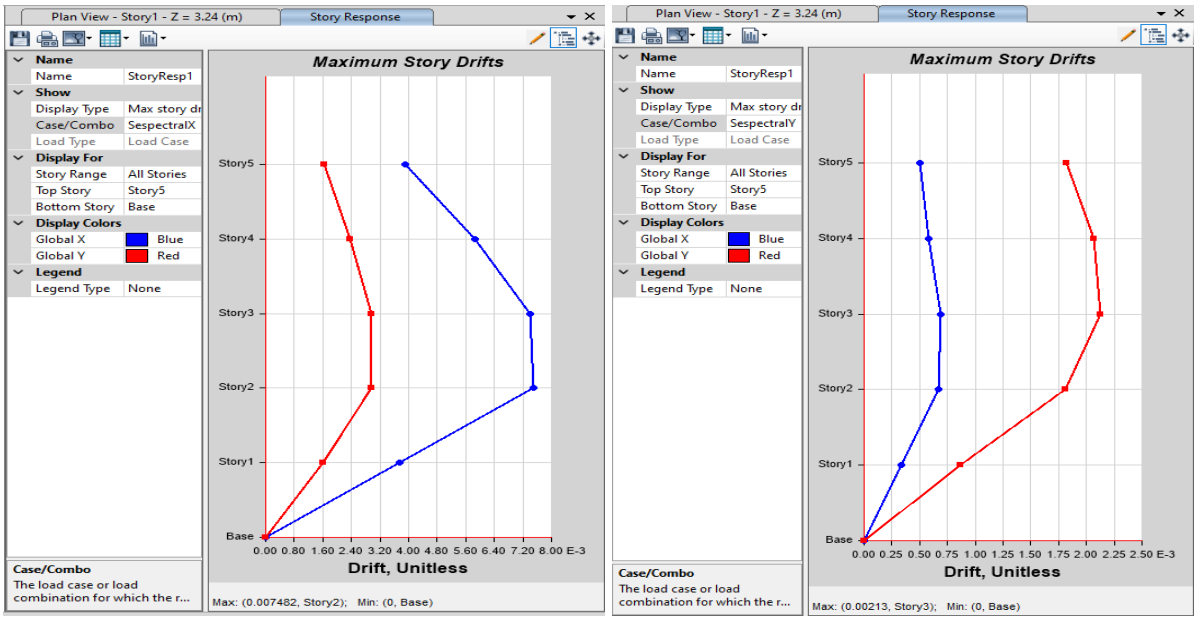
Derivas de piso con el espectro NEC-2015

Figura 45. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 2



Fuente: Etabs 2016. V16

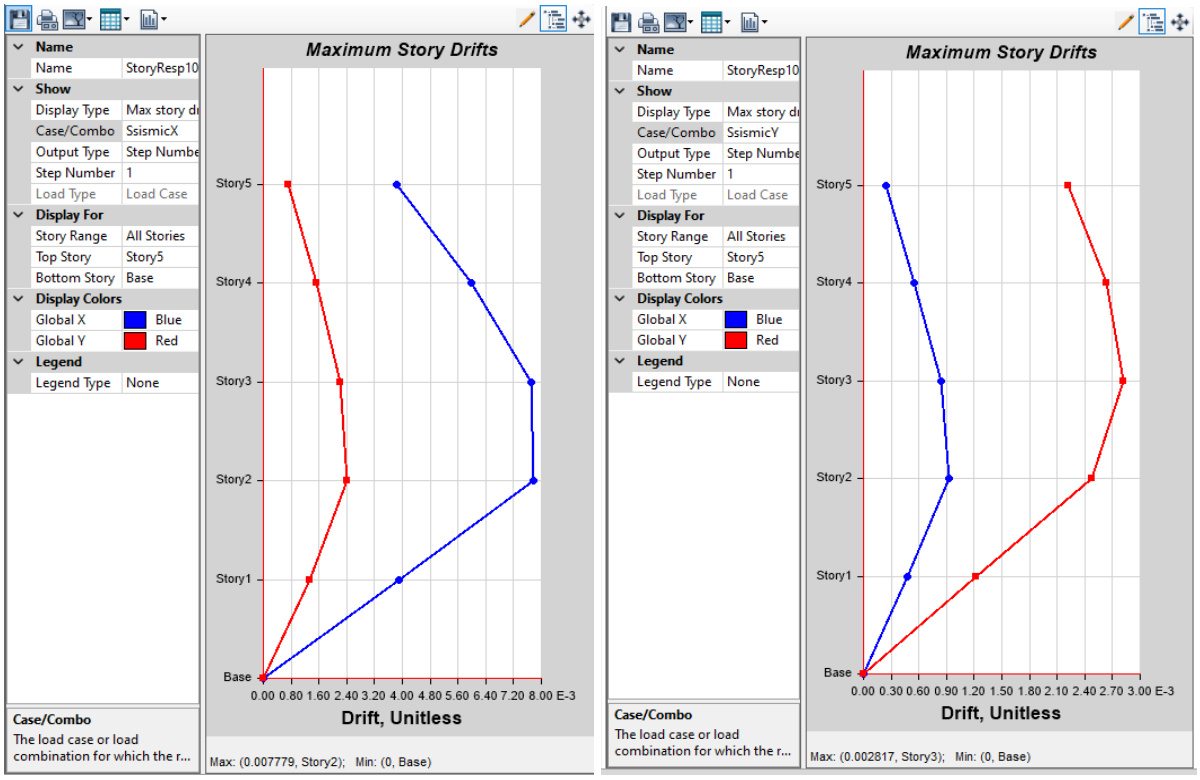
Figura 46. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 2



Fuente: Etabs 2016. V16

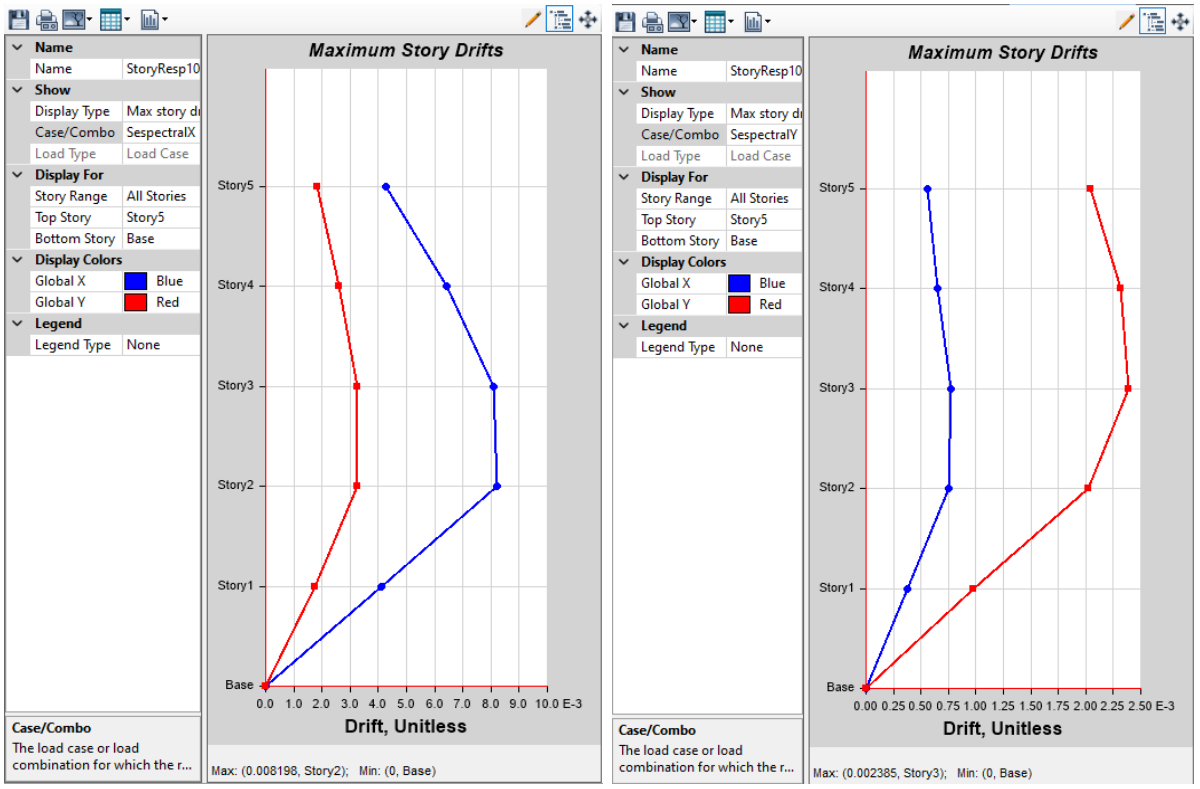
Derivas de piso con el espectro Determinista

Figura 47. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 2



Fuente: Etabs 2016. V16

Figura 48. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 2



Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 67. Derivas de piso con los espectros NEC-2015 y determinista de la estructura 2

Derivas Inelásticas con el espectro de la NEC 2015 y Determinista								
Espectro	Derivas Elásticas				Derivas Inelásticas ΔM = 0.75*R*ΔE			
	Análisis Estático (%)		Análisis Dinámico (%)		Análisis Estático (%)		Análisis Dinámico (%)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
NEC	0.0069	0.0025	0.0075	0.0021	4.14%	1.50%	4.49%	1.28%
Determinista	0.0078	0.0028	0.0082	0.0024	4.67%	1.69%	4.92%	1.43%

Elaboración: Wilson Gavilanez

Al verificar las derivas de piso se puede concluir que en el análisis de la estructura 2, las derivas tanto para el espectro NEC-2015 y determinista no cumple ya que son mayores al 2%.

Diagramas de momentos, cortantes y fuerzas axiales de elementos estructurales

Columna

Para la visualización de los momentos, cortantes y fuerzas axiales se seleccionó la columna central del eje B-3 y la combinación de carga que tubo mayores valores es la 1.2D+L-SX obteniendo los siguientes estos los resultados.

Tabla 68. Valores de Cargas de fuerzas axiales cortantes y momentos de la columna B-3 de la Est.2

NEC-2015			DETERMINISTA		
Combinación 1.2D+L-SX			Combinación 1.2D+L-SX		
Tipo de carga	Valor	Unidad	Tipo de carga	Valor	Unidad
Fuerza Axial	196.288	Ton	Fuerza Axial	196.72	Ton
Cortante X	10.184	Ton	Cortante X	11.49	Ton
Cortante Y	2.990	Ton	Cortante Y	2.69	Ton
Momento X	29.951	Ton-m	Momento X	33.75	Ton-m
Momento Y	2.190	Ton-m	Momento Y	2.62	Ton-m

Fuente: Etabs 2016. V16

Para la visualización de los valores obtenidos en el Etabs 2016 verificar en el anexo 10.2

Viga

Para la visualización de los momentos y cortantes se seleccionó la Viga central ejes B-3-4 del Nv+12.96m y la combinación de carga elegida es la 9D-SX obteniendo los siguientes estos los resultados.

Tabla 69. Valores cortantes y momentos de la viga B-2-3 del Nv+12.96m de la Est.2

NEC-2015			DETERMINISTA		
Combinación 0.9D-SX			Combinación 0.9D-SX		
Tipo de carga	**Valor**	**Unidad**	**Tipo de carga**	**Valor**	**Unidad**
Cortante	2.510	Ton	Cortante	2.690	Ton
Momento Superior	1.070	Ton-m	Momento Superior	1.099	Ton-m
Momento Inferior	1.877	Ton-m	Momento Inferior	1.978	Ton-m

Fuente: Etabs 2016. V16

Para la visualización de los valores obtenidos en el Etabs 2016 verificar en el anexo 10.2

3) Tercera Estructura a ser analizada

En esta edificación realizamos el levantamiento de información, obteniendo las siguientes características:

Tabla 70. Tabla de especificaciones para la estructura 3

Características Estructurales	
Características	**Detalle**
Sistema Estructural	Hormigón Armado
Número de pisos	2
Sección de columnas (cm)	30 cm * 30 cm
Sección de vigas (cm)	30 cm * 20 cm
Espesor de losa (cm)	20 cm
Tipo de losa	Nervada
Altura máxima de la edificación Hm (m)	7.54 m
Propiedades de los Materiales	**Detalle**
Resistencia a la compresión del hormigón	f´c = 210 kg/cm²
Limite e fluencia del acero	Fy = 4200 kg/cm²
Módulo de elasticidad del hormigón	$Ec = 13100 * \sqrt{f´c}$
Coeficiente de Poisson	u = 0.20

Elaboración: Wilson Gavilanez

(a) Cargas Consideradas

En la determinación de las cargas a considerar de la estructura se toman en cuenta las siguientes

Carga Muerta

Para la cuantificación de la carga muerta se determinó el peso adicional de la losa, del enlucido, masillado y de los acabados, también se consideró el peso de las paredes y para visualizar el cálculo se puede ver en los anexos 9.3

Tabla 71. Cargas Muertas Adicionales Actuantes Estructura 3

CARGA MUERTA (CM) Nv+2.52 m	
Carga Adicional de Losa	187 kg/m²
Carga de Paredes	301.44 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	488.44 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) Nv+5.04 m	
Carga Adicional de Losa	187 kg/m²
Carga de Paredes	172.84 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	359.84 kg/m²

CARGA MUERTA (CM) Nv+7.54 m	
Carga Adicional de Losa	118 kg/m²
Carga de Paredes	91.67 kg/m²
CARGA MUERTA (CM) TOTAL	209.67 kg/m²

Elaboración: Wilson Gavilanez

Carga Viva

Para la asignación de la carga viva de la estructura se determinó de acuerdo a la NEC-SE-CG, sección 4.2. obteniendo los siguientes datos.

Tabla 72. Carga Viva de la estructura 3

CARGA VIVA	
Ocupación	**Valor**
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	200 kg/m²
Cubiertas	70 kg/m²

Elaboración: Wilson Gavilanez

(b) Espectros elásticos aplicados a la estructura

Espectro elástico NEC-15

Para la determinación del espectro NEC-15 se procedió a la interpretación de datos con sus respectivos coeficientes, con la ayuda de la norma NEC-SE-DS como se observa en la tabla 73.

Tabla 73. Valores para el cálculo del espectro elástico NEC-15 de la estructura 3

Espectro Elástico NEC-15		
Coeficientes NEC	**Datos de la estructura**	**NEC Literal Norma**
Tipo de suelo	D	Sec. 3.2.1
Zona sísmica	V	Sec. 3.1.1
Z(g)	0.4	Sec. 3.2.1- 10.2.
R	7	Sec. 6.3.4.
I	1	Sec. 4.1.
Øp	0.9	Sec. 5,2,3,
Øe	1	Sec. 5,2,3,
Fa	1.20	Sec. 3,3,2,
Fd	1.19	Sec. 3,3,2,
Fs	1.28	Sec. 3,2,2,
Tc	0.698	Sec. 3.3.1
Ct	0.055	Sec. 6,3,3,a,
α	0.9	Sec. 6,3,3,a,
Hn (altura máxima del edificio)	7.54	m
T(s)	0.339	Sec. 6.3.3
η	2.48	Sec. 3,3,1,

r	1	Sec. 3.3.1
Sa(g)	1.190	Sec. 3.3.1
C	0.189	Sec. 3.3.1
K	1.0000	

Elaboración: Wilson Gavilanez

Para la visualización de los datos de periodo Tseg. y la aceleración del espectro NEC-215 se colocó en el Anexo 9.3

Períodos de Vibración

Para el periodo de vibración ocupamos la siguiente fórmula propuesta por la NEC-2015 que determina el periodo fundamental T

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

(Ec. 30)

Donde:

Ct = Coeficiente del tipo de edificio.

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

T = Período de vibración.

Tabla 74. Coeficientes en base al tipo de estructura

PÓRTICOS ESPECIALES DE HORMIGÓN ARMADO		
Tipo de estructura	**Ct**	$\boldsymbol{\alpha}$
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

Fuente: NEC SE DS 2015

$$T = 0.055 * 7.54^{0.9}$$

$$T = 0.339 \text{ seg}$$

Espectro Determinista

Con los datos obtenidos de la Tabla 49, que corresponden a los datos finales para la determinación del espectro determinista se procedió a calcular el espectro determinista inelástico por medio de los siguientes datos.

$$C = \frac{\mathrm{I} * \mathrm{Sa(Det)}}{\mathrm{R} * \emptyset\mathrm{P} * \emptyset\mathrm{E}}$$

(Ec.31)

Donde:

C = Coeficiente de reducción del espectro determinista

I = Factor de importancia

Sa (Det) = Aceleración máxima del espectro determinista

R = Factor de reducción de resistencia sísmica

$\emptyset P$ = Coeficiente de configuración en planta

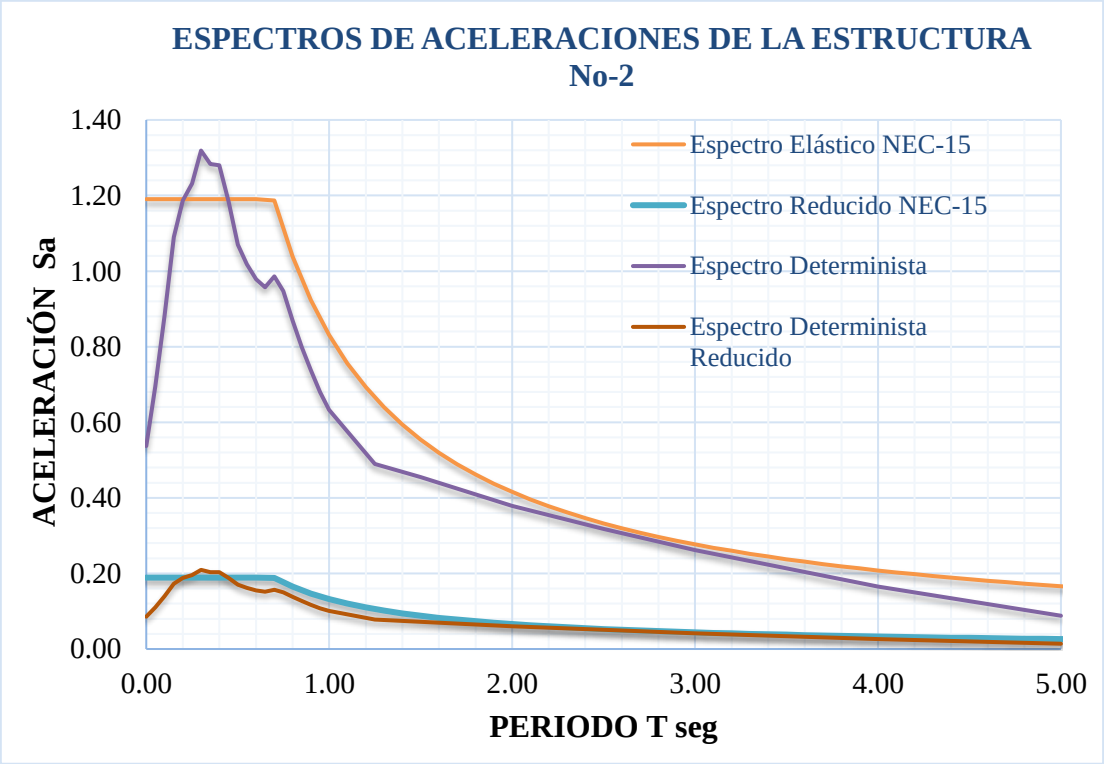
$\emptyset E$ = Coeficiente de configuración en elevación

$$C = \frac{1 * 1.319}{7 * 1 * 1}$$

$$C = 0.209$$

Con esta misma fórmula se calculó para todos los datos de periodo Tseg. y la aceleración del espectro determinista y se colocó en el Anexo 9.3

Figura 49. Espectros de Aceleración Est.-3



Elaboración: Wilson Gavilanez

(c) Verificación del comportamiento estructural

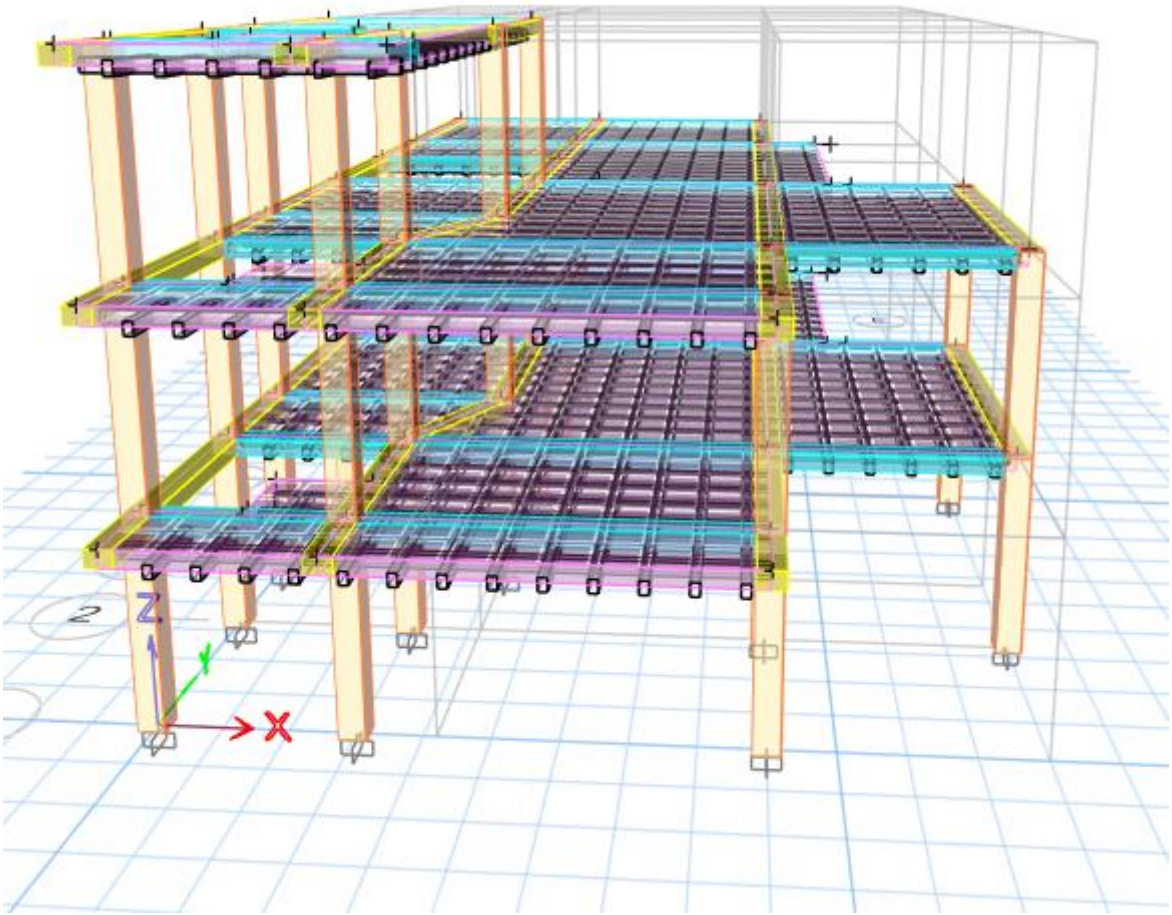
A continuación, se procedió a realizar la modelación de la estructura N-3 introduciendo el espectro NEC 2015 y el espectro determinista para luego realizar la comparación de los resultados y conocer su comportamiento

Figura 50. Vista en planta de la tercera estructura analizada



Fuente: Etabs 2016. V16

Figura 51. Vista en 3d de la tercera estructura analizada



Fuente: Etabs 2016. V16

Períodos y modos de vibración

El valor del periodo de vibración calculado con Etabs no debe ser mayor en un 30% al valor del espectro y cumple la siguiente expresión.

$$\boldsymbol{Tmodal \leq 1.3T}$$

(Ec.32)

Para la verificación de los modos de vibración, se procede analizar los 3 primeros modos de vibración, para verificar que el movimiento de los 2 primeros modos sea traslacional y el tercero rotacional, además según Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-SE-DS, 2015, dice que todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas, para su determinación aplicamos la siguiente ecuación.

$$\%\boldsymbol{TORSIÓN} = \frac{\boldsymbol{RZ}}{(\boldsymbol{UX};\boldsymbol{UY})} * \boldsymbol{100} \ < \boldsymbol{30}\%$$

(Ec.33)

Tabla 75. Participación modal de la masa de la estructura 3

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**	**RZ**
		sec					
Modal	1	**0.435**	0.3798	**0.407**	0.3798	0.407	**0.0757**
Modal	2	0.432	**0.4536**	0.4097	0.8334	0.8167	**0.0015**
Modal	3	0.387	0.0302	0.0467	0.8636	0.8634	0.7838
Modal	4	0.155	0.061	0.0269	**0.9245**	0.8903	0.0058
Modal	5	0.153	0.0211	0.06	0.9456	**0.9503**	0.0059
Modal	6	0.136	0.0004	0.0023	0.946	0.9525	0.0504
Modal	7	0.122	0.026	0.0174	0.972	0.9699	0.0441
Modal	8	0.11	0.0233	0.0233	0.9953	0.9932	0.0003
Modal	9	0.095	0.0047	0.0068	1	1	0.0325

Fuente: Etabs 2016. V16

$$\boldsymbol{Tmodal \leq 1.3T}$$

$$0.435\ seg\ \leq\ 1.3\ *\ 0.339\ \text{seg}$$

$$0.435\ seg\ \leq\ 0.441\ \text{seg}$$

Si cumple

Modo de Vibración en UX

$$\%TORSIÓN = \frac{0.0015}{0.4536} * 100\ < 30\%$$

$$\%TORSIÓN = 18.60\% < 30\% \therefore \textbf{TRANSLACIÓN}$$

Modo de Vibración en Uy

$$\%TORSIÓN = \frac{0.0757}{0.407} * 100\ < 30\%$$

$$\%TORSIÓN = 0.33\% < 30\% \therefore \textbf{TRANSLACIÓN}$$

Se verifica que en el primero y el segundo modo de vibración son traslacionales y no generan torción en planta. Además, se visualiza que al menos del 90% de la masa modal recae en el cuarto modo de vibración y quinto modo de vibración cumplimento que participe el 90% de la masa en cualquier modo de vibración.

Cortante Basal Estático vs. Cortante Basal Dinámico

La NEC-SE-DS, 2015 instituye que el valor del cortante dinámico total en el base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

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

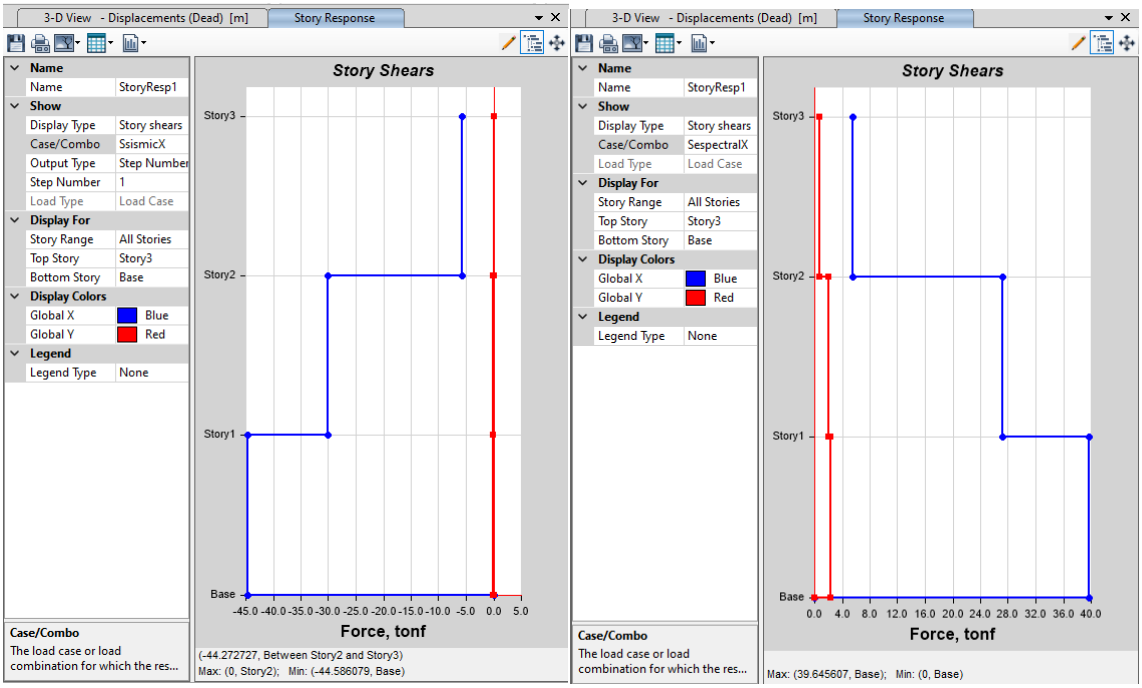
Para realizar la verificación empleamos la relación más crítica.

$$Vdinámico\ \geq\ 85\%\ Vestático$$

(Ec.34)

Comparación del cortante basal con el espectro NEC-2015

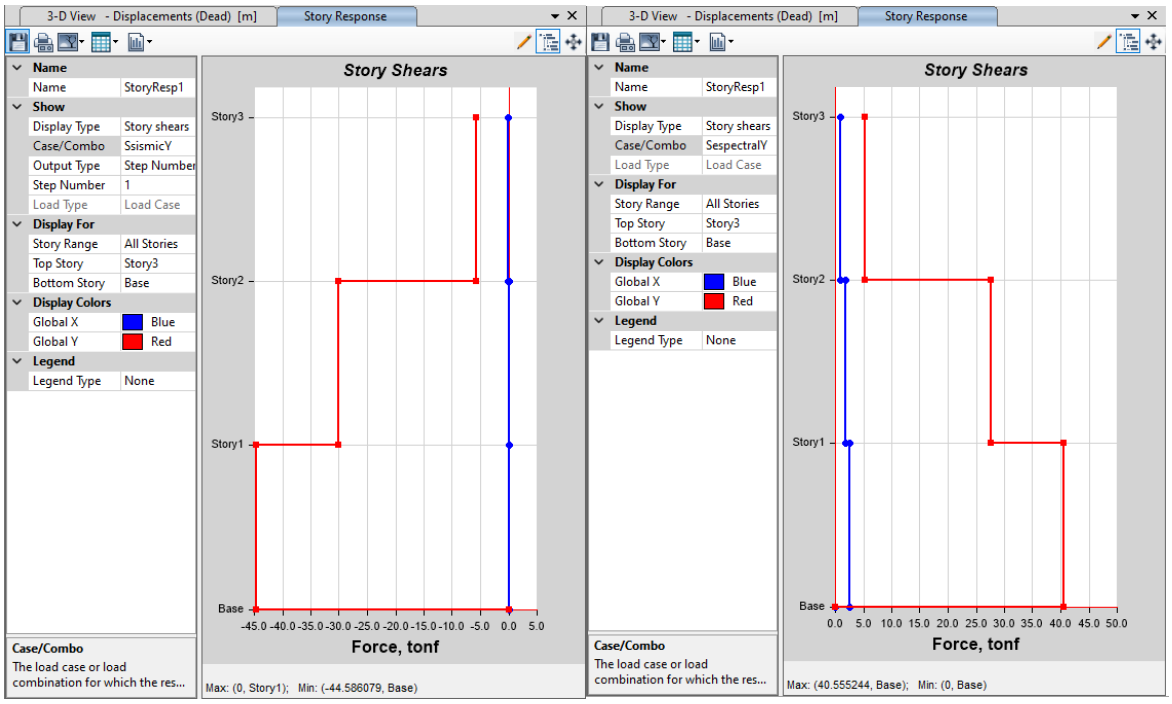
Figura 52. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3



Fuente: Etabs 2016. V16

Sentido Y-Y

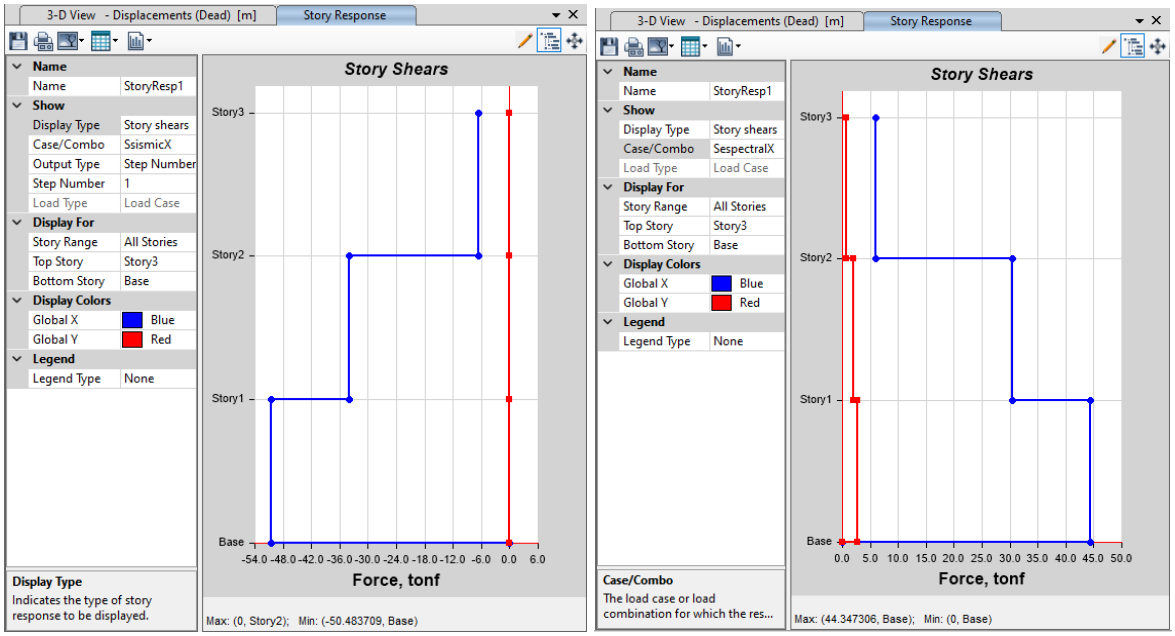
Figura 53. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3



Fuente: Etabs 2016. V16

Comparación del cortante basal con el espectro determinista

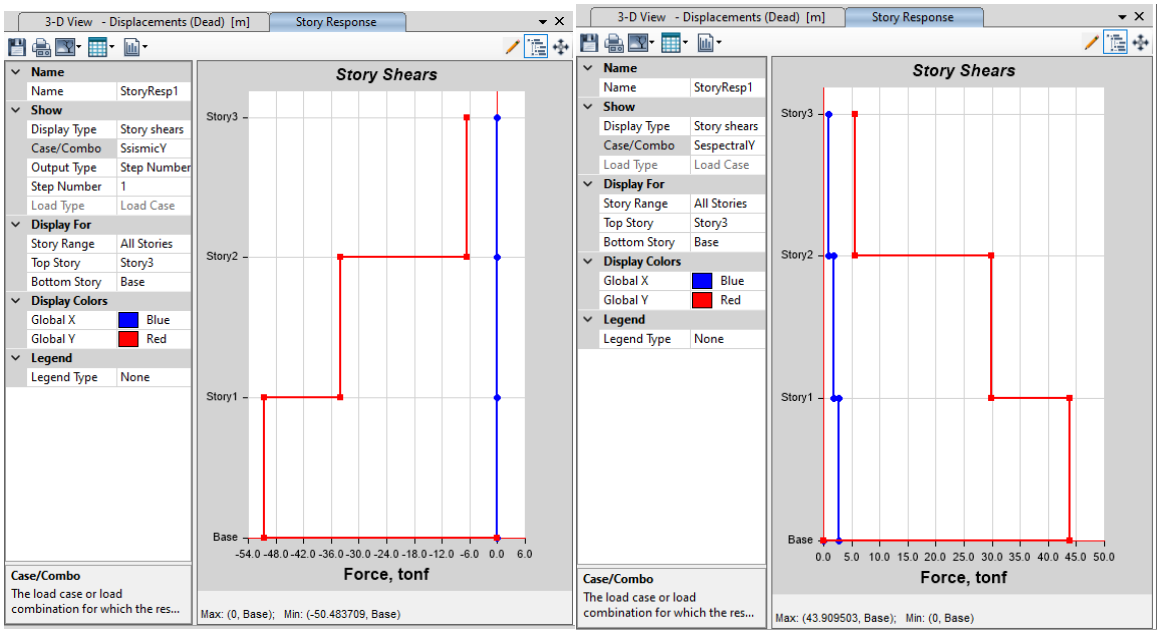
Figura 54. Sentido X-X Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3



Fuente: Etabs 2016. V16

Sentido Y-Y

Figura 55. Sentido Y-Y Cortante Dinámico Vs Estático Est.-3



Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 76. Resumen del cortante basal de la estructura N-3

Espectro	Cortante Basal (ton)		Cortante Basal Dinámico/Cortante Basal Dinámico (%)	Observaciones
	Estático	Dinámico		
		Sentido X-X		
NEC-2015	44.273	39.646	89.75%	Cumple
		Sentido Y-Y		
NEC-2015	44.586	40.555	92.97%	Cumple
		Sentido X-X		
Determ.	50.484	44.347	87.21%	Cumple
		Sentido Y-Y		
Determ.	50.484	43.910	92.29%	Cumple

Elaboración: Wilson Gavilanez

Verificación de las derivas de piso

En este apartado se realizó la revisión de las derivas de piso con la finalidad de verificar que no sobrepasen los límites que propone la NEC-2015

$$\Delta \boldsymbol{M.INELÁSTICA} \leq \mathbf{2}\%$$

(Ec.35)

$$\Delta \boldsymbol{M} = \mathbf{0.75} * \boldsymbol{R} * \Delta \boldsymbol{E}$$

(Ec.36)

Dónde:

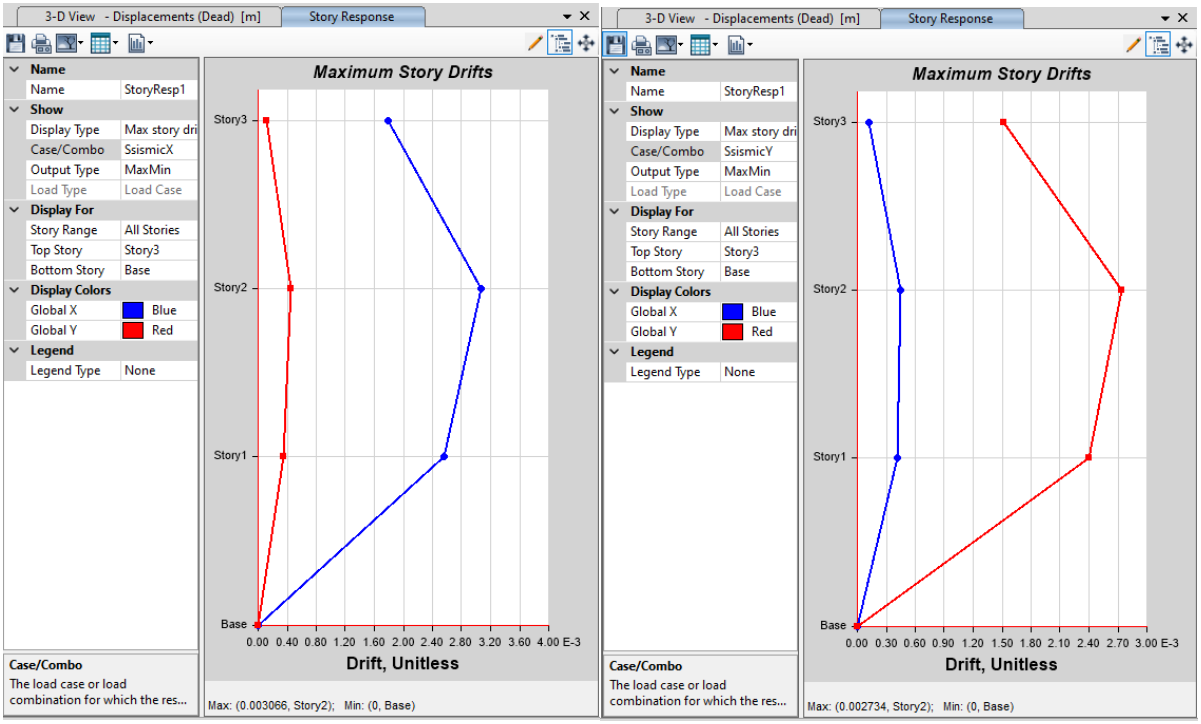
$\Delta \boldsymbol{M}$= Deriva máxima inelástica

$\Delta \boldsymbol{E}$= Deriva máxima elástica

R= Factor de reducción

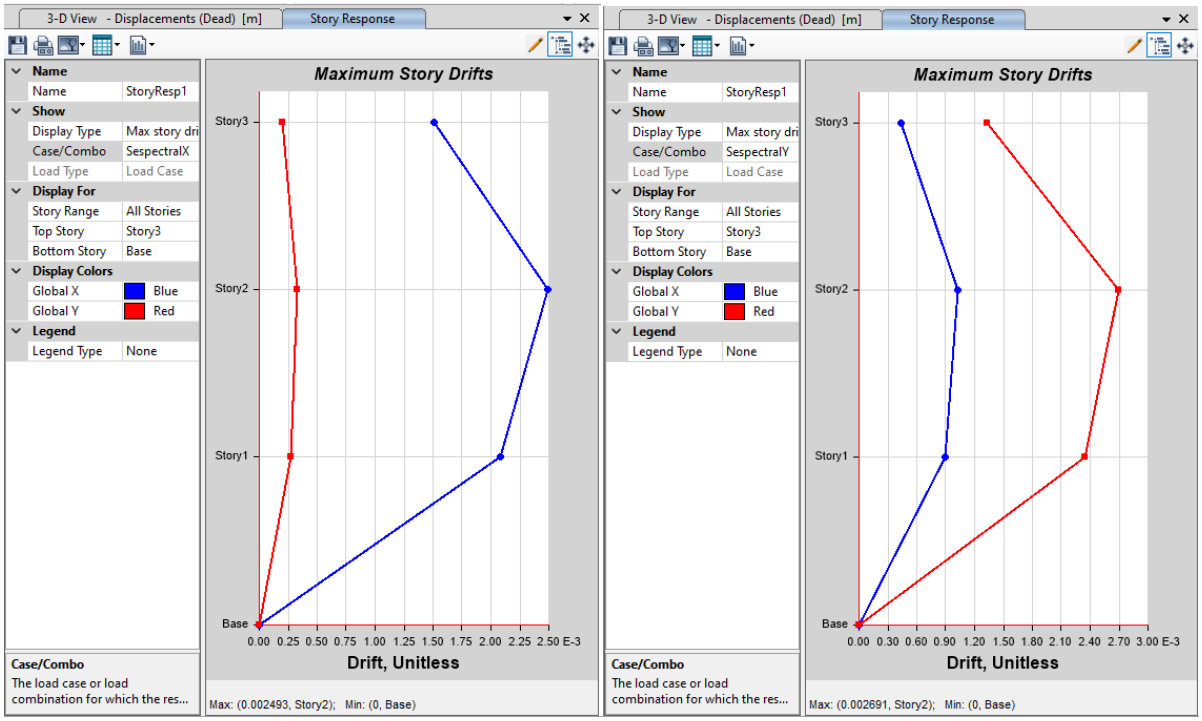
Derivas de piso con el espectro NEC-2015

Figura 56. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 3



Fuente: Etabs 2016. V16

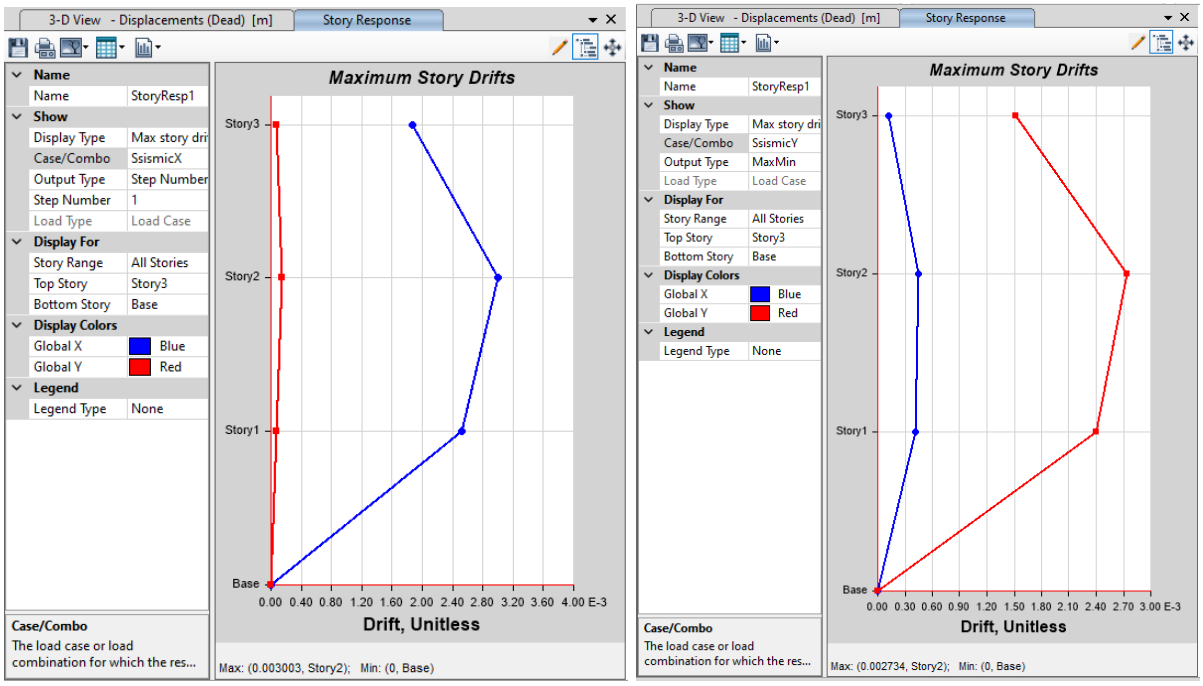
Figura 57. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 3



Fuente: Etabs 2016. V16

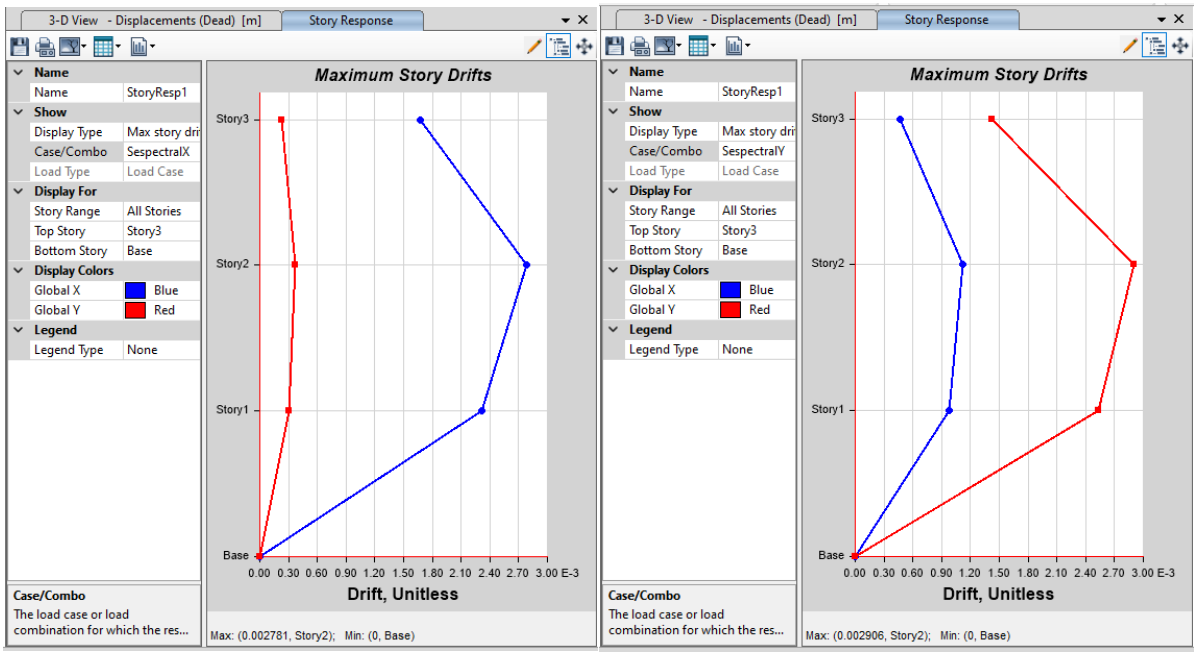
Derivas de piso con el espectro Determinista

Figura 58. Derivas elásticas estáticas en el sentido X y Y estructura 3



Fuente: Etabs 2016. V16

Figura 59. Derivas elásticas dinámicas en el sentido X y Y estructura 3



Fuente: Etabs 2016. V16

Tabla 77. Derivas de piso con los espectros NEC-2015 y determinista de la estructura 3

Derivas Inelásticas con el espectro de la NEC 2015 y Determinista								
Espectro	Derivas Elásticas				Derivas Inelásticas ΔM = 0.75*R*ΔE			
	Análisis Estático (%)		Análisis Dinámico (%)		Análisis Estático (%)		Análisis Dinámico (%)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
NEC	0.0031	0.0027	0.0025	0.0027	1.84%	1.64%	1.50%	1.61%
Determinista	0.0030	0.0027	0.0028	0.0029	1.80%	1.64%	1.67%	1.74%

Elaboración: Wilson Gavilanez

Al verificar las derivas de piso se puede concluir que en el análisis de la estructura 3, las derivas tanto para el espectro NEC-2015 y determinista si cumple ya que son menores al 2%.

Diagramas de momentos, cortantes y fuerzas axiales de elementos estructurales

Columna

Para la visualización de los momentos, cortantes y fuerzas axiales se seleccionó la columna central del eje C-3 y la combinación de carga que tubo mayores valores es la 1.2D+L+SX obteniendo los siguientes estos los resultados.

Tabla 78. Valores de Cargas de fuerzas axiales cortantes y momentos de la columna C-3 de la Est.3

NEC-2015			DETERMINISTA		
Combinación 1.2D+L+SX			Combinación 1.2D+L+SX		
Tipo de carga	Valor	Unidad	Tipo de carga	Valor	Unidad
Fuerza Axial	30.793	Ton	Fuerza Axial	31.24	Ton
Cortante X	2.304	Ton	Cortante X	2.56	Ton
Cortante Y	2.304	Ton	Cortante Y	2.56	Ton
Momento X	3.480	Ton-m	Momento X	3.88	Ton-m
Momento Y	3.480	Ton-m	Momento Y	3.88	Ton-m

Fuente: Etabs 2016. V16

Para la visualización de los valores obtenidos en el Etabs 2016 verificar en el anexo 10.3

Viga

Para la visualización de los momentos y cortantes se seleccionó la Viga central ejes B-D-2 del Nv+2.52m y la combinación de carga que tubo mayores valores es la 1.2D+L+SX obteniendo los siguientes estos los resultados.

Tabla 79. Valores cortantes y momentos de la viga B-D-2 del Nv+2.52m de la Est.3

NEC-2015			DETERMINISTA		
Combinación 1.2D+L+SX			Combinación 1.2D+L+SX		
Tipo de carga	**Valor**	**Unidad**	**Tipo de carga**	**Valor**	**Unidad**
Cortante	1.536	Ton	Cortante	1.584	Ton
Momento Superior	1.178	Ton-m	Momento Superior	1.236	Ton-m
Momento Inferior	0.444	Ton-m	Momento Inferior	0.457	Ton-m

Fuente: Etabs 2016. V16

Para la visualización de los valores obtenidos en el Etabs 2016 verificar en el anexo 10.3

J. COMPARACIÓN Y RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS ESTRUCTURAS

1) Primera Estructura

Tabla 80. Resumen de los resultados obtenidos de la estructura N-1

DETALLE	ESPECTRO NEC-2015	ESPECTRO DETERMINISTA	UNIDADES
Aceleración máxima del espectro (Sa)	1.19	1.319	
Cortante Basal (C)	0.149	0.165	
Modo de Vibración en Ux	2.79%		
Modo de Vibración en Uy	5.85%		
Fuerza del cortante basal Estático X	22.96	25.45	tonf
Fuerza del cortante basal Estático Y	22.96	25.45	tonf
Fuerza del cortante basal Dinámico X	19.94	21.82	tonf
Fuerza del cortante basal Dinámico Y	19.94	22.07	tonf
Derivas Inelásticas con el Análisis Estático X	2.63%	3.22%	
Derivas Inelásticas con el Análisis Estático Y	2.26%	2.80%	
Derivas Inelásticas con el Análisis Dinámico X	2.76%	3.02%	

Derivas Inelásticas con el Análisis Dinámico Y	2.20%	2.42%	
CARGAS DE FUERZAS AXIALES CORTANTES Y MOMENTOS DE LA COLUMNA B-4 DE LA COMBINACIÓN 1.2D+L-SX			
Fuerza Axial	46.25	47.07	Ton
Cortante X	3.35	3.78	Ton
Cortante Y	0.2	0.21	Ton
Momento X	5.51	6.33	Ton-m
Momento Y	0.41	0.43	Ton-m
CORTANTES Y MOMENTOS DE LA VIGA B-3-4 Nv+5.40m DE LA COMBINACIÓN 9D-SX			
Cortante	1.125	1.12	Ton
Momento Superior	1.321	1.75	Ton-m
Momento Inferior	0.453	0.48	Ton-m

Elaboración: Wilson Gavilanez

El análisis comparativo de la estructura 1 revela diferencias entre el espectro determinista y el espectro propuesto por la NEC-2015. Los resultados del espectro determinista son mayores, evidenciado por un coeficiente de cortante basal (C) de 0.165, superior establecido por la NEC-2015 de 0.149 y la diferencia es de alrededor 10%, por consiguiente. Esta diferencia del coeficiente del cortante basal genera un incremento 10% en los datos del cortante basal y el porcentaje de las derivas inelásticas.

Así mismo en el análisis comparativo de los elementos estructurales demuestra que las fuerzas axiales, cortantes y momentos, tanto en la columna como en la viga analizadas, presentan variaciones entre el 5% y 10%. Esta diferencia es producto del incremento en la fuerza sísmica generada por el espectro determinista.

Finalmente, es importante resaltar que en el modelo estructural de la vivienda 1, en el análisis de los resultados muestra que los dos primeros modos de vibración son traslacionales y no generara torción en planta y las derivas obtenidas al aplicar las fuerzas sísmicas de ambos espectros exceden el límite del 2% establecido por la Norma NEC-2015, lo cual es un aspecto crítico a considerar en la disposición estructural.

2) Segunda Estructura

Tabla 81. Resumen de los resultados obtenidos de la estructura N-2

DETALLE	ESPECTRO NEC-2015	ESPECTRO DETERMINISTA	UNIDADES
Aceleración máxima del espectro (Sa)	1.19	1.319	
Cortante Basal (C)	0.149	0.165	
Modo de Vibración en Ux		54.06%	
Modo de Vibración en Uy		5.04%	
Fuerza del cortante basal Estático X	142.45	127.85	tonf
Fuerza del cortante basal Estático Y	142.45	132.43	tonf
Fuerza del cortante basal Dinámico X	160.61	140.07	tonf
Fuerza del cortante basal Dinámico Y	160.61	148.22	tonf
Derivas Inelásticas con el Análisis Estático X	4.14%	4.67%	
Derivas Inelásticas con el Análisis Estático Y	1.50%	1.69%	
Derivas Inelásticas con el Análisis Dinámico X	4.49%	4.92%	
Derivas Inelásticas con el Análisis Dinámico Y	1.28%	1.43%	
CARGAS DE FUERZAS AXIALES CORTANTES Y MOMENTOS DE LA COLUMNA B-3 DE LA COMBINACIÓN 1.2D+L-SX			
Fuerza Axial	196.29	196.72	Ton
Cortante X	10.18	11.49	Ton
Cortante Y	2.99	2.69	Ton
Momento X	29.95	33.75	Ton-m
Momento Y	2.19	2.62	Ton-m
CORTANTES Y MOMENTOS DE LA VIGAB-2-3 Nv+12.96m DE LA COMBINACIÓN 9D-SX			
Cortante	2.51	2.69	Ton
Momento Superior	1.07	1.10	Ton-m
Momento Inferior	1.88	1.98	Ton-m

Elaboración: Wilson Gavilanez

El análisis comparativo de la estructura 2 revela diferencias entre el espectro determinista y el espectro propuesto por la NEC-2015. Los resultados del espectro determinista son mayores,

evidenciado por un coeficiente de cortante basal (C) de 0.165, superior establecido por la NEC-2015 de 0.149 y la diferencia es de alrededor 10%, por consiguiente. Esta diferencia del coeficiente del cortante basal genera un incremento entre 12% al 15% en los datos del cortante basal y el porcentaje de las derivas inelásticas.

Así mismo en el análisis comparativo de los elementos estructurales demuestra que las fuerzas axiales, cortantes y momentos, tanto en la columna como en la viga analizadas, presentan variaciones entre el 2% y 15%. Esta diferencia es producto del incremento en la fuerza sísmica generada por el espectro determinista.

Finalmente, es importante resaltar que en el modelo estructural de la vivienda 2, en los resultados del primer modo de vibración son rotacional y el segundo es traslacional por consiguiente se genera torción en planta y las derivas obtenidas al aplicar las fuerzas sísmicas de ambos espectros superan el límite del 2% en el sentido X, mientras que en el sentido Y se mantienen por debajo del límite establecido por la Norma NEC-2015. Esta diferencia se atribuye a la insuficiente rigidez seccional en el sentido X, lo cual es un aspecto crítico a considerar en la disposición estructural.

3) Tercera Estructura

Tabla 82. Resumen de los resultados obtenidos de la estructura N-3

DETALLE	ESPECTRO NEC-2015	ESPECTRO DETERMINISTA	UNIDADES
Aceleración máxima del espectro (Sa)	1.19	1.319	
Cortante Basal (C)	0.189	0.209	
Modo de Vibración en Ux	18.60%		
Modo de Vibración en Uy	0.33%		
Fuerza del cortante basal Estático X	44.27	39.65	tonf
Fuerza del cortante basal Estático Y	44.59	40.56	tonf
Fuerza del cortante basal Dinámico X	50.48	44.35	tonf
Fuerza del cortante basal Dinámico Y	50.48	43.91	tonf
Derivas Inelásticas con el Análisis Estático X	1.84%	1.80%	

Derivas Inelásticas con el Análisis Estático Y	1.64%	1.64%	
Derivas Inelásticas con el Análisis Dinámico X	1.50%	1.67%	
Derivas Inelásticas con el Análisis Dinámico Y	1.61%	1.74%	
CARGAS DE FUERZAS AXIALES CORTANTES Y MOMENTOS DE LA COLUMNAC-3 DE LA COMBINACIÓN 1.2D+L+SX			
Fuerza Axial	30.79	31.24	Ton
Cortante X	2.30	2.56	Ton
Cortante Y	2.30	2.56	Ton
Momento X	3.48	3.88	Ton-m
Momento Y	3.48	3.88	Ton-m
CORTANTES Y MOMENTOS DE LA VIGA B-D-2 Nv+2.52m DE LA COMBINACIÓN 1.2D+L+SX			
Cortante	1.54	1.58	Ton
Momento Superior	1.18	1.24	Ton-m
Momento Inferior	0.44	0.46	Ton-m

Elaboración: Wilson Gavilanez

El análisis comparativo de la estructura 3 revela diferencias entre el espectro determinista y el espectro propuesto por la NEC-2015. Los resultados del espectro determinista son mayores, evidenciado por un coeficiente de cortante basal (C) de 0.209, superior establecido por la NEC-2015 de 0.189 y la diferencia es de alrededor 10%, por consiguiente. Esta diferencia del coeficiente del cortante basal genera un incremento entre el 2% al 15% en los datos del cortante basal y el porcentaje de las derivas inelásticas.

Así mismo en el análisis comparativo de los elementos estructurales demuestra que las fuerzas axiales, cortantes y momentos, tanto en la columna como en la viga analizadas, presentan variaciones entre el 2% y 14%. Esta diferencia es producto del incremento en la fuerza sísmica generada por el espectro determinista.

Finalmente, es importante resaltar que en el modelo estructural de la vivienda 3, en el análisis de los resultados muestra que los dos primeros modos de vibración son traslacionales y no generara torción en planta y las derivas obtenidas al aplicar las fuerzas sísmicas de ambos espectros no superan el límite del 2% establecido por la Norma NEC-2015, confirmando que esta estructura cumple satisfactoriamente con los requerimientos de diseño sismorresistente establecidos en la normativa.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de Ambato sector Huachi Chico ubicado entre las calles los Shyris, Av. Atahualpa, Víctor Hugo, Av. los Atis, Av. de los Chasquis, Av. Pichincha y la Av. Rumiñahui?

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Basándose en los resultados obtenidos se verifica la hipótesis, ya que al comparar los resultados obtenidos por el espectro determinista y el NEC-2015, el espectro determinista afecta más en el desempeño de las estructuras del sector de Huachi Chico ubicado entre las calles los Shyris, Av. Atahualpa, Víctor Hugo, Av. los Atis, Av. de los Chasquis, Av. Pichincha y la Av. Rumiñahui.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- En este trabajo se seleccionó las fallas geológicas corticales cercanas al área de estudio, de las cuales se identificó las Fallas de Huachi, Ambato y Totoras. Dentro de estas, la falla de Totoras cuenta con la magnitud de momento más alta con un valor de Mw: 6.52, mientras que la falla de Subducción causado por el movimiento de la placa de Nazca cuenta con una magnitud de momento de Mw: 8.89.

- Mediante el estudio de la capacidad portante SPT del suelo realizado en el área de estudio se determinó que el sector cuenta con un perfil de suelo tipo D y en la clasificación de suelo se delimita como un (SM) arena limosa, vasados con estos datos se realizó el cálculo de la velocidad de corte del suelo (Vs30) obteniendo el Vs30(m/s) Promedio= 289.16 m/s.

- Se realizó el cálculo de los espectros deterministas para cada una de las fallas expuestas con anterioridad y se concluyó que la falla de Ambato en la gráfica de espectros para periodos cortos posee el espectro más crítico del sector, esto calculado mediante el modelo de Akkar-Bommer generando el valor de aceleración máxima de Sa= 1.319 (g) en un periodo de 0.4 (s), mientras que la NEC-2015 su valor máximo de aceleración alcanzado es de Sa= 1.190 (g) en periodos de 0.2 a 0.6s.

- Se efectuó un análisis comparativo entre el espectro sísmico determinista y el propuesto por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015. Los resultados mostraron que el espectro NEC-2015 genera mayores aceleraciones en la mayoría de periodos. Sin embargo, se identificó que en un intervalo comprendido de 0.24 y 0.45 segundos, el espectro determinista supera los valores de aceleración al espectro NEC-2015.

- Se elaboró el análisis estructural de 3 edificaciones ubicadas dentro del sitio de estudio. En el que al aplicar el espectro determinista y el calculado por la NEC-2015 en la estructura 1 (3 pisos) y estructura 2 (5 pisos), se encontró que el período fundamental determinado por el programa Etabs superó el calculado por la norma NEC-2015, en la verificación de las derivas de piso, estas dos estructuras excedieron el límite del 2% establecido por la NEC para derivas inelásticas, mientras que en la estructura 3 (2 pisos) esta si cumplido con los chequeos propuestos por la norma NEC-2015. Además, en el análisis de cargas, fuerzas axiales, cortantes y momentos de las tres estructuras nos

reveló que el espectro determinista se obtienes mayores resultados al espectro propuesto por la NEC-2015. En consecuencia, se recomienda implementar esta metodología en el análisis estructural ya que ayuda a obtener evaluaciones estructurales más rigurosas.

II. RECOMENDACIONES

- El Ecuador esta ubicado en una zona de alta peligrosidad sísmica y el historial de daños provocados por los terremotos es grande. Por ello, se recomienda la elaboración de mapas de microzonificación sísmica más detallados para cada sector, incluyendo sus respectivos espectros de respuesta. Esta medida garantizará a que las futuras edificaciones tengan menos probabilidad de sufrir daños estructurales.

- Se sugiere implementar los modelos de ecuaciones de predicción de movimiento del suelo (GMPE`s), para elaborar los espectros deterministas. Los resultados obtenidos se deberán contrastar con el espectro de respuesta propuesto por la NEC-2015, lo que permitirá determinar con mayor precisión las demandas sísmicas requeridas para el análisis estructural.

- El país no cuenta con información más detallada de las fallas geológicas que pueden llegar a afectar a estructuras aledañas, por lo que se recomienda profundizar en el estudio de las fallas geológicas y generar información para poder realizar espectros deterministas de cada lugar del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] "La microzonificación sísmica para la reducción del riesgo sísmico", *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, vol. 26, núm. 2, pp. 3–6, 2011, Consultado: el 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652011000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es

[2] P. Quinde Martínez y E. R. Angulo, "ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DE ECUADOR Y PROPUESTA DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE CUENCA", *Revista de Ingeniería Sísmica*, vol. no.94, pp. 1–5, jun. 2016, Consultado: el 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n94/0185-092X-ris-94-00001.pdf

[3] T. Moncayo, G. Velasco, C. Mora, M. Montenegro, y J. Cordova, "Vista de Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970", *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*, vol. Vol. 21, pp. 1–10, oct. 2017, Consultado: el 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/61/96

[4] C. Beauval *et al.*, "Comparison of observed ground-motion attenuation for the 2016/04/16 Mw7.8 Ecuador megathrust earthquake and its two largest aftershocks with existing ground-motion prediction equations", *Seismological Research Letters*, vol. 88, núm. 2, pp. 287–299, dic. 2018, doi: 10.1785/0220160150.

[5] F. Cunalata, P. Caiza, F. Cunalata, y P. Caiza, "Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador", *Revista Politécnica*, vol. 50, núm. 1, pp. 55–64, ago. 2022, doi: 10.33333/RP.VOL50N1.06.

[6] C. Medina, C. Medina, P. Cobos, y S. Medina, "ESPECTRO DE AMENAZA SÍSMICA ESPECÍFICO PARA EL CAMPUS HUACHI DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO EN FUNCIÓN DE FALLAS CIEGAS INVERSAS", *Ciencia*, vol. 20, núm. 1, pp. 84–104, mar. 2018, doi: 10.24133/ciencia.v20i1.558.

[7] Norma Ecuatoriana Construcción, "PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE", pp. 1–148, dic. 2015, Consultado: el 22 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec4.pdf

[8] R. Aguiar, *MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO*, 2a., vol. 1°, núm. April 2012. Quito, 2017. Consultado: el 29 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/277305703_Microzonificacion_Sismica_de_Quito

[9] S. Akkar, M. A. Sandıkkaya, y J. J. Bommer, “Empirical ground-motion models for point-and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East”, *Earthq Eng Struct Dyn*, vol. 25, pp. 195–206, 1996, doi: 10.1007/s10518-013-9461-4.

[10] F. Cañizares y J. C. Singaucho, “ECUACIONES DE ATENUACIÓN COMPATIBLES A LA TECTÓNICA DE QUITO GMPEs.”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. 23, núm. 2, pp. 209–226, jul. 2018, doi: 10.24133/RIIE.V23I2.969.

[11] J. C. Muñoz y S. De Chile, “Caracterización y Determinación del Peligro Sísmico en la Región Metropolitana”, UNIVERSIDAD DE CHILE, 2008. Consultado: el 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103283

[12] I. Ana, M. Bolaños, L. I. O. Manuel, y M. Concha, “Espectros de peligro sísmico uniforme”, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. Consultado: el 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/1331

[13] I. Ana, M. Bolaños, L. I. O. Manuel, y M. Concha, “Espectros de peligro sísmico uniforme”, may 2012, Consultado: el 17 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/1331

[14] Douglas John, “Ecuaciones de predicción del movimiento del suelo 1964-2010, Informe PEER 2011-102 | Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico”. Consultado: el 17 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://peer.berkeley.edu/publications/2011-102

[15] D. L. Wells y K. J. Coppersmith, “New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement”, *Bulletin - Seismological Society of America*, vol. 84, núm. 4, pp. 974–1002, 1994, doi: 10.1785/BSSA0840040974.

[16] Norma Técnica Ecuatoriana, *MECANICA DE SUELOS ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR INEN 689 INEN 689*. Ecuador, 1982, pp. 1–11. Consultado: el 19 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/doc/213106564/689-Ensayo-de-penetracion-estandar

[17] Norma Técnica Ecuatoriana, *Normativa - NTE INEN 0696 : Áridos. Análisis granulométrico en los áridos*. 2011, pp. 1–14. Consultado: el 19 de junio de 2024. [En

línea]. Disponible en: https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/ecnte-notmativa/63322852

[18] Aponte González Javier Alexander, “Evaluación de métodos no convencionales de caracterización geotécnica”, Pontificia Universidad Javeriana, 2020. doi: 10.11144/JAVERIANA.10554.1267.

[19] B. I. Holmes Alexander, *Introducción a la estadística empresarial*. Texas: OpenStax, 2022.

[20] 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”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 96, núm. 3, pp. 879–897, jun. 2006, doi: 10.1785/0120050138.

[21] 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”, *Earthquake Spectra*, vol. 24, núm. 1, pp. 99–138, 2008, doi: 10.1193/1.2830434.

[22] S. Akkar, M. A. Sandıkkaya, y J. J. Bommer, “Empirical ground-motion models for point-and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East”, *Earthq Eng Struct Dyn*, vol. 25, pp. 195–206, 1996, doi: 10.1007/s10518-013-9461-4.

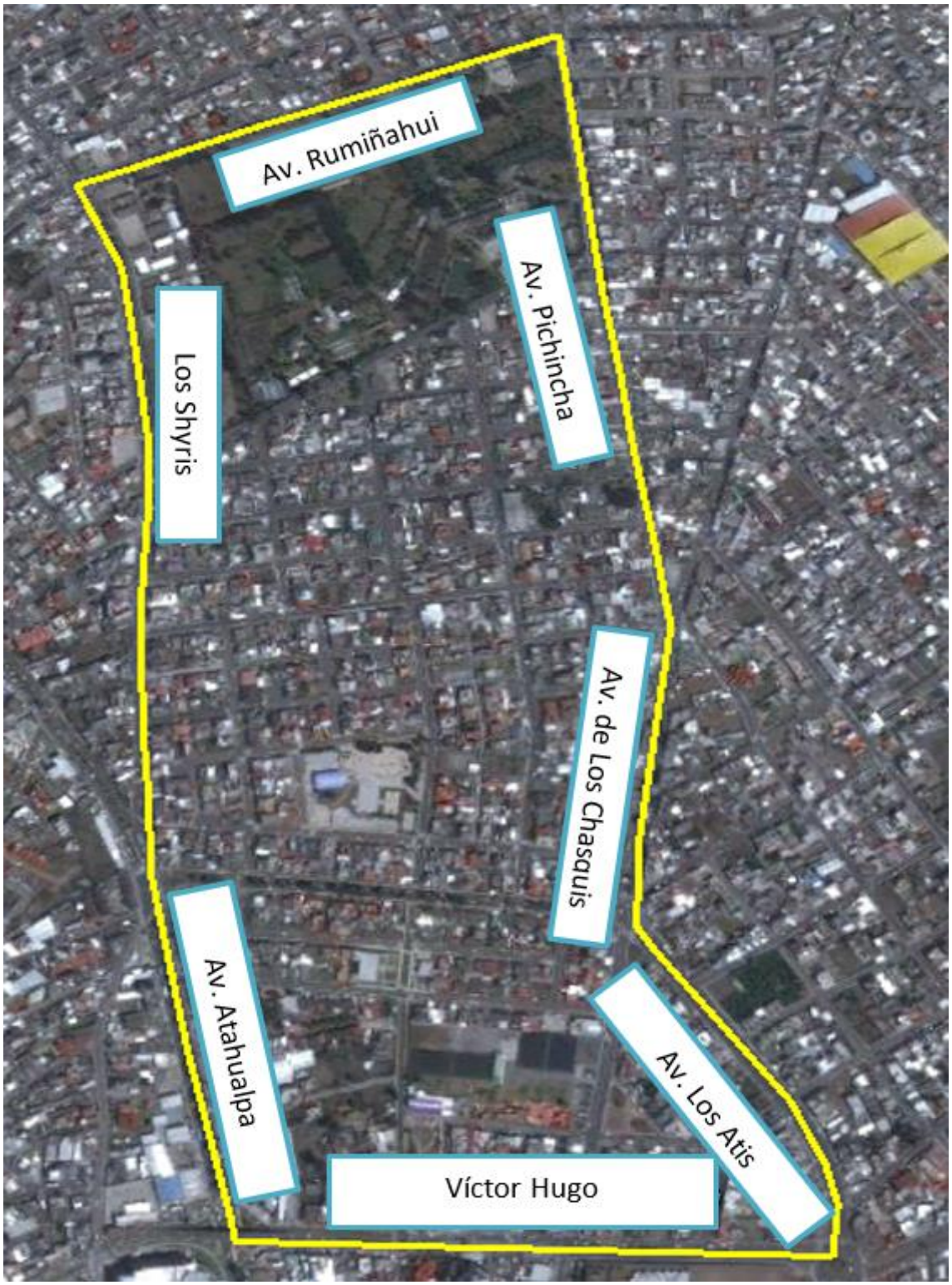
[23] R. R. Youngs, S. J. Chiou, W. J. Silva, y J. R. Humphrey, “Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes”, *Seismological Research Letters*, vol. 68, núm. 1, pp. 58–73, ene. 1997, doi: 10.1785/GSSRL.68.1.58.

[24] J. X. Zhao *et al.*, “Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 96, núm. 3, pp. 898–913, jun. 2006, doi: 10.1785/0120050122.

[25] Norma Ecuatoriana Construcción, “CARGAS (NO SÍSMICAS)”, dic. 2015.

ANEXOS

Anexo 1: Delimitación de las calles del área de estudio

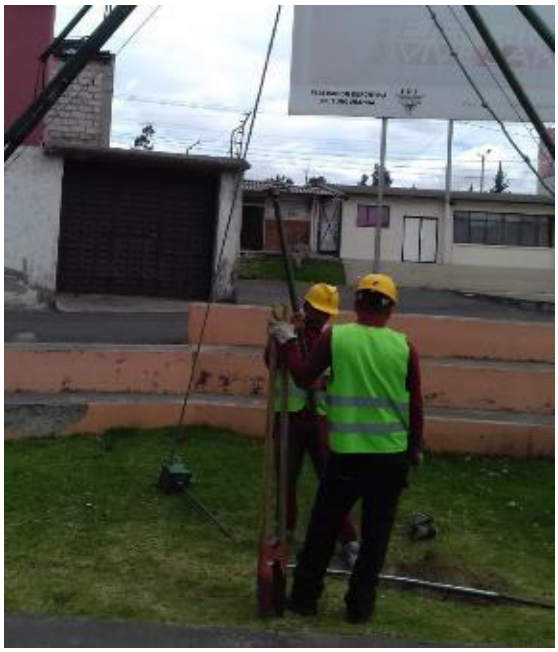


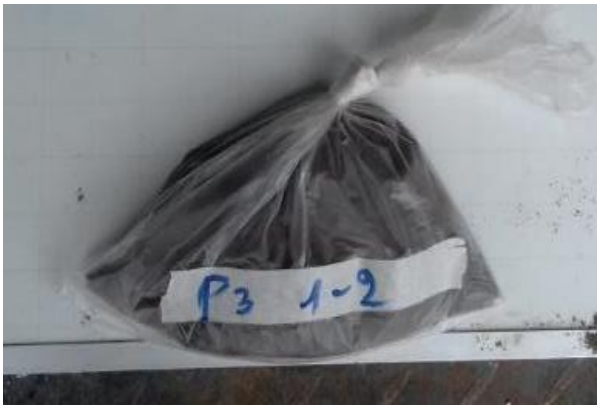
Anexo 2: Delimitación georreferenciada de la ubicación de los ensayos de SPT

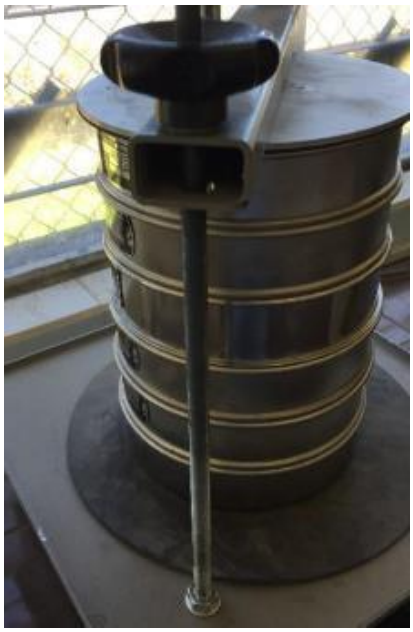


Anexo 3: Fotografías

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Fotografía 1	**Fotografía 2**
	
Descripción: Equipo SPT.	**Descripción:** Excavación de la capa vegetal.
Fotografía 3	**Fotografía 4**
	
Descripción: Delimitación de la altura de hinchamiento a cada 15 cm	**Descripción:** Obtención de muestra de suelo

Fotografía 5	**Fotografía 6**
	
Descripción: Identificación de las muestras de suelo	**Descripción:** Alistando las muestras para el ingreso al horno
Fotografía 7	**Fotografía 8**
	
Descripción: Ingreso de las muestras húmedas al horno	**Descripción:** Pesado de las muestras de suelo en la balanza
Fotografía 9	



Descripción: Inicio del Tamizado para determinar la granulometría de las muestras

Anexo 4: Coeficientes de regresión ocupado el modelo Kanno ET AL. (2006) para eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%

T	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: Modelo Kanno 2006

Anexo 5: Coeficientes de regresión ocupado el modelo Modelo Boore y Atkinson (2008)

5.1. Coeficientes de amplificación del sitio dependiente del periodo

PERIODO	blin	b1	b2
PGA	-0.36	-0.64	-0.14
0.01	-0.36	-0.64	-0.14
0.02	-0.34	-0.63	-0.12
0.03	-0.33	-0.62	-0.11
0.05	-0.29	-0.64	-0.11
0.075	-0.23	-0.64	-0.11
0.1	-0.25	-0.60	-0.13
0.15	-0.28	-0.53	-0.18
0.2	-0.31	-0.52	-0.19
0.25	-0.39	-0.52	-0.16
0.3	-0.44	-0.52	-0.14
0.4	-0.50	-0.51	-0.10
0.5	-0.60	-0.50	-0.06
0.75	-0.69	-0.47	0.00
1	-0.70	-0.44	0.00
1.5	-0.72	-0.40	0.00
2	-0.73	-0.38	0.00
3	-0.74	-0.34	0.00
4	-0.75	-0.31	0.00
5	-0.75	-0.29	0.00
7.5	-0.69	-0.25	0.00
10	-0.65	-0.22	0.00

Fuente: Modelo Boore y Atkinson (2008)

5.2. Coeficientes de escala de distancia (Mref=4.5 y Rref=1.0 km para todos los periodos, excepto Rref=5.0 km para pga4nl).

PERIODO	c1	c2	c3	h
PGA	-0.66	0.12	-0.01	1.35
0.01	-0.66	0.12	-0.01	1.35
0.02	-0.67	0.12	-0.01	1.35
0.03	-0.69	0.13	-0.01	1.35
0.05	-0.72	0.13	-0.01	1.35
0.075	-0.72	0.12	-0.01	1.55
0.1	-0.71	0.11	-0.01	1.68
0.15	-0.70	0.10	-0.01	1.86
0.2	-0.58	0.04	-0.01	1.98
0.25	-0.57	0.03	-0.01	2.07
0.3	-0.55	0.02	-0.01	2.14
0.4	-0.64	0.04	-0.01	2.24
0.5	-0.69	0.06	-0.01	2.32
0.75	-0.74	0.08	0.00	2.46
1	-0.82	0.10	0.00	2.54
1.5	-0.83	0.10	0.00	2.66
2	-0.83	0.09	0.00	2.73
3	-0.78	0.07	0.00	2.83
4	-0.69	0.04	0.00	2.89
5	-0.51	-0.02	0.00	2.93
7.5	-0.37	-0.07	0.00	3
10	-0.10	-0.14	0.00	3.04

Fuente: Modelo Boore y Atkinson (2008)

5.3. Coeficientes de escala de magnitud

PERIODO	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	Mh
PGA	-0.54	-0.50	-0.75	-0.5097	0.28805	-0.102	0.000	6.75
0.01	-0.53	-0.49	-0.75	-0.49966	0.28897	-0.100	0.000	6.75
0.02	-0.52	-0.49	-0.74	-0.48895	0.25144	-0.110	0.000	6.75
0.03	-0.45	-0.42	-0.67	-0.42229	0.17976	-0.129	0.000	6.75
0.05	-0.28	-0.25	-0.48	-0.26092	0.06369	-0.158	0.000	6.75
0.075	0.01	0.05	-0.21	0.02706	0.0117	-0.171	0.000	6.75
0.1	0.20	0.23	0.03	0.22193	0.04697	-0.159	0.000	6.75
0.15	0.46	0.49	0.30	0.49328	0.1799	-0.145	0.000	6.75
0.2	0.57	0.59	0.41	0.61472	0.52729	-0.130	0.001	6.75
0.25	0.52	0.53	0.34	0.57747	0.6088	-0.138	0.086	6.75
0.3	0.44	0.45	0.25	0.5199	0.64472	-0.157	0.106	6.75
0.4	0.39	0.41	0.21	0.4608	0.7861	-0.078	0.023	6.75
0.5	0.19	0.20	0.01	0.26337	0.76837	-0.091	0.000	6.75
0.75	-0.21	-0.19	-0.49	-0.10813	0.75179	-0.141	0.103	6.75
1	-0.47	-0.43	-0.78	-0.3933	0.6788	-0.183	0.054	6.75
1.5	-0.86	-0.80	-1.21	-0.88085	0.70689	-0.260	0.191	6.75
2	-1.23	-1.16	-1.58	-1.27669	0.77989	-0.297	0.299	6.75
3	-1.83	-1.75	-2.23	-1.91814	0.77966	-0.454	0.675	6.75
4	-2.25	-2.16	-2.58	-2.38168	1.24961	-0.359	0.795	6.75
5	-1.28	-1.21	-1.51	-1.41093	0.14271	-0.390	0.000	8.50
7.5	-1.43	-1.32	-1.81	-1.59217	0.52407	-0.376	0.000	8.50
10	-2.15	-2.16	-2.53	-2.14635	0.40387	-0.485	0.000	8.50

Fuente: Modelo Boore y Atkinson (2008)

Anexo 6: Coeficientes de regresión ocupado el Akkar y Bommer (2010)

6.1. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudo aceleración Espectral

Periodo T(s)	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	σ1	σ2	σ
0	1.0416	0.9133	-0.0814	-2.9273	0.2812	7.8664	0.0875	0.0153	-0.0419	0.0802	0.2610	0.0994	0.2793
0.05	2.1153	0.7257	-0.0735	-3.3320	0.3353	7.7473	0.0471	-0.0243	-0.0426	0.0865	0.2720	0.1142	0.2950
0.1	2.1199	0.7518	-0.0745	-3.1054	0.3025	8.2141	0.0267	-0.0006	-0.0491	0.0791	0.2728	0.1167	0.2967
0.15	1.6449	0.8368	-0.0754	-2.7585	0.2549	8.3179	0.0258	0.0170	-0.0418	0.0784	0.2788	0.1192	0.3032
0.2	0.9207	0.9682	-0.0790	-2.4926	0.2179	8.2191	0.0656	0.0211	-0.0210	0.0844	0.2821	0.1081	0.3021
0.25	0.1398	1.1307	-0.0876	-2.3382	0.2009	7.2069	0.0981	0.0392	-0.0485	0.0858	0.2871	0.0990	0.3037
0.3	-0.8401	1.3744	-0.1035	-2.1912	0.1814	6.5430	0.1285	0.0434	-0.0555	0.0922	0.2902	0.0976	0.3062
0.35	-1.3221	1.4706	-0.1087	-2.1299	0.1749	6.2475	0.1621	0.0670	-0.0472	0.0900	0.2983	0.1054	0.3164
0.4	-1.7032	1.5593	-0.1139	-2.1272	0.1714	6.5717	0.2122	0.0920	-0.0515	0.0990	0.2998	0.1101	0.3194
0.45	-1.9720	1.6165	-0.1174	-2.1662	0.1770	6.7808	0.2412	0.1168	-0.0520	0.0994	0.3037	0.1123	0.3238
0.5	-2.7693	1.8327	-0.1320	-2.1297	0.1688	7.1742	0.2594	0.1356	-0.0428	0.0858	0.3078	0.1163	0.3290
0.55	-3.5167	2.0252	-0.1450	-2.0421	0.1562	6.7617	0.2650	0.1445	-0.0426	0.0695	0.3070	0.1274	0.3324
0.6	-3.9276	2.0847	-0.1465	-1.8814	0.1362	6.1010	0.2772	0.1516	-0.0385	0.0593	0.3007	0.1430	0.3330
0.65	-4.4949	2.2115	-0.1552	-1.7903	0.1292	5.1914	0.2857	0.1524	-0.0342	0.0511	0.3004	0.1546	0.3378
0.7	-4.6293	2.2176	-0.1549	-1.7980	0.1350	4.4632	0.3035	0.1565	-0.0415	0.0466	0.2978	0.1626	0.3393
0.75	-4.9505	2.2914	-0.1598	-1.8132	0.1392	4.2795	0.3152	0.1633	-0.0405	0.0425	0.2973	0.1602	0.3377
0.8	-5.3286	2.3839	-0.1657	-1.7727	0.1327	4.3701	0.3215	0.1737	-0.0395	0.0337	0.2927	0.1584	0.3328
0.85	-5.7580	2.5064	-0.1748	-1.7707	0.1310	4.6219	0.3352	0.1848	-0.0379	0.0287	0.2917	0.1543	0.3300
0.9	-5.8269	2.5029	-0.1737	-1.7630	0.1306	4.6539	0.3485	0.1906	-0.0288	0.0248	0.2915	0.1521	0.3288
0.95	-5.9059	2.5141	-0.1742	-1.7985	0.1354	4.8454	0.3592	0.1941	-0.0221	0.0250	0.2912	0.1484	0.3268
1	-6.1707	2.5856	-0.1794	-1.8072	0.1360	4.9760	0.3662	0.1952	-0.0227	0.0212	0.2895	0.1483	0.3253
1.05	-6.6034	2.6958	-0.1865	-1.7384	0.1249	5.0449	0.3728	0.1946	-0.0261	0.0112	0.2888	0.1465	0.3238
1.1	-6.9038	2.7704	-0.1917	-1.7111	0.1223	5.0098	0.3776	0.1942	-0.0266	0.0014	0.2896	0.1427	0.3228
1.15	-6.9618	2.7586	-0.1889	-1.6659	0.1145	5.0890	0.3815	0.1940	-0.0209	0.0015	0.2871	0.1435	0.3210
1.2	-6.9924	2.7343	-0.1849	-1.5912	0.1027	5.0327	0.3812	0.1931	-0.0162	0.0041	0.2878	0.1439	0.3218
1.25	-6.7461	2.6238	-0.1739	-1.5289	0.0913	5.0835	0.3878	0.1939	-0.0183	0.0041	0.2863	0.1453	0.3211
1.3	-6.5172	2.5187	-0.1633	-1.4653	0.0801	5.1442	0.3886	0.1927	-0.0190	-0.0037	0.2869	0.1427	0.3204
1.35	-6.5582	2.5224	-0.1631	-1.4822	0.0817	5.2901	0.3868	0.1908	-0.0184	-0.0090	0.2885	0.1428	0.3219
1.4	-6.6195	2.5261	-0.1627	-1.4826	0.0821	5.3349	0.3863	0.1929	-0.0161	-0.0088	0.2875	0.1458	0.3224
1.45	-6.6274	2.4986	-0.1591	-1.4331	0.0758	5.1941	0.3829	0.1916	-0.0129	-0.0056	0.2857	0.1477	0.3216

Fuente: Akkar y Bommer (2010)

6.2. Coeficientes de las ecuaciones 1 y 2 para la predicción de Pseudo aceleración Espectral

Periodo T(s)	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	σ1	σ2	σ
1.5	-6.7179	2.4949	-0.1569	-1.3530	0.0638	5.1575	0.3787	0.1881	-0.0121	-0.0022	0.2839	0.1468	0.3196
1.55	-6.8078	2.5029	-0.1563	-1.3123	0.0570	5.2744	0.3727	0.1857	-0.0085	-0.0005	0.2845	0.1450	0.3193
1.6	-6.8363	2.5101	-0.1568	-1.3326	0.0587	5.5454	0.3695	0.1815	-0.0053	-0.0001	0.2844	0.1457	0.3195
1.65	-6.8868	2.5405	-0.1600	-1.4093	0.0686	5.9383	0.3653	0.1762	-0.0085	-0.0030	0.2841	0.1503	0.3214
1.7	-6.9460	2.5715	-0.1629	-1.4768	0.0767	6.3660	0.3594	0.1730	-0.0120	-0.0074	0.2840	0.1537	0.3229
1.75	-7.0917	2.6294	-0.1679	-1.5404	0.0843	6.8229	0.3528	0.1695	-0.0139	-0.0139	0.2840	0.1558	0.3239
1.8	-7.2282	2.6682	-0.1706	-1.5427	0.0833	7.1160	0.3478	0.1674	-0.0140	-0.0149	0.2834	0.1582	0.3246
1.85	-7.2977	2.6757	-0.1700	-1.5094	0.0766	7.3193	0.3456	0.1673	-0.0153	-0.0119	0.2828	0.1592	0.3245
1.9	-7.3552	2.6775	-0.1693	-1.4699	0.0707	7.2599	0.3414	0.1633	-0.0156	-0.0070	0.2826	0.1611	0.3253
1.95	-7.4072	2.6821	-0.1691	-1.4382	0.0653	7.2534	0.3372	0.1617	-0.0185	-0.0035	0.2832	0.1642	0.3274
2	-7.5040	2.7100	-0.1713	-1.4440	0.0660	7.2606	0.3330	0.1584	-0.0226	-0.0049	0.2835	0.1657	0.3284
2.05	-7.5560	2.7274	-0.1729	-1.4579	0.0677	7.4032	0.3301	0.1550	-0.0263	-0.0073	0.2836	0.1665	0.3289
2.1	-7.5346	2.7171	-0.1722	-1.4666	0.0694	7.4617	0.3265	0.1534	-0.0292	-0.0087	0.2832	0.1663	0.3284
2.15	-7.5081	2.7104	-0.1721	-1.4968	0.0743	7.5127	0.3244	0.1526	-0.0348	-0.0123	0.2830	0.1661	0.3281
2.2	-8.0917	2.9116	-0.1892	-1.5564	0.0843	7.7706	0.3135	0.1443	-0.0399	-0.0193	0.2830	0.1627	0.3264
2.25	-8.1106	2.9209	-0.1904	-1.5954	0.0905	7.8770	0.3100	0.1443	-0.0416	-0.0232	0.2830	0.1627	0.3264
2.3	-8.1627	2.9333	-0.1916	-1.6046	0.0928	7.9175	0.3083	0.1441	-0.0424	-0.0263	0.2829	0.1633	0.3266
2.35	-7.9470	2.8533	-0.1854	-1.5743	0.0908	7.6196	0.3207	0.1432	-0.0496	-0.0234	0.2815	0.1632	0.3254
2.4	-7.9668	2.8536	-0.1856	-1.5783	0.0929	7.5964	0.3180	0.1430	-0.0491	-0.0257	0.2826	0.1645	0.3270
2.45	-7.9788	2.8490	-0.1853	-1.5773	0.0943	7.5034	0.3140	0.1432	-0.0481	-0.0264	0.2825	0.1665	0.3279
2.5	-7.8840	2.8182	-0.1832	-1.6038	0.0989	7.5395	0.3110	0.1433	-0.0471	-0.0277	0.2818	0.1681	0.3281
2.55	-7.6810	2.7572	-0.1791	-1.6521	0.1068	7.6189	0.3088	0.1434	-0.0461	-0.0282	0.2818	0.1688	0.3285
2.6	-7.7257	2.8204	-0.1872	-1.8878	0.1405	8.1225	0.3112	0.1426	-0.0511	-0.0297	0.2838	0.1741	0.3329
2.65	-7.5329	2.7482	-0.1814	-1.8953	0.1436	7.9224	0.3094	0.1422	-0.0502	-0.0293	0.2845	0.1759	0.3345
2.7	-7.4159	2.6901	-0.1763	-1.8704	0.1428	7.5000	0.3069	0.1407	-0.0489	-0.0296	0.2854	0.1772	0.3359
2.75	-7.3454	2.6535	-0.1731	-1.8608	0.1434	7.2667	0.3064	0.1405	-0.0474	-0.0292	0.2862	0.1783	0.3372
2.8	-7.2456	2.6103	-0.1695	-1.8561	0.1444	7.1186	0.3053	0.1392	-0.0473	-0.0275	0.2867	0.1794	0.3382
2.85	-7.0711	2.5612	-0.1662	-1.9042	0.1513	7.3628	0.3051	0.1393	-0.0452	-0.0278	0.2869	0.1788	0.3381
2.9	-6.9933	2.5270	-0.1630	-1.8970	0.1504	7.4504	0.3036	0.1378	-0.0420	-0.0262	0.2874	0.1784	0.3383
2.95	-6.9567	2.5101	-0.1614	-1.9013	0.1508	7.6023	0.2999	0.1358	-0.0386	-0.0249	0.2872	0.1783	0.3380
3	-6.9292	2.4590	-0.1551	-1.7680	0.1331	7.2195	0.2977	0.1320	-0.0386	-0.0247	0.2876	0.1785	0.3385

Fuente: Akkar y Bommer (2010)

Anexo 7: Relaciones de atenuación para la aceleración espectral de respuesta horizontal (amortiguación del 5%) ocupada para los terremotos de subducción para el suelo.

PERIODO	C1	C2	C3	C4	C5	DE
0	0	0	-2.329	1.45	-0.1	0.65
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1	0.65
0.3	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1	0.65
0.4	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1	0.65
0.5	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1	0.65
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1	0.65
1	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1	0.65
1.5	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1	0.7
2	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1	0.75
3	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1	0.85
4	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1	0.85

Fuente: Youngs ET AL. (1997)

Anexo 8: Coeficientes de regresión ocupado el Modelo Zhao ET AL. (2006)

8.1. Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

Periodo T(s)	a	b	c	d	e	SR	SI	Ss	SsL
0.00	1.101	-0.00564	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0.000	2.607	-0.528
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.060	0.01463	0.251	0.000	2.764	-0.551
0.10	1.118	-0.00787	0.0090	1.083	0.01423	0.240	0.000	2.156	-0.420
0.15	1.134	-0.00722	0.0100	1.053	0.01509	0.251	0.000	2.161	-0.431
0.20	1.147	-0.00659	0.0120	1.014	0.01462	0.260	0.000	1.901	-0.372
0.25	1.149	-0.00590	0.0140	0.966	0.01459	0.027	0.000	1.814	-0.360
0.30	1.163	-0.00520	0.0150	0.934	0.01458	0.259	0.000	2.181	-0.450
0.40	1.2	-0.00422	0.0100	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506
0.50	1.25	-0.00338	0.0060	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554
0.60	1.293	-0.00282	0.0030	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575
0.70	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.220	-0.146	2.654	-0.572
0.80	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.480	-0.540
0.90	1.433	-0.00232	0.0020	1.109	0.00972	0.220	-0.206	2.332	-0.522
1.00	1.479	-0.00220	0.0020	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509
1.25	1.551	-0.00207	0.0020	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469
1.50	1.621	-0.00224	0.0020	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379
2.00	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.320	0.966	-0.248
2.50	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221
3.00	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263
4.00	1.826	-0.00195	0.0040	1.044	0.00590	0.353	-0.390	0.561	-0.169
5.00	1.825	-0.00237	0.0050	1.065	0.00510	0.248	-0.498	0.225	-0.120

Fuente: Zhao ET AL. (2006)

8.2. Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción

Periodo T(s)	CH	C1	C2	C3	C4	Ck	σ	τ	σT	r
0.00	0.239	1.111	1.344	1.355	1.420	1.344	0.604	0.398	0.723	0.006
0.05	0.939	1.684	1.793	1.747	1.814	1.793	0.640	0.444	0.779	0.008
0.10	1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	2.135	0.694	0.490	0.849	0.009
0.15	1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	2.168	0.702	0.460	0.839	0.010
0.20	1.280	1.669	2.085	2.001	2.030	2.085	0.692	0.423	0.811	0.012
0.25	1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	1.942	0.682	0.391	0.786	0.014
0.30	0.852	1.172	1.683	1.808	1.770	1.683	0.670	0.379	0.770	0.015
0.40	0.365	0.655	1.127	1.482	1.397	1.127	0.659	0.390	0.766	0.010
0.50	-0.207	0.071	0.515	0.934	0.955	0.515	0.653	0.389	0.760	0.006
0.60	-0.705	-0.429	-0.003	0.394	0.559	-0.003	0.653	0.401	0.766	0.003
0.70	-1.144	-0.866	-0.449	-0.111	0.188	-0.449	0.652	0.408	0.769	0.003
0.80	-1.609	-1.325	-0.928	-0.620	-0.246	-0.928	0.647	0.418	0.770	0.002
0.90	-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0.643	-1.349	0.653	0.411	0.771	0.002
1.00	-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	-1.776	0.657	0.410	0.775	0.002
1.25	-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	-2.542	0.660	0.402	0.773	0.002
1.50	-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	-3.169	0.664	0.408	0.779	0.002
2.00	-4.783	-4.410	-4.039	-3.871	-3.640	-4.039	0.669	0.414	0.787	0.003
2.50	-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	-4.698	0.671	0.411	0.786	0.003
3.00	-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	-5.089	0.667	0.396	0.776	0.003
4.00	-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	-5.882	0.647	0.382	0.751	0.004
5.00	-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	-6.051	0.643	0.377	0.745	0.005

Fuente: Zhao ET AL. (2006)

Anexo 9: Cuantificación de Cargas

9.1. Cuantificación de cargas actuantes de la estructura analizada N-1

Adicional de carga muerta de la losa

ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+2.88								
Descripción	N	a (m)	b (m)	h (m)	NO	P. Especifico	Total Kg/m²	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10	10 Kg	80.0	187 kg/m²
Masillado 1.5 cm + Enlucido losa 1.5		1	1	0.03	1900	1900 Kg/m²	57.0	
Acabado cerámica		1	1	0.02	2500	2500 Kg/m²	50.0	

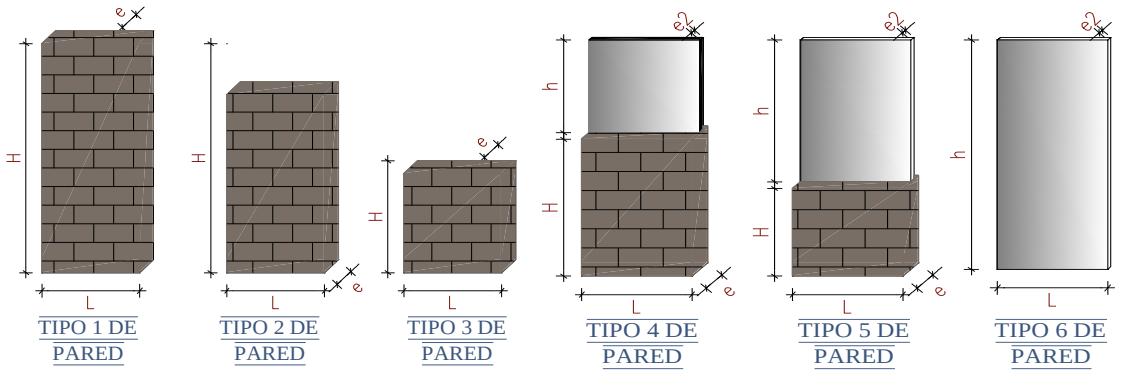
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+5.58								
Descripción	N	a (m)	b (m)	h (m)	NO	P. Especifico	Total Kg/m²	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10	10 Kg	80.0	187 kg/m²
Masillado 2 cm + Enlucido losa 2cm		1	1	0.03	1900	1900 Kg/m²	57.0	
Acabado cerámica		1	1	0.02	2500	2500 Kg/m²	50.0	

ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+8.08m								
Descripción	N	a	b	h	NO	P. Especifico	Total	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10	10 Kg	80.0	118 kg/m²
Enlucido losa 2cm		1	1	0.02	1900	1900 Kg/m²	38.0	

Adicional de carga muerta producido por las paredes

Nomenclatura

H= Altura de la Pared **PP=** Peso de Pared
h= Altura del vidrio **PV=** Peso del Vidrio
e= Espesor
e2= Espesor del vidrio



Tipo	Nomenclatura	Dimenciones			Peso Especifico	Total	Unidad
		h (m) - H (m)	e (m) - e2 (m)	Longitud (m)			
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+2.88							
1	P.P.	2.5	0.15	42.48	1600 Kg	25488.00	kg
4	P.P.	2	0.15	3.35	1600 Kg	1608.00	kg
	P.V.	0.5	0.005		2600 Kg	21.78	kg
5	P.P.	0.9	0.15	3.9	1600 Kg	842.40	kg
	P.V.	1.6	0.005		2600 Kg	81.12	kg
6	P.P.	2.6	0.005	3.2	2600 Kg	108.16	kg
Total						28149.46	kg
Área de la Planta						73.92	m²
Carga Muerta de Pared Nv+2.88						**380.84**	kg/m²
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+5.58							
1	P.P.	2.5	0.15	25.35	1600 Kg	15210.00	kg
4	P.P.	2	0.15	1.45	1600 Kg	696.00	kg
	P.V.	0.5	0.005		2600 Kg	9.43	kg
3	P.P.	1	0.15	16.45	1600 Kg	3948.00	kg
5	P.P.	0.9	0.15	1	1600 Kg	216.00	kg
	P.V.	1.6	0.005		2600 Kg	20.80	kg
Total						20100.23	kg
Área de la Planta						73.92	m²
Carga Muerta de Pared Nv+ Nv+5.58						**271.94**	kg/m²
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+8.08							
3	P.P.	0.6	0.15	26.93	1600 Kg	3877.92	kg
Total						3877.92	kg
Área de la Planta						40.78	m²
Carga Muerta de Pared Nv+8.08						**95.09**	kg/m²

Tabla de valores del periodo Tseg. y la aceleración del espectro NEC-215 y espectro determinista.

ESPECTRO ELÁSTICO Y REDUCIDO NEC-2015		
Periodo T(s)	Sa(g)	Reducido (C)
0.00	1.19040	0.14880
0.1	1.19040	0.14880
0.20	1.19040	0.14880
0.3	1.19040	0.14880
0.361	1.19040	0.14880
0.40	1.19040	0.14880
0.5	1.19040	0.14880
0.60	1.19040	0.14880
0.7	1.18723	0.14840
0.80	1.03882	0.12985
0.9	0.92340	0.11542
1.00	0.83106	0.10388
1.1	0.75551	0.09444
1.20	0.69255	0.08657
1.3	0.63928	0.07991
1.40	0.59361	0.07420
1.5	0.55404	0.06925
1.60	0.51941	0.06493
1.7	0.48886	0.06111
1.80	0.46170	0.05771
1.9	0.43740	0.05467
2.00	0.41553	0.05194
2.1	0.39574	0.04947
2.20	0.37775	0.04722
2.3	0.36133	0.04517
2.40	0.34627	0.04328
2.5	0.33242	0.04155
2.60	0.31964	0.03995
2.7	0.30780	0.03847
2.80	0.29681	0.03710
2.9	0.28657	0.03582
3.00	0.27702	0.03463
3.1	0.26808	0.03351
3.20	0.25971	0.03246
3.3	0.25184	0.03148
3.40	0.24443	0.03055
3.5	0.23745	0.02968
3.60	0.23085	0.02886
3.7	0.22461	0.02808
3.80	0.21870	0.02734
3.9	0.21309	0.02664
4.00	0.20776	0.02597
4.1	0.20270	0.02534
4.20	0.19787	0.02473
4.3	0.19327	0.02416
4.40	0.18888	0.02361
4.5	0.18468	0.02308
4.60	0.18066	0.02258
4.7	0.17682	0.02210
4.80	0.17314	0.02164
4.9	0.16960	0.02120
5.00	0.16621	0.02078
5.1	0.16295	0.02037
5.20	0.15982	0.01998
5.3	0.15680	0.01960
5.40	0.15390	0.01924
5.5	0.15110	0.01889
5.60	0.14840	0.01855
5.7	0.14580	0.01822
5.80	0.14329	0.01791
5.9	0.14086	0.01761
6.00	0.13851	0.01731

ESPECTRO DETEMINISTA ELASTICO Y REDUCIDO		
T(s)	Sa(g)	Reducido (C)
0.00	0.53700	0.06713
0.05	0.69500	0.08688
0.10	0.88200	0.11025
0.15	1.09000	0.13625
0.200	1.18700	0.14838
0.25	1.23200	0.15400
0.3	1.31900	0.16488
0.35	1.28300	0.16038
0.4	1.28000	0.16000
0.45	1.18400	0.14800
0.5	1.07000	0.13375
0.55	1.01800	0.12725
0.6	0.97800	0.12225
0.65	0.95700	0.11963
0.7	0.98600	0.12325
0.75	0.94700	0.11838
0.80	0.86900	0.10863
0.85	0.79800	0.09975
0.90	0.73800	0.09225
0.95	0.67900	0.08488
1.00	0.63300	0.07913
1.25	0.49000	0.06125
1.50	0.45500	0.05688
2.00	0.37900	0.04738
2.50	0.31800	0.03975
3.00	0.26200	0.03275
4.00	0.16500	0.02063
5.00	0.08800	0.01100

9.2. Cuantificación de cargas actuantes de la estructura analizada N-2

Adicional de carga muerta de la losa

ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+3.24, Nv+6.48, Nv+9.72								
Descripción	N	a (m)	b (m)	h (m)	NO	P. Especifico	Total Kg/m²	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10	10 Kg	80.0	173 kg/m²
Pinst + Pgypsum	1	1	1		5	5 Kg/m²	5.0	
Masillado 2 cm		1	1	0.02	1900	1900 Kg/m²	38.0	
Acabado cerámica		1	1	0.02	2500	2500 Kg/m²	50.0	

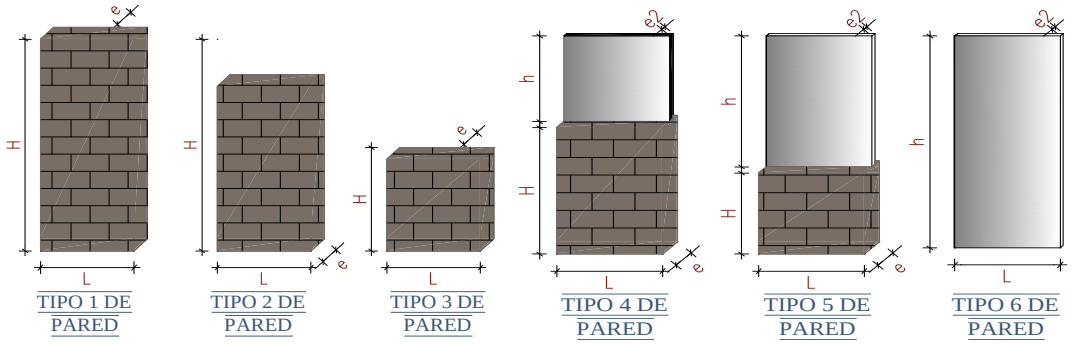
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+12.96								
Descripción	N	a (m)	b (m)	h (m)	NO	P. Especifico	Total Kg/m²	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10	10 Kg	80.0	173 kg/m²
Pinst + Pgypsum	1	1	1		5	5 Kg/m²	5.0	
Masillado 2 cm		1	1	0.02	1900	1900 Kg/m²	38.0	
Acabado cerámica		1	1	0.02	2500	2500 Kg/m²	50.0	

ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+16.20								
Descripción	N	a	b	h	NO	P. Especifico	Total	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10	10 Kg	80.0	85 kg/m²
Pinst + Pgypsum	1	1	1		5	5 Kg/m²	5.0	

Adicional de carga muerta producido por las paredes

Nomenclatura

H= Altura de la Pared **PP=** Peso de Pared
h= Altura del vidrio **PV=** Peso del Vidrio
e= Espesor
e2= Espesor del vidrio



Tipo	Nomenclatura	Dimenciones			Peso Especifico	Total	Unidad
		h (m) - H (m)	e (m) - e2 (m)	Longitud (m)			
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+3.24, Nv+6.48, Nv+9.72							
1	P.P.	2.74	0.15	66.67	1600 Kg	43842.19	kg
1	P.P.	2.99	0.1	48.84	1600 Kg	23365.06	kg
4	P.P.	2.14	0.15	2.5	1600 Kg	1284.00	kg
	P.V.	0.6	0.005		2600 Kg	19.50	kg
4	P.P.	1.54	0.15	2	1600 Kg	739.20	kg
	P.V.	1.2	0.005		2600 Kg	31.20	kg
5	P.P.	1.29	0.15	4.15	1600 Kg	1284.84	kg
	P.V.	1.7	0.005		2600 Kg	91.72	kg
5	P.P.	0.99	0.15	5.351	1600 Kg	1271.40	kg
	P.V.	2	0.005		2600 Kg	139.13	kg
6	P.V.	2.99	0.005	3.55	2600 Kg	137.99	kg
Total						72206.22	kg
Área de la Planta						198.85	m²
Carga Muerta de Pared Nv+3.24, Nv+6.48, Nv+9.72						**363.11**	kg/m²
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+12.96							
1	P.P.	2.74	0.15	70.06	1600 Kg	46071.46	kg
1	P.P.	2.99	0.1	46.93	1600 Kg	22451.31	kg
4	P.P.	2.14	0.15	2.5	1600 Kg	1284.00	kg
	P.V.	0.6	0.005		2600 Kg	19.50	kg
4	P.P.	1.54	0.15	2	1600 Kg	739.20	kg
	P.V.	1.2	0.005		2600 Kg	31.20	kg
5	P.P.	1.29	0.15	4.15	1600 Kg	1284.84	kg
	P.V.	1.7	0.005		2600 Kg	91.72	kg
5	P.P.	0.99	0.15	5.351	1600 Kg	1271.40	kg
	P.V.	2	0.005		2600 Kg	139.13	kg
6	P.V.	2.99	0.005	3.55	2600 Kg	137.99	kg
Total						73521.74	kg
Área de la Planta						198.85	m²
Carga Muerta de Pared Nv+12.96						**369.73**	kg/m²
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+16.20							
3	P.P.	0.2	0.15	58.94	1600 Kg	2828.89	kg
Total						2828.89	kg
Área de la Planta						198.85	m²
Carga Muerta de Pared Nv+16.20						**14.23**	kg/m²

Tabla de valores del periodo Tseg. y la aceleración del espectro NEC-215 y espectro determinista.

ESPECTRO ELÁSTICO Y REDUCIDO NEC-2015		
Periodo T(s)	Sa(g)	Reducido (C)
0.00	1.19040	0.14880
0.1	1.19040	0.14880
0.20	1.19040	0.14880
0.3	1.19040	0.14880
0.361	1.19040	0.14880
0.40	1.19040	0.14880
0.5	1.19040	0.14880
0.60	1.19040	0.14880
0.7	1.18723	0.14840
0.80	1.03882	0.12985
0.9	0.92340	0.11542
1.00	0.83106	0.10388
1.1	0.75551	0.09444
1.20	0.69255	0.08657
1.3	0.63928	0.07991
1.40	0.59361	0.07420
1.5	0.55404	0.06925
1.60	0.51941	0.06493
1.7	0.48886	0.06111
1.80	0.46170	0.05771
1.9	0.43740	0.05467
2.00	0.41553	0.05194
2.1	0.39574	0.04947
2.20	0.37775	0.04722
2.3	0.36133	0.04517
2.40	0.34627	0.04328
2.5	0.33242	0.04155
2.60	0.31964	0.03995
2.7	0.30780	0.03847
2.80	0.29681	0.03710
2.9	0.28657	0.03582
3.00	0.27702	0.03463
3.1	0.26808	0.03351
3.20	0.25971	0.03246
3.3	0.25184	0.03148
3.40	0.24443	0.03055
3.5	0.23745	0.02968
3.60	0.23085	0.02886
3.7	0.22461	0.02808
3.80	0.21870	0.02734
3.9	0.21309	0.02664
4.00	0.20776	0.02597
4.1	0.20270	0.02534
4.20	0.19787	0.02473
4.3	0.19327	0.02416
4.40	0.18888	0.02361
4.5	0.18468	0.02308
4.60	0.18066	0.02258
4.7	0.17682	0.02210
4.80	0.17314	0.02164
4.9	0.16960	0.02120
5.00	0.16621	0.02078
5.1	0.16295	0.02037
5.20	0.15982	0.01998
5.3	0.15680	0.01960
5.40	0.15390	0.01924
5.5	0.15110	0.01889
5.60	0.14840	0.01855
5.7	0.14580	0.01822
5.80	0.14329	0.01791
5.9	0.14086	0.01761
6.00	0.13851	0.01731

ESPECTRO DETEMINISTA ELASTICO Y REDUCIDO		
T(s)	Sa(g)	Reducido (C)
0.00	0.53700	0.06713
0.05	0.69500	0.08688
0.10	0.88200	0.11025
0.15	1.09000	0.13625
0.200	1.18700	0.14838
0.25	1.23200	0.15400
0.3	1.31900	0.16488
0.35	1.28300	0.16038
0.4	1.28000	0.16000
0.45	1.18400	0.14800
0.5	1.07000	0.13375
0.55	1.01800	0.12725
0.6	0.97800	0.12225
0.65	0.95700	0.11963
0.7	0.98600	0.12325
0.75	0.94700	0.11838
0.80	0.86900	0.10863
0.85	0.79800	0.09975
0.90	0.73800	0.09225
0.95	0.67900	0.08488
1.00	0.63300	0.07913
1.25	0.49000	0.06125
1.50	0.45500	0.05688
2.00	0.37900	0.04738
2.50	0.31800	0.03975
3.00	0.26200	0.03275
4.00	0.16500	0.02063
5.00	0.08800	0.01100

9.3. Cuantificación de cargas actuantes de la estructura analizada N-3

Adicional de carga muerta de la losa

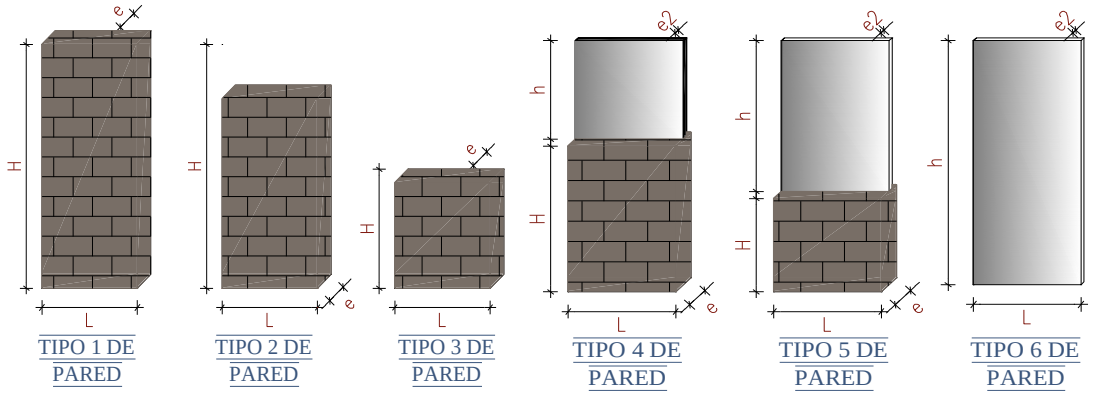
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+2.52							
Descripción	N	a (m)	b (m)	h (m)	P. Especifico	Total Kg/m²	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10 Kg	80.0	187 kg/m²
Masillado 1.5 cm + Enlucido losa 1.5		1	1	0.03	1900 Kg/m²	57.0	
Acabado cerámica		1	1	0.02	2500 Kg/m²	50.0	

ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+5.04							
Descripción	N	a (m)	b (m)	h (m)	P. Especifico	Total Kg/m²	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10 Kg	80.0	187 kg/m²
Masillado 2 cm + Enlucido losa 2cm		1	1	0.03	1900 Kg/m²	57.0	
Acabado cerámica		1	1	0.02	2500 Kg/m²	50.0	

ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) LOSA Nv+7.54							
Descripción	N	a	b	h	P. Especifico	Total	Total
Alivian amientos	8	1	1	1	10 Kg	80.0	118 kg/m²
Enlucido losa 2cm		1	1	0.02	1900 Kg/m²	38.0	

Adicional de carga muerta producido por las paredes

Nomenclatura	
H= Altura de la Pared	**PP=** Peso de Pared
h= Altura del vidrio	**PV=** Peso del Vidrio
e= Espesor	
e2= Espesor del vidrio	



Tipo	Nomenclatura	Dimenciones			Peso Especifico	Total	Unidad
		h (m) - H (m)	e (m) - e2 (m)	Longitud (m)			
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+2.52							
1	P.P.	2.32	0.15	71.64	1600 Kg	39889.15	kg
4	P.P.	1.82	0.15	3.5	1600 Kg	1528.80	kg
	P.V.	0.5	0.005		2600 Kg	22.75	kg
5	P.P.	0.72	0.15	18.45	1600 Kg	3188.16	kg
	P.V.	1.6	0.005		2600 Kg	383.76	kg
6	P.V.	2.32	0.005	1.25	2600 Kg	37.70	kg
Total						45050.32	kg
Área de la Planta						149.45	m²
Carga Muerta de Pared Nv+2.52						**301.44**	kg/m²
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+5.04							
1	P.P.	2.3	0.15	23.05	1600 Kg	12723.60	kg
3	P.P.	1	0.15	50	1600 Kg	12000.00	kg
4	P.P.	1.85	0.15	0.75	1600 Kg	333.00	kg
	P.V.	0.45	0.005		2600 Kg	4.39	kg
5	P.P.	1	0.15	2.85	1600 Kg	684.00	kg
	P.V.	1.3	0.005		2600 Kg	48.17	kg
6	P.V.	2.32	0.005	1.25	2600 Kg	37.70	kg
Total						25830.85	kg
Área de la Planta						149.45	m²
Carga Muerta de Pared Nv+5.04						**172.84**	kg/m²
ADICIONAL DE CARGA MUERTA (CM) PARED Nv+7.54							
3	P.P.	0.4	0.15	23.95	1600 Kg	2299.20	kg
Total						2299.20	kg
Área de la Planta						25.08	m²
Carga Muerta de Pared Nv+7.54						**91.67**	kg/m²

Tabla de valores del periodo Tseg. y la aceleración del espectro NEC-215 y espectro determinista.

ESPECTRO ELÁSTICO Y REDUCIDO NEC-2015		
Periodo T(s)	Sa(g)	Reducido (C)
0.00	1.19040	0.14880
0.1	1.19040	0.14880
0.20	1.19040	0.14880
0.3	1.19040	0.14880
0.40	1.19040	0.14880
0.5	1.19040	0.14880
0.60	1.19040	0.14880
0.674	1.19040	0.14880
0.7	1.18723	0.14840
0.80	1.03882	0.12985
0.9	0.92340	0.11542
1.00	0.83106	0.10388
1.1	0.75551	0.09444
1.20	0.69255	0.08657
1.3	0.63928	0.07991
1.40	0.59361	0.07420
1.5	0.55404	0.06925
1.60	0.51941	0.06493
1.7	0.48886	0.06111
1.80	0.46170	0.05771
1.9	0.43740	0.05467
2.00	0.41553	0.05194
2.1	0.39574	0.04947
2.20	0.37775	0.04722
2.3	0.36133	0.04517
2.40	0.34627	0.04328
2.5	0.33242	0.04155
2.60	0.31964	0.03995
2.7	0.30780	0.03847
2.80	0.29681	0.03710
2.9	0.28657	0.03582
3.00	0.27702	0.03463
3.1	0.26808	0.03351
3.20	0.25971	0.03246
3.3	0.25184	0.03148
3.40	0.24443	0.03055
3.5	0.23745	0.02968
3.60	0.23085	0.02886
3.7	0.22461	0.02808
3.80	0.21870	0.02734
3.9	0.21309	0.02664
4.00	0.20776	0.02597
4.1	0.20270	0.02534
4.20	0.19787	0.02473
4.3	0.19327	0.02416
4.40	0.18888	0.02361
4.5	0.18468	0.02308
4.60	0.18066	0.02258
4.7	0.17682	0.02210
4.80	0.17314	0.02164
4.9	0.16960	0.02120
5.00	0.16621	0.02078
5.1	0.16295	0.02037
5.20	0.15982	0.01998
5.3	0.15680	0.01960
5.40	0.15390	0.01924
5.5	0.15110	0.01889
5.60	0.14840	0.01855
5.7	0.14580	0.01822
5.80	0.14329	0.01791
5.9	0.14086	0.01761
6.00	0.13851	0.01731

ESPECTRO DETEMINISTA ELASTICO Y REDUCIDO		
T(s)	Sa(g)	Reducido (C)
0.00	0.53700	0.06713
0.05	0.69500	0.08688
0.10	0.88200	0.11025
0.15	1.09000	0.13625
0.200	1.18700	0.14838
0.25	1.23200	0.15400
0.3	1.31900	0.16488
0.35	1.28300	0.16038
0.4	1.28000	0.16000
0.45	1.18400	0.14800
0.5	1.07000	0.13375
0.55	1.01800	0.12725
0.6	0.97800	0.12225
0.65	0.95700	0.11963
0.7	0.98600	0.12325
0.75	0.94700	0.11838
0.80	0.86900	0.10863
0.85	0.79800	0.09975
0.90	0.73800	0.09225
0.95	0.67900	0.08488
1.00	0.63300	0.07913
1.25	0.49000	0.06125
1.50	0.45500	0.05688
2.00	0.37900	0.04738
2.50	0.31800	0.03975
3.00	0.26200	0.03275
4.00	0.16500	0.02063
5.00	0.08800	0.01100

Anexo 10: Diagramas de momentos, cortantes y fuerzas axiales de elementos estructurales

10.1. Estructura N-1

Columna Combinación 1.2D+L-SX

NEC-2015

Diagrama de Fuerzas Axiales

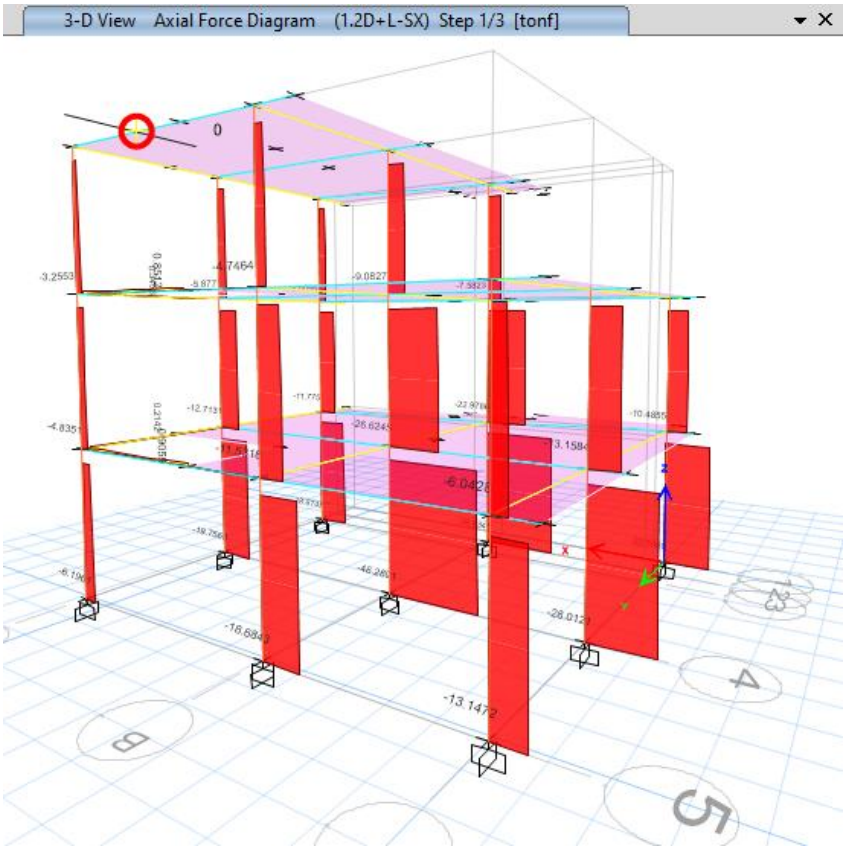
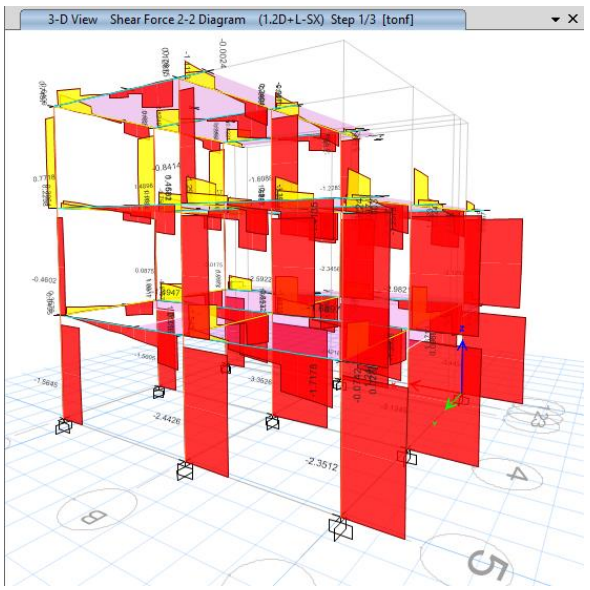


Diagrama de corte sentido X-Y

Sentido X



Sentido Y

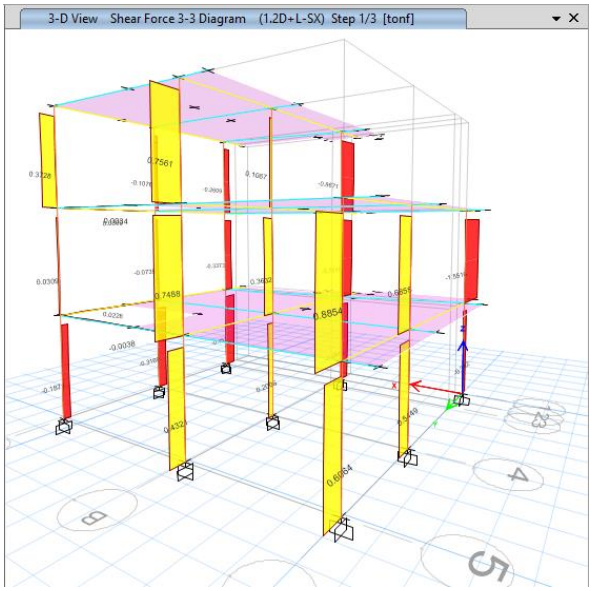
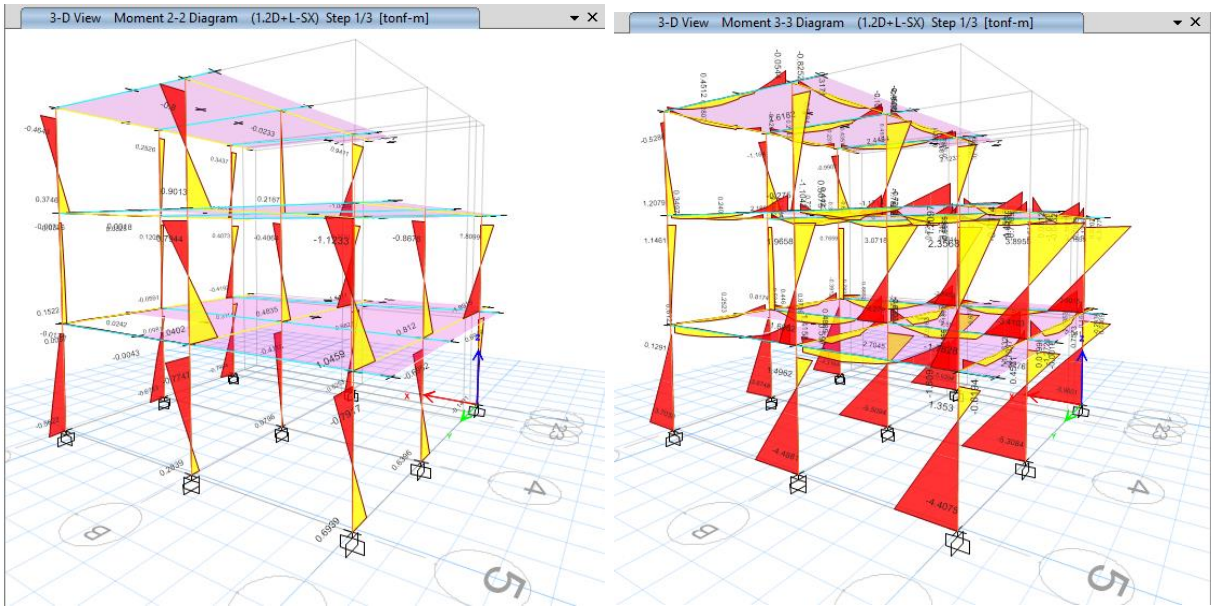


Diagrama de Momento sentido X-Y

Sentido X **Sentido Y**



Espectro Determinista

Diagrama de Fuerzas Axiales

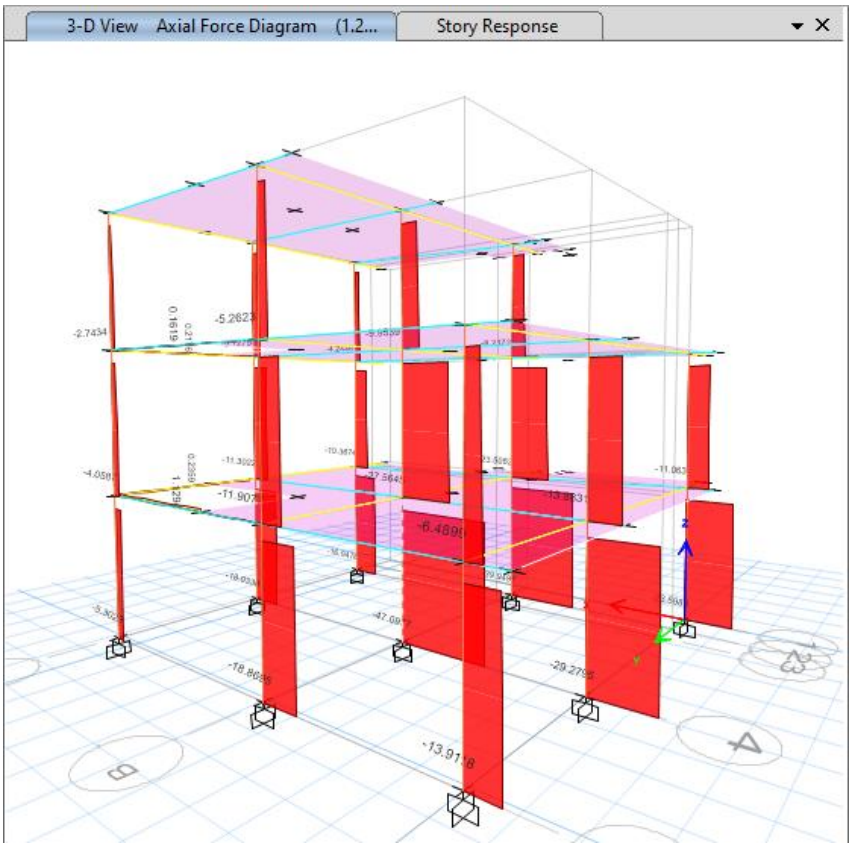
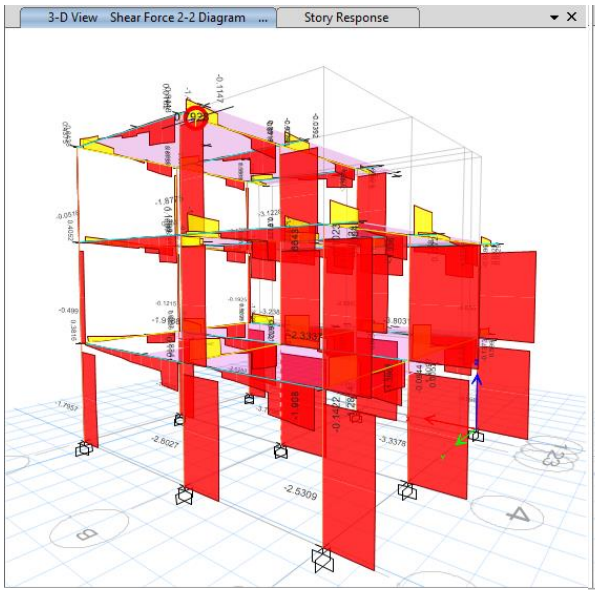


Diagrama de corte sentido X-Y

Sentido X **Sentido Y**



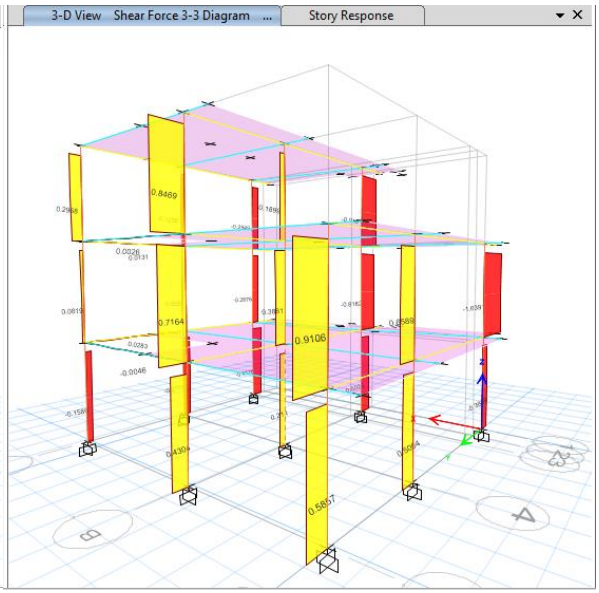
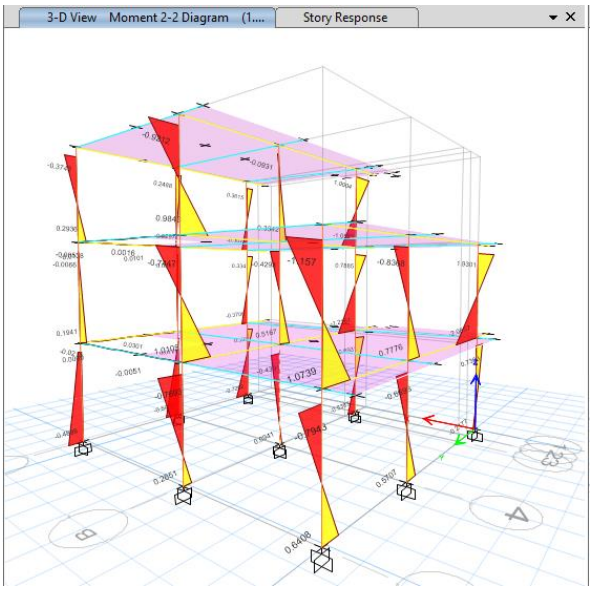
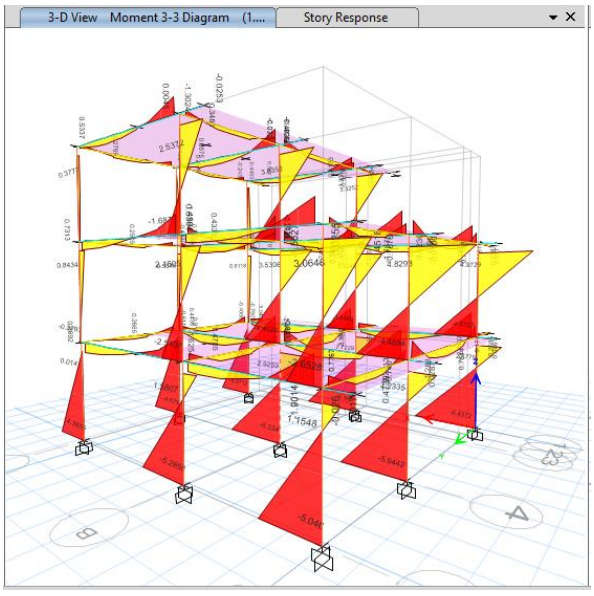


Diagrama de Momento sentido X-Y

Sentido X **Sentido Y**

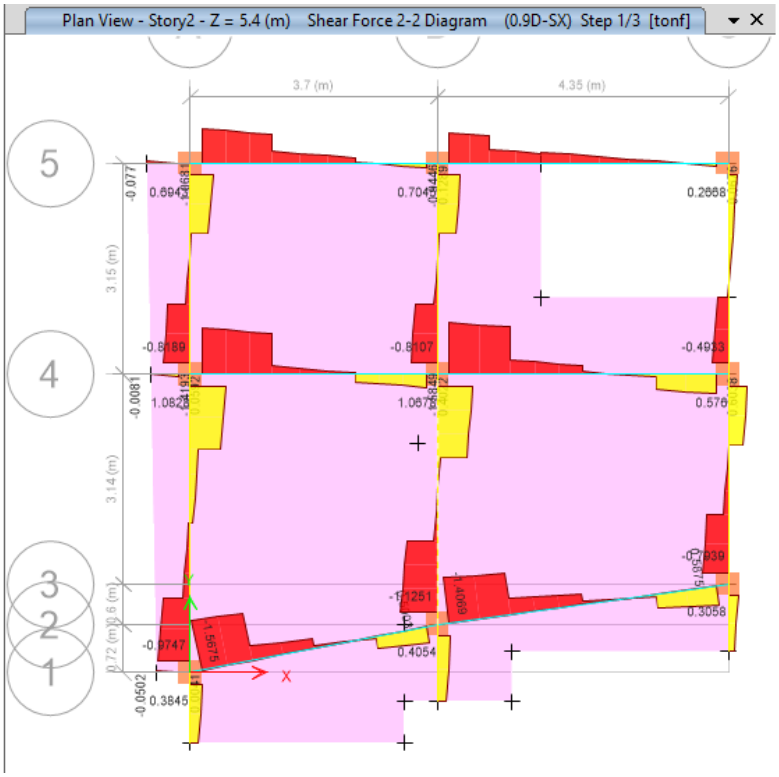




Vigas Combinación 0.9D-SX

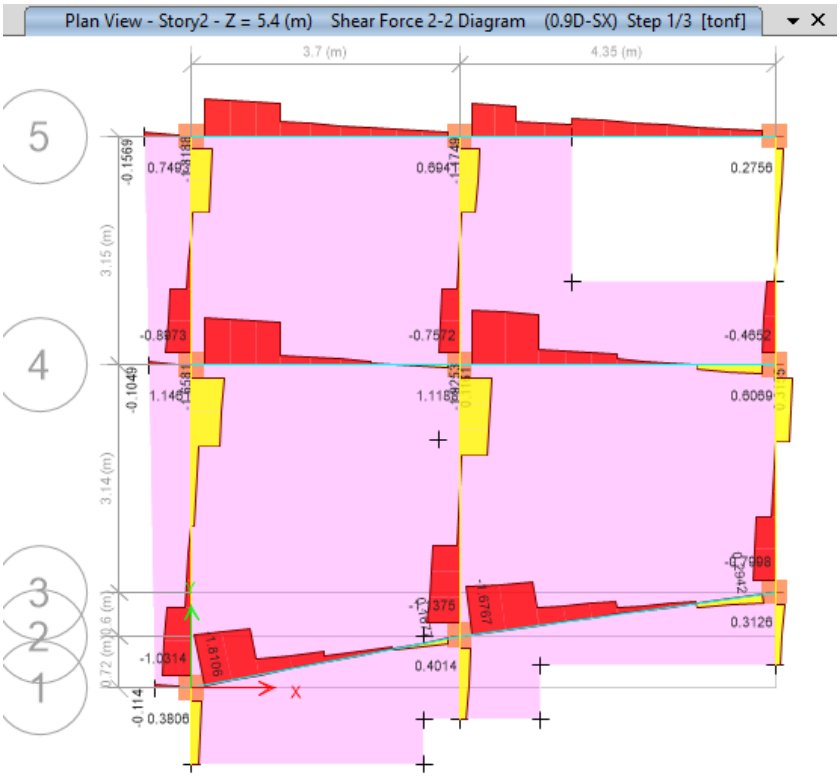
NEC-2015

Diagrama de Corte Viga central ejes B-3-4 del Nv+5.40m



Determinista

Diagrama de Corte Viga central ejes B-3-4 del Nv+5.40m



10.2. Estructura N-2

Columna Combinación 1.2D+L-SX

NEC-2015

Diagrama de Fuerzas Axiales

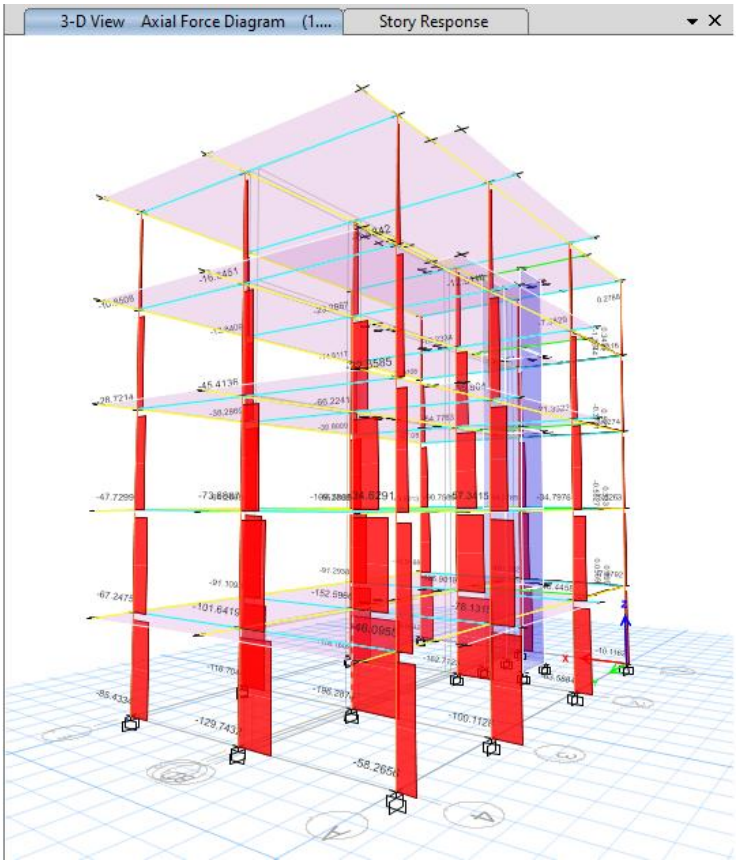
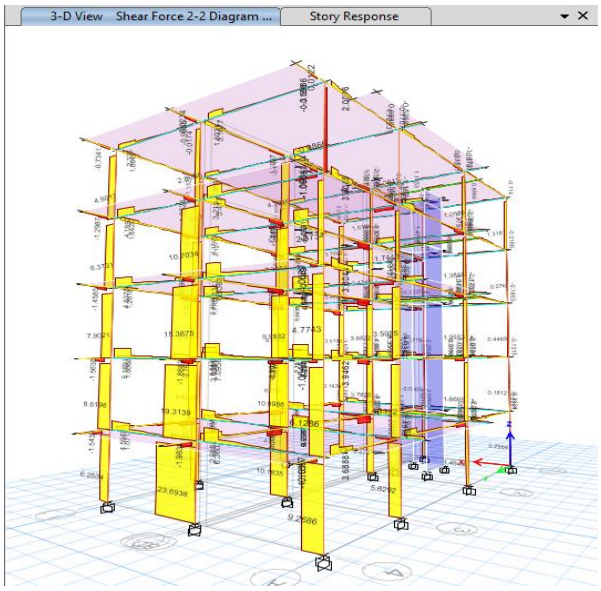


Diagrama de corte sentido X-Y

Sentido X



Sentido Y

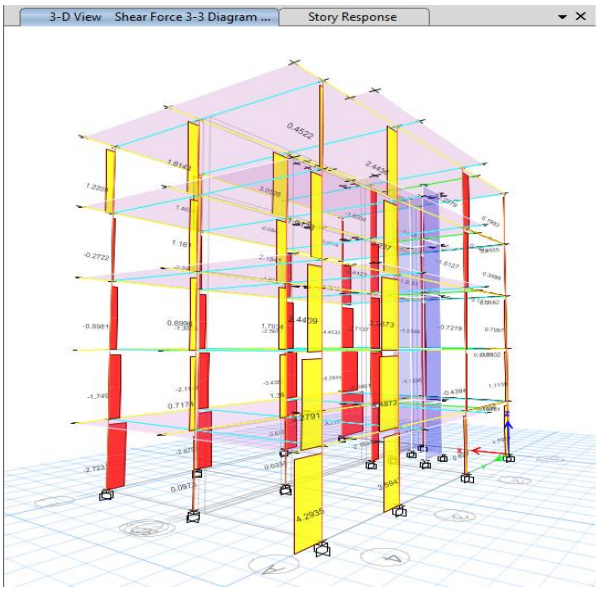
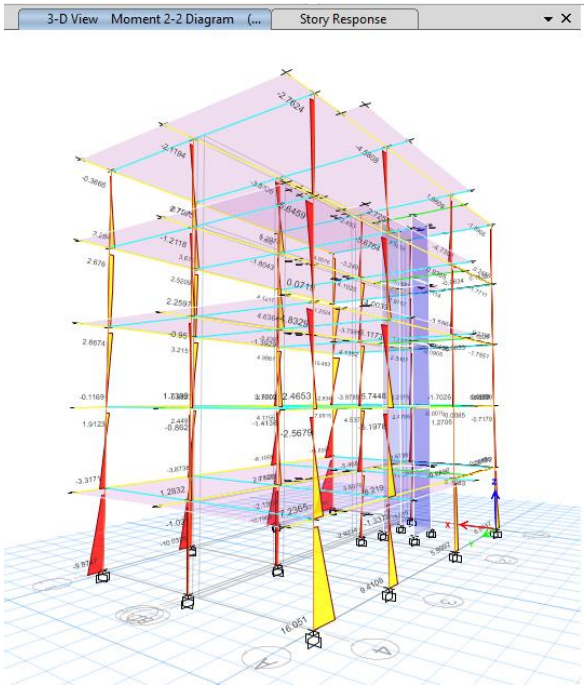
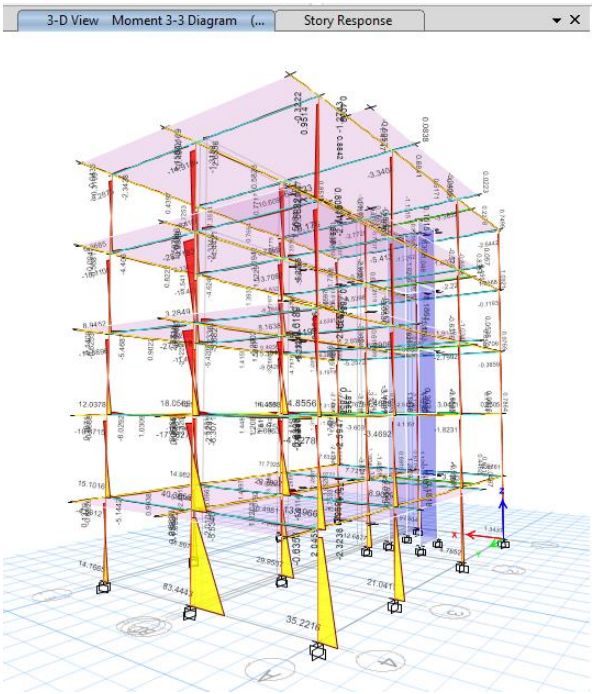


Diagrama de Momento sentido X-Y

Sentido X



Sentido Y



Espectro Determinista

Diagrama de Fuerzas Axiales

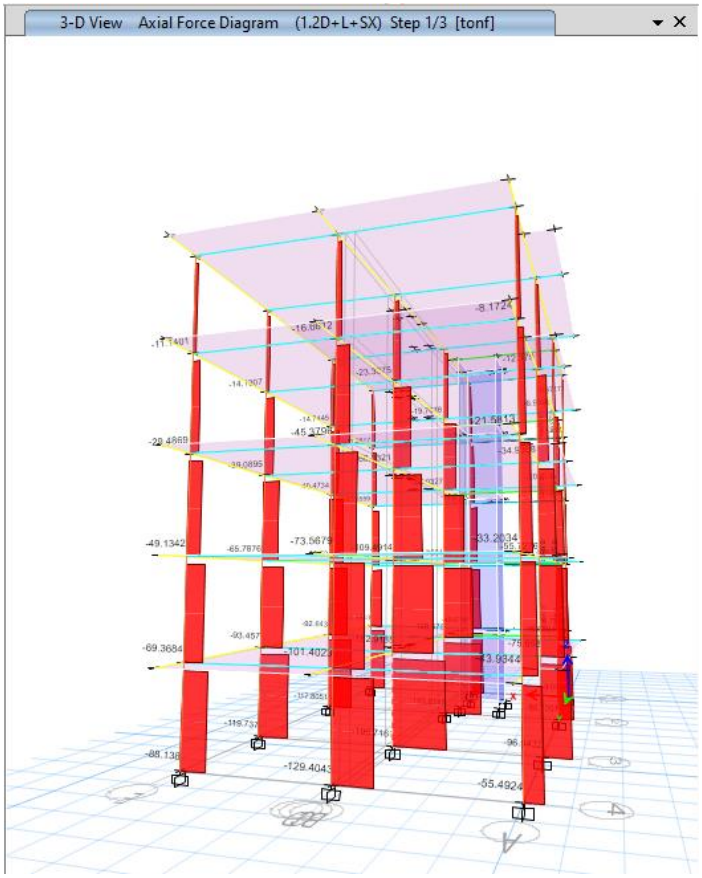


Diagrama de corte sentido X-Y

Sentido X **Sentido Y**

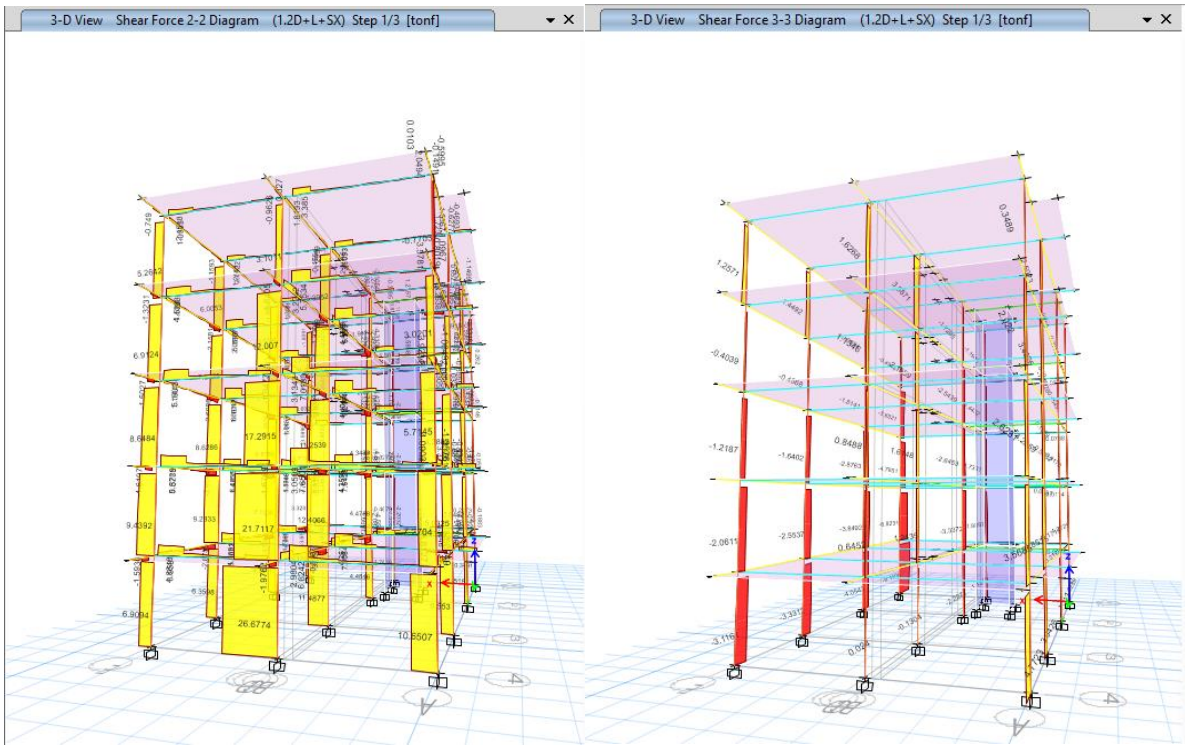
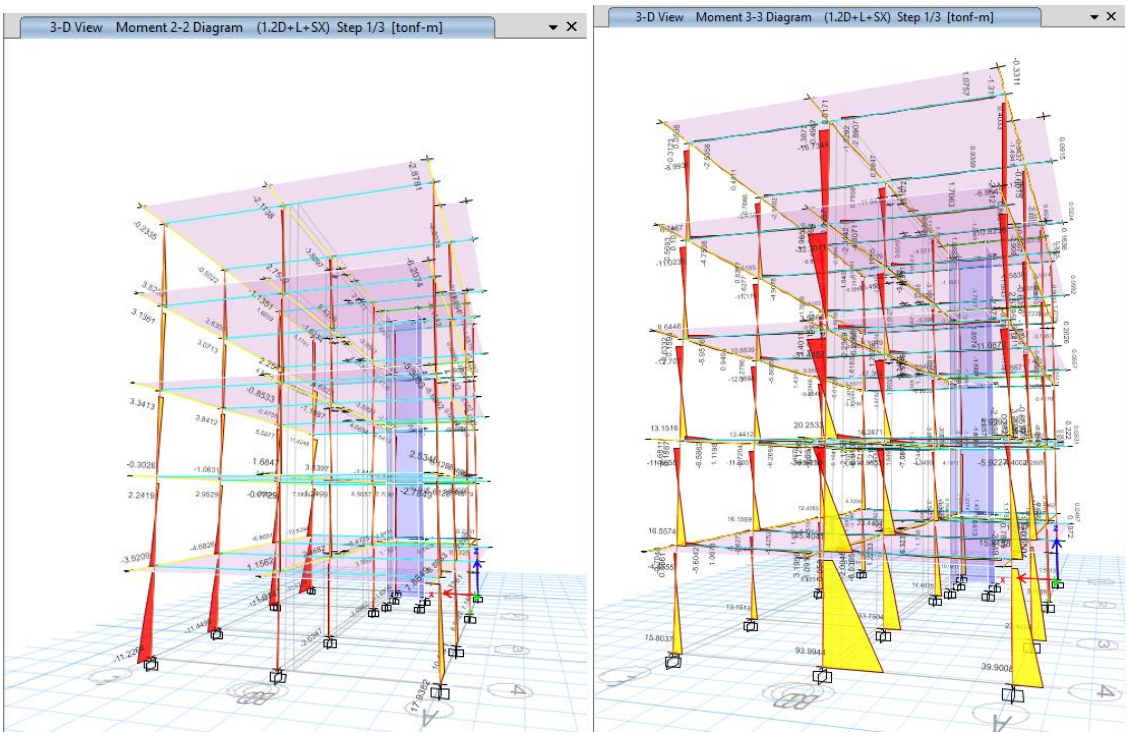


Diagrama de Momento sentido X-Y

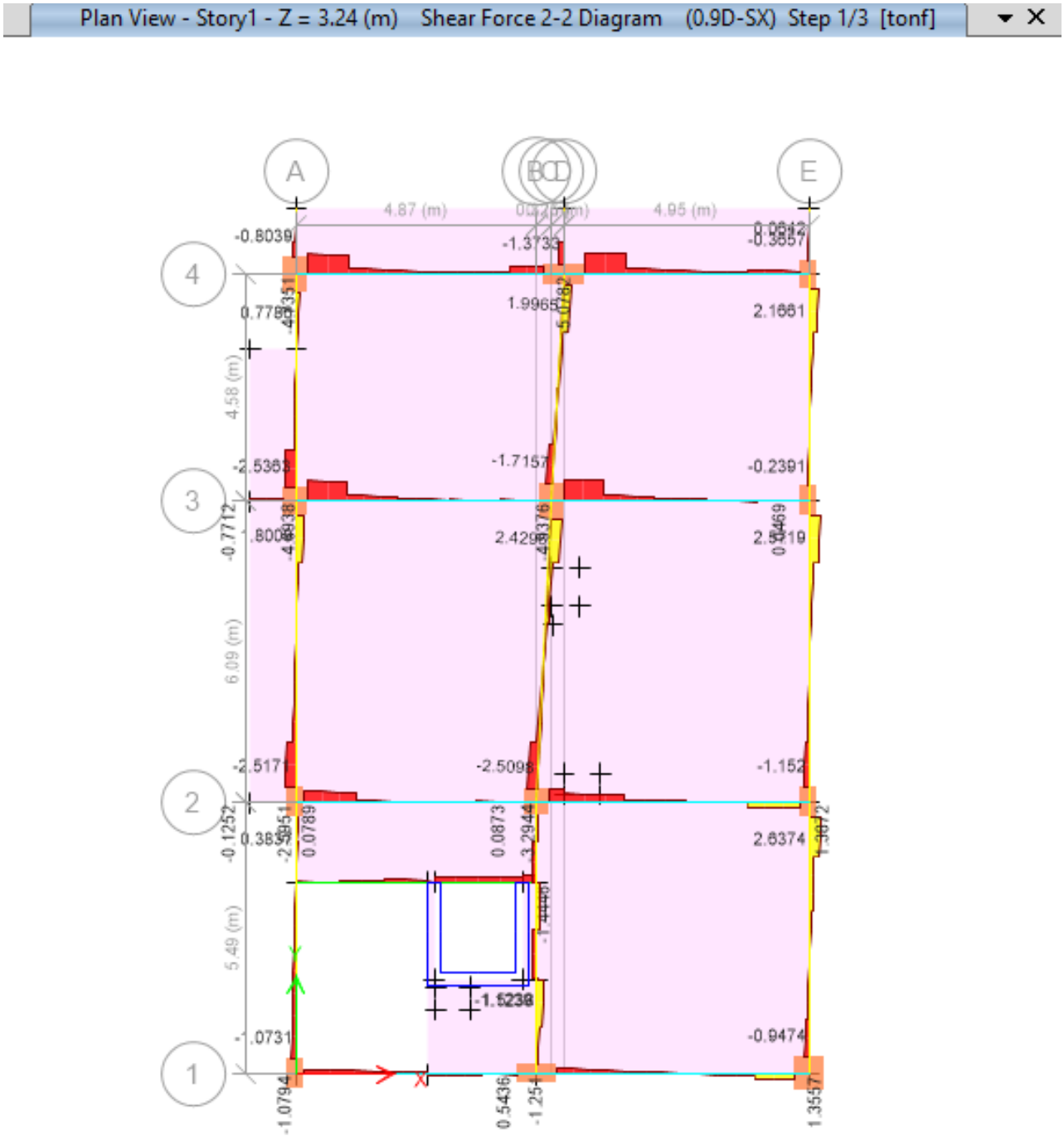
Sentido X **Sentido Y**



Vigas Combinación 0.9D-SX

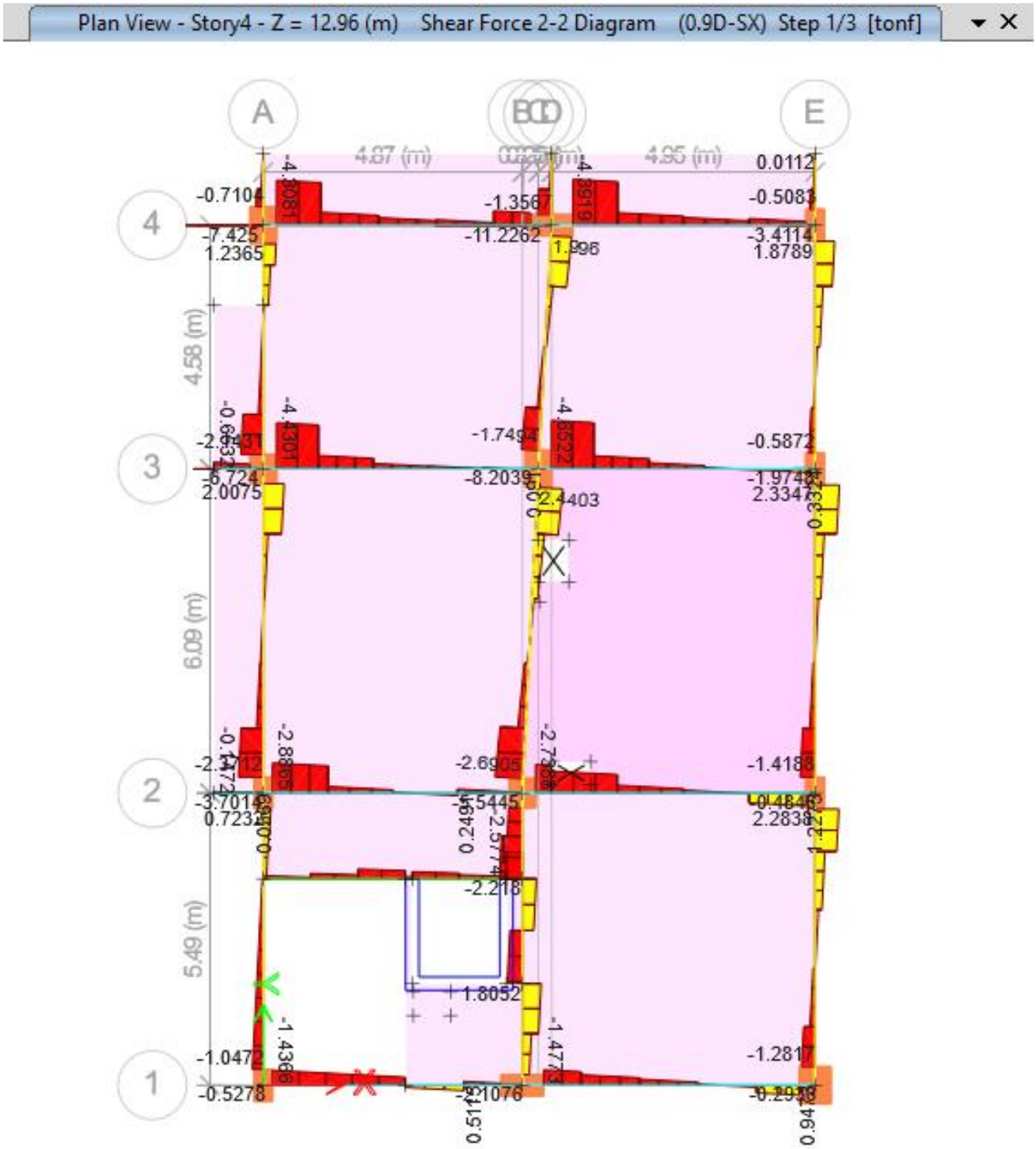
NEC-2015

Diagrama de Corte Viga central ejes B-2-3 del Nv+12.96m



Determinista

Diagrama de Corte Viga central ejes B-2-3 del Nv+12.96m



10.2. Estructura N-3

Columna Combinación 1.2D+L+SX

NEC-2015

Diagrama de Fuerzas Axiales

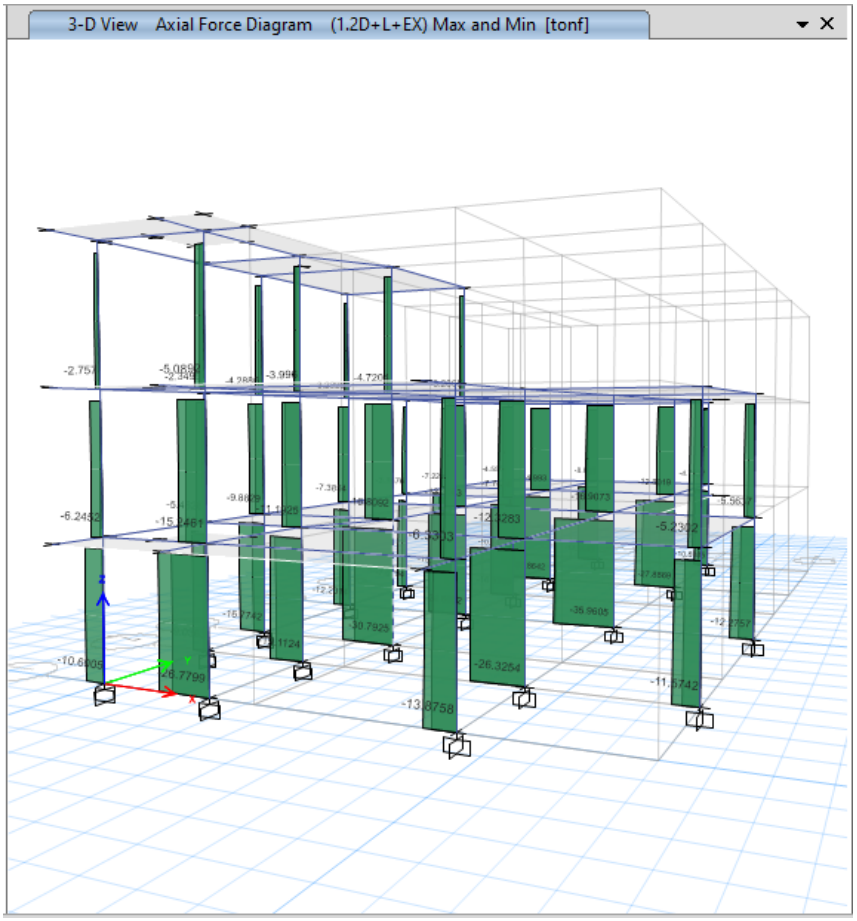
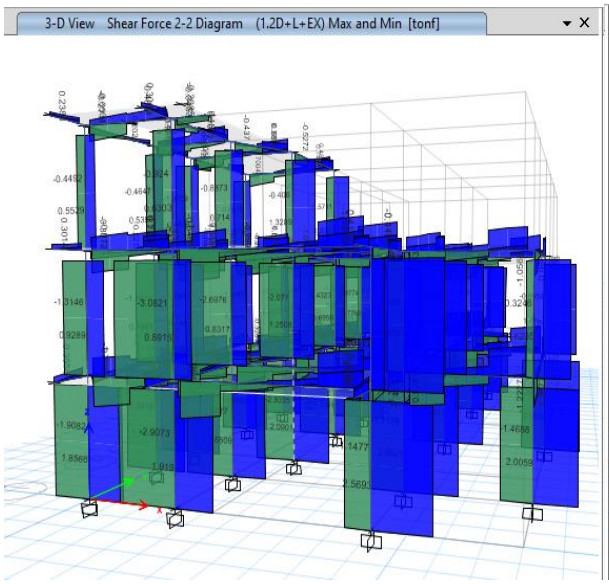


Diagrama de corte sentido X-Y

Sentido X



Sentido Y

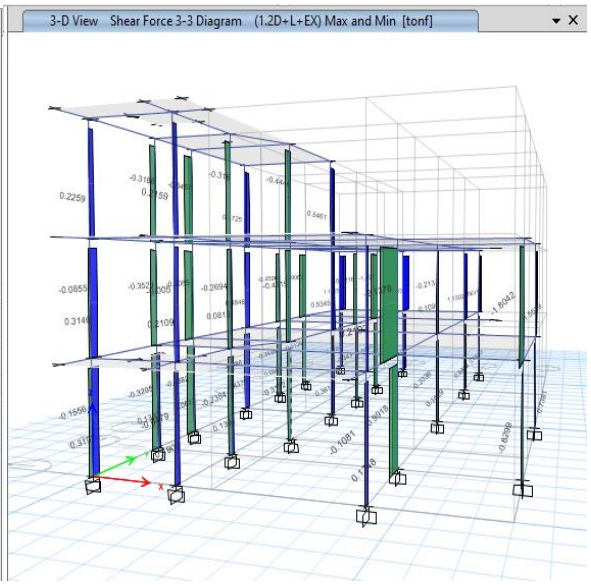
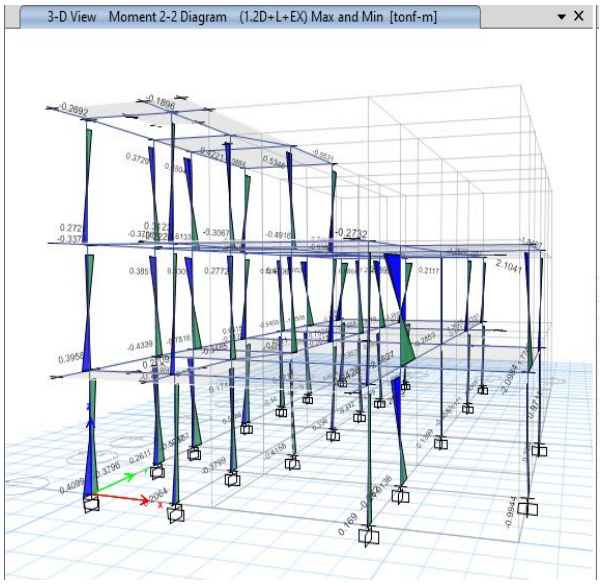
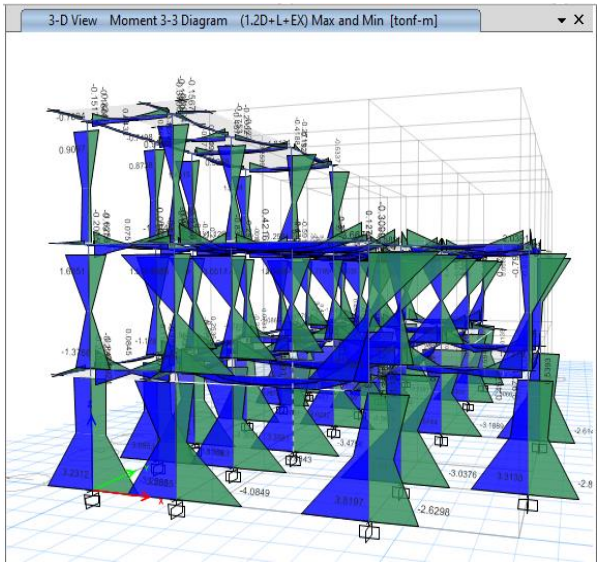


Diagrama de Momento sentido X-Y

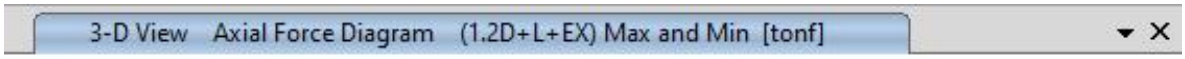
Sentido X **Sentido Y**





Espectro Determinista

Diagrama de Fuerzas Axiales



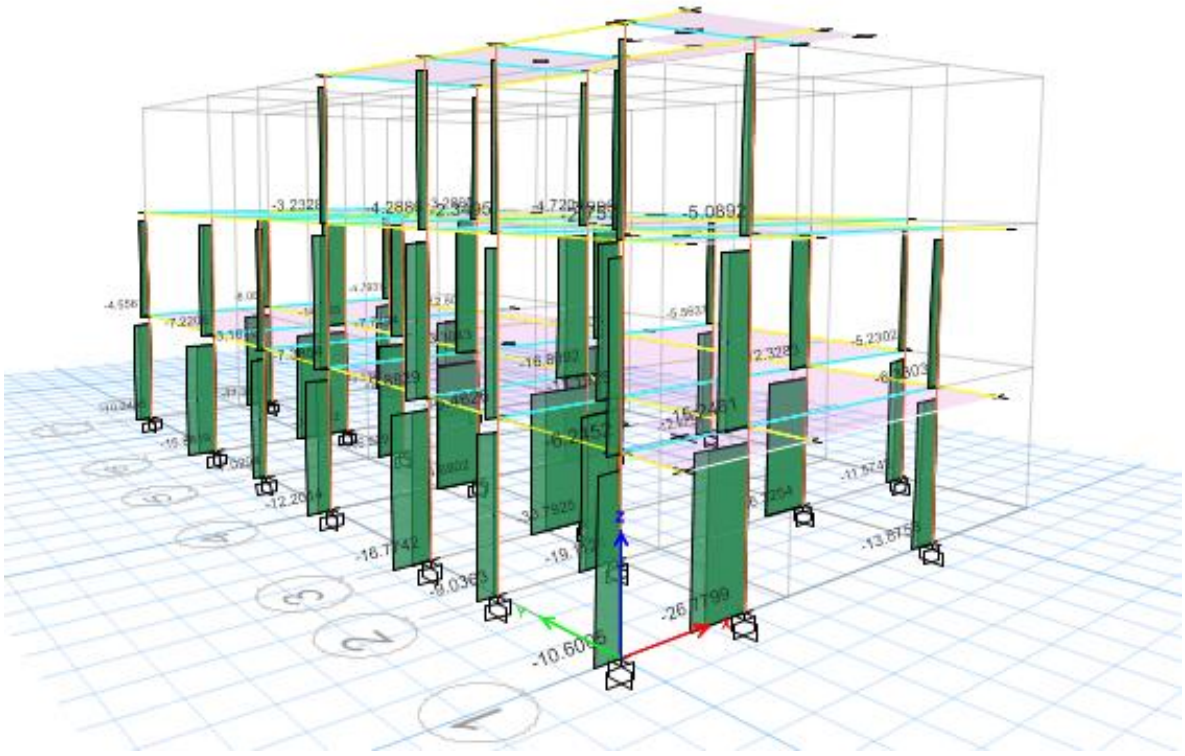
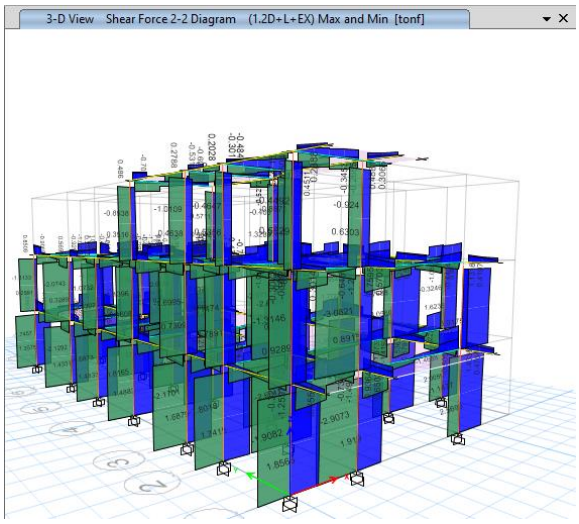


Diagrama de corte sentido X-Y

Sentido X



Sentido Y

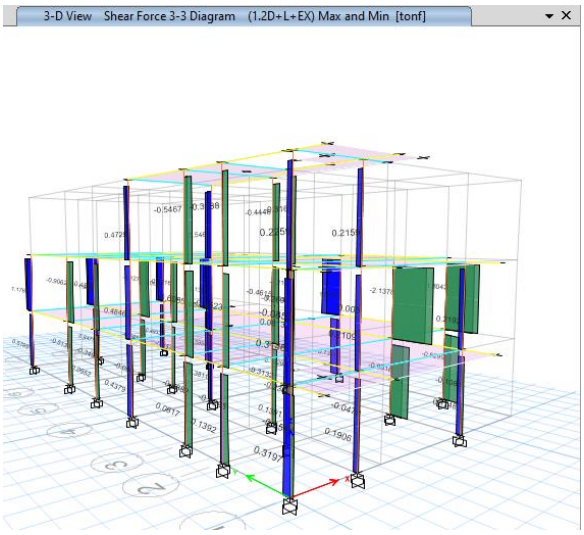
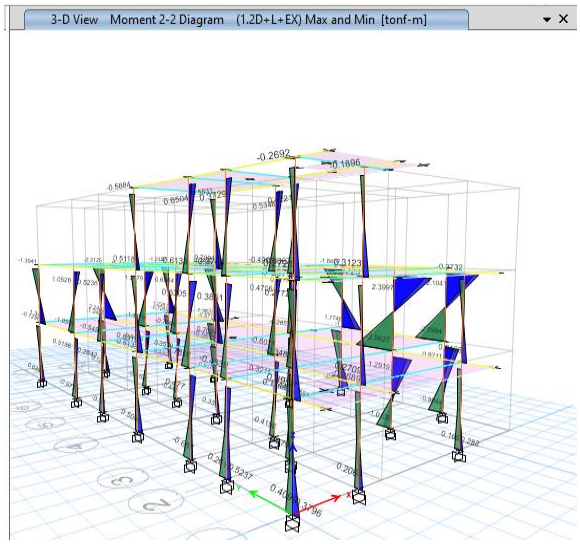
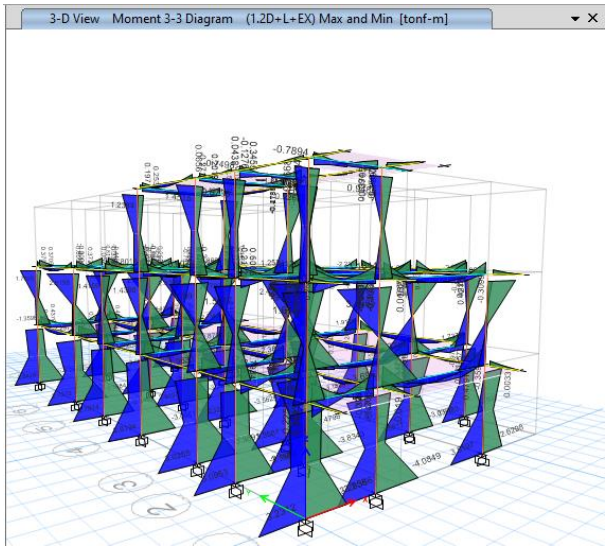


Diagrama de Momento sentido X-Y

Sentido X



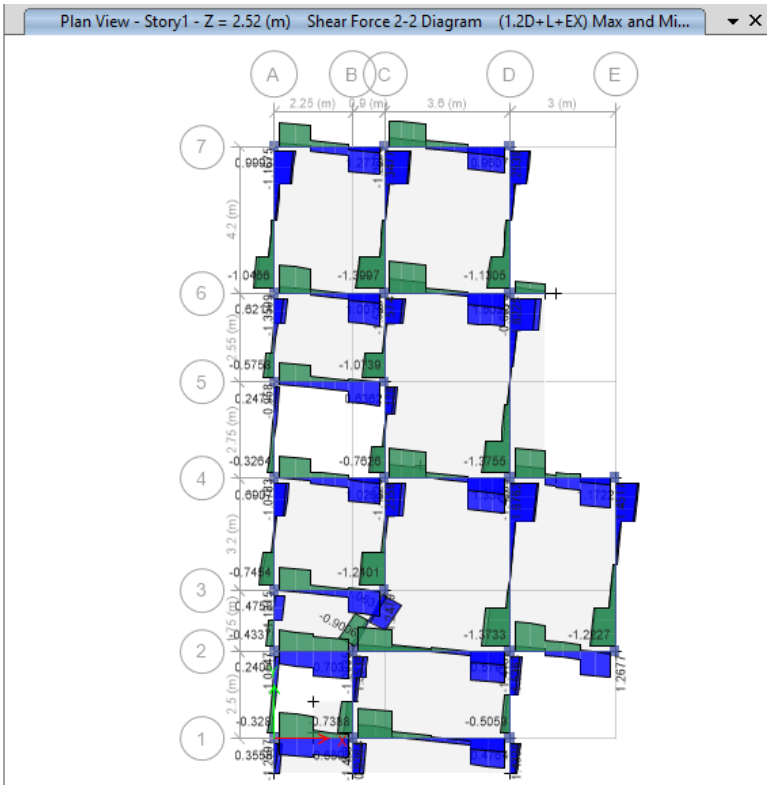
Sentido Y



Vigas Combinación 1.2D+L+SX

NEC-2015

Diagrama de Corte Viga central ejes B-D-2 del Nv+2.52m



Determinista

Diagrama de Corte Viga central ejes B-D-2 del Nv+2.52m

