



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

Tema:

“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS
DEL SECTOR EL RECREO DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA
CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

AUTOR: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

TUTOR: Ing. Mg. Christian Medina

Ambato – Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Christian Medina, certifico que el presente trabajo bajo el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR EL RECREO DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, es de autoría del Sr. Alexander Marcelo Oviedo Villacís, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, septiembre del 2018

Ing. Mg. Christian Medina

AUTORÍA

Yo, Alexander Marcelo Oviedo Villacís con C.I.: 180457686-4, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico mediante el presente documento que el trabajo experimental con tema: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR EL RECREO DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”, es de mi completa autoría.

Ambato, septiembre del 2018

Alexander Marcelo Oviedo Villacís

180457686-4

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Alexander Marcelo Oviedo Villacís, por medio de la presente autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este trabajo experimental o parte del mismo, un documento que se encuentre a disposición para su consulta, lectura o cualquier proceso de investigación que se requiera, según las normativas propias de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con la finalidad que sea difundido públicamente, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regularidades de la Universidad Técnica de Ambato, esto siempre y cuando esta reproducción no esté sujeta a una remuneración económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre del 2018

Autor

Alexander Marcelo Oviedo Villacís

180457686-4

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR EL RECREO DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, del egresado Alexander Marcelo Oviedo Villacís, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman.

Ing. Mg. Maritza Ureña

Ing. Mg. Juan Garcés

DEDICATORIA

Alguna vez alguien me dijo “NO TE RINDAS, NUNCA DIGAS NO PUEDO, SI TE CAES, APRENDE A LEVANTARTE Y DE ECHO QUIERO QUE TE CAIGAS PORQUE SE LO VALIENTE QUE ERES Y QUE ASÍ CADA VEZ SERÁS MEJOR APRENDERÁS MÁS Y TE EQUIVOCARÁS MENOS, PERO NUNCA HIJO TE OLVIDES DE DONDE VIENES”, esas palabras han hecho mi despertar cada día desde que te fuiste, como cada amanecer y como cada paso en mi vida te lo dedico a ti padre amado que desde el cielo me observas y sabes el esfuerzo que pongo en el camino que nos trazamos juntos, cumplí mi palabra y sin cesar sigo creciendo, con esto solo te demuestro una vez más cuanto TE AMO.

Dedico mi esfuerzo a mi madre que a pesar de cada equivocación ha tenido la sabiduría para perdonarme, darme la mano y empujarme a seguir luchando.

A mi hijo el pequeño Marcelito, quién espero siga mis pasos algún día y quién me inspira en aventurarme en cada nuevo trabajo que siempre viene con miedos e incertidumbres y que en cada suspiro en medio del miedo y la tempestad esta su rostro por el cual sonrío y sé que no me dejaré vencer.

A mi pequeña hermana que desde que la tuve entre mis brazos sabía que sería más que un hermano para ella, mi confidente, mi amiga y gracias al destino mi hija.

A mi tía Maritza Oviedo que en todo este tiempo ha sabido ser sabia y aconsejarme porque he sido un hombre terco y eso lo llevo en la sangre, gracias ñaña por hacer tu parte y no dejar desmayarme, a veces sentía que el trabajo y el estudio eran dos temas que no debían unirse y que esa lucha talvez no la terminaría bien, siempre que quería agachar el rostro tras tantas madrugadas seguidas tú estabas allí para tomar mi cabeza y repetir aquellas palabras por las cuales sigo aquí y no me rindo.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios que en mi camino ha puesto personas en las cuales me he podido sostener.

A mi familia que en las adversidades siempre estuvo a mi lado.

A Corporación Favorita que me dio el sustento de mi hogar mientras estudiaba, a los amigos que en mi vida laboral conocí que se convirtieron parte de mi familia, en especial Sebastián Ramón y Marco Andrade que supieron apoyarme en todo momento.

A mi amigo y actual jefe Ing. Cesar Argüello por permitirme aprender mientras construimos sueños y así darme cuenta el fruto de mi esfuerzo que valió la pena.

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

ÍNDICE DE CONENIDOS

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | ANTECEDENTES | 3 |
| 1.1 | TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL..... | 3 |
| 1.2 | ANTECEDENTES | 3 |
| 1.3 | JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 1.3.1 | Ubicación del proyecto..... | 5 |
| 1.4 | OBJETIVOS | 6 |
| 1.4.1 | Objetivo General: | 6 |
| 1.4.2 | Objetivos específicos:..... | 6 |
| 2 | FUNDAMENTACIÓN | 7 |
| 2.1 | FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 7 |
| 2.1.1 | Tectónica de Placas | 7 |
| | | 7 |
| 2.1.2 | Peligro Sísmico..... | 13 |
| 2.1.3 | Conceptos relacionados con el peligro sísmico..... | 14 |
| 2.1.4 | Mapa de zonificación según la NEC2015 | 16 |
| 2.1.5 | GMPEs..... | 17 |
| 2.2 | HIPÓTESIS..... | 20 |
| 2.3 | SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS..... | 20 |
| 2.3.1 | Variable Dependiente | 20 |
| 3 | METODOLOGÍA..... | 21 |
| 3.1 | NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN | 21 |
| 3.2 | POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 21 |
| 3.3 | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 22 |
| 3.3.1 | Variable Independiente..... | 22 |
| 3.3.2 | Variable Dependiente | 22 |
| 3.4 | PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 23 |
| 3.5 | PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS | 23 |
| 4 | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 24 |
| 4.1 | RECOLECCIÓN DE DATOS | 24 |
| 4.1.1 | Régimen Tectónico..... | 24 |
| 4.1.2 | Selección de fallas geológicas para el estudio de Peligro Sísmico..... | 28 |
| 4.1.3 | Cálculo de Magnitud | 32 |
| 4.1.4 | Planificación del estudio..... | 33 |
| 4.1.5 | Velocidad de onda de corte | 58 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 4.1.6 | Ecuaciones de predicción de respuesta sísmica del suelo para fallamiento cortical | 63 |
| 4.1.7 | Ecuaciones de predicción de movimiento de suelos usadas para el régimen subducción | 70 |
| 4.2 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 72 |
| 4.2.1 | Espectros obtenidos mediante Akkar y Bommer | 72 |
| 4.2.2 | Espectros obtenidos mediante Boore y Atkinson (2008) | 73 |
| 4.2.3 | Espectros obtenidos mediante Kanoo (2006) | 75 |
| 4.2.4 | Espectro calculado para fallamiento subducción por Youngs | 76 |
| 4.2.5 | Espectro calculado para fallamiento subducción por Zhao | 77 |
| 4.2.6 | Espectros hallados mediante ecuaciones de predicción de movimiento de suelo y espectro envolvente del lugar de estudio. | 78 |
| 4.2.7 | Espectro calculado mediante NEC 2015 | 81 |
| 4.2.8 | Comparación entre el espectro específico y espectro NEC 2015 para estructuras del sector El Recreo | 83 |
| 4.2.9 | Análisis de resultados | 84 |
| 4.3 | Verificación de hipótesis | 145 |
| CAPÍTULO V | | 146 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 146 |
| 5.1 | Conclusiones | 146 |
| 5.2 | Recomendaciones | 147 |
| 6 | Bibliografía | 148 |
| 7 | ANEXOS | 151 |
| 7.1 | MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS | 151 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Sector El Recreo | 5 |
| Ilustración 2: Editorial Vicencs Vives - Corte circular esquemático de las grandes Placas | 7 |
| Ilustración 3. Regímenes tectónicos | 8 |
| Ilustración 4. Régimen Distensivo A Regional | 8 |
| Ilustración 5 Límite entre placas, Divergente | 9 |
| Ilustración 6. Límite entre placas, Convergente | 10 |
| Ilustración 7. Límites transformantes | 10 |
| Ilustración 8. Falla normal | 11 |
| Ilustración 9. Falla Normal Homotetica | 11 |
| Ilustración 10. Falla Normal Antitética | 11 |
| Ilustración 11. Falla inversa | 12 |
| Ilustración 12. Falla Inversa Homotética | 12 |
| Ilustración 13. Falla Inversa Antitetica | 12 |
| Ilustración 14. Falla transcurrente | 13 |
| Ilustración 15. Farras de rumbo | 13 |
| Ilustración 16. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador proporcionado por NEC 2015 | 17 |
| Ilustración 17. Ecuaciones de Wells y Coopersmith para determinar el área de ruptura 18 | |
| Ilustración 18. Ubicación Ambato | 24 |
| Ilustración 19. Placas cercanas a Ecuador | 25 |
| Ilustración 20. Fallas geológicas existentes en Ecuador | 28 |
| Ilustración 21. Falla Subducción EC-223 | 28 |
| Ilustración 22. Fallas Geológicas de Tungurahua | 29 |
| Ilustración 23. Fallas geológicas de Ambato | 29 |
| Ilustración 24. Falla Huachi Ec-344a | 30 |
| Ilustración 25. Falla Ambato EC-344b | 30 |
| Ilustración 26. Falla Totoras Ec-345 | 31 |
| Ilustración 27. Falla Samanga Ec-54 | 31 |
| Ilustración 28. Ubicación de los sondeos | 33 |
| Ilustración 29. Curva granulométrica | 41 |
| Ilustración 30. Limitaciones de Akkar y Bommer | 68 |
| Ilustración 31. Espectros Akkar y Bommer para fallamiento cortical para El Recreo... 72 | |
| Ilustración 32. Espectro envolvente Akkar y Bommer para el Recreo, fallamiento cortical | 73 |
| Ilustración 33. Espectros Boore y Atkinson para fallamiento cortical para El Recreo . 73 | |
| Ilustración 34. Espectro envolvente Boore y Atkinson para el Recreo, fallamiento cortical | 74 |
| Ilustración 35. Espectros Kanno para fallamiento cortical para El Recreo | 75 |
| Ilustración 36. Espectro envolvente Kanno para el Recreo, fallamiento cortical..... 76 | |
| Ilustración 37. Espectro Youngs para fallamiento cortical para El Recreo | 76 |
| Ilustración 38. Espectro Zhao para fallamiento cortical para El Recreo | 77 |
| Ilustración 39. Espectros de lugar obtenidos mediante ecuaciones de atenuación para el sector El Recreo | 78 |
| Ilustración 40. Espectro envolvente específico para el sector El Recreo | 79 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 41. Espectro NEC 2015 para el sector el Recreo..... | 83 |
| Ilustración 42. Comparación entre Espectro específico y espectro NEC 2015 | 83 |
| Ilustración 43. Vista en planta LOSA N +2.55 y N +5.10 | 84 |
| Ilustración 44. Vista en planta LOSA N +2.55 y N +5.10 | 84 |
| Ilustración 45. Vista en planta LOSA N +2.55 y N +5.10 | 84 |
| Ilustración 46. Vista en planta LOSA N +2.55 y N +5.10 | 84 |
| Ilustración 47. Vista en planta LOSA N +7.65 Tapagrada..... | 85 |
| Ilustración 48. Vista en planta LOSA N +7.65 Tapagrada..... | 85 |
| Ilustración 49. Vista en planta LOSA N +7.65 Tapagrada..... | 85 |
| Ilustración 50. Vista en planta LOSA N +7.65 Tapagrada..... | 85 |
| Ilustración 51. Distribución estructural vista en 3D | 85 |
| Ilustración 52. Vista Render de la estructura..... | 85 |
| Ilustración 53. Vista Render de la estructura..... | 85 |
| Ilustración 54. Distribución estructural vista en 3DIlustración 55. Vista Render de la estructura | 85 |
| Ilustración 56. Vista Render de la estructura..... | 85 |
| Ilustración 57. Domicilio de la señora Beatriz Lascano | 86 |
| Ilustración 58. Domicilio de la señora Beatriz Lascano | 86 |
| Ilustración 59. Domicilio de la señora Beatriz Lascano | 86 |
| Ilustración 60. Domicilio de la señora Beatriz Lascano | 86 |
| Ilustración 61. Períodos calculados por el software con análisis modal | 88 |
| Ilustración 62. Períodos calculados por el software con análisis modal | 88 |
| Ilustración 63. Períodos calculados por el software con análisis modal | 88 |
| Ilustración 64. Períodos calculados por el software con análisis modal | 88 |
| Ilustración 65. Espectro NEC 15 para el sector el Recreo suelo tipo D vigas banda, R=5 | 89 |
| Ilustración 66. Espectro específico reducido R=5 | 90 |
| Ilustración 67. Espectro NEC 2015 | 91 |
| Ilustración 68. Fórmulas para calcular Sa según el período. | 91 |
| Ilustración 69. Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido x | 92 |
| Ilustración 70. Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido y | 92 |
| Ilustración 71. Espectro específico | 93 |
| Ilustración 72. Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico. | 93 |
| Ilustración 73. Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico. | 94 |
| Ilustración 74. Verificación de torsión con un análisis modal | 94 |
| Ilustración 75. Deriva sentido x espectro NEC15 | 95 |
| Ilustración 76. Deriva sentido y espectro NEC 15 | 95 |
| Ilustración 77. Deriva sentido x espectro Específico | 96 |
| Ilustración 78. Deriva sentido y espectro Específico | 96 |
| Ilustración 79. Deriva sentido x espectro NEC15 | 97 |
| Ilustración 80. Deriva sentido y espectro NEC 15 | 97 |
| Ilustración 81. Deriva sentido x espectro Específico | 98 |
| Ilustración 82 Deriva sentido y espectro Específico | 98 |
| Ilustración 83 Comparación entre derivas sentido x | 99 |
| Ilustración 84 Comparación de derivas sentido y | 99 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 85 Cortante estático X NEC15 | 100 |
| Ilustración 86 Cortante dinámico X NEC15..... | 100 |
| Ilustración 87 Cortante estático Y NEC15 | 101 |
| Ilustración 88 Cortante dinámico Y NEC15..... | 101 |
| Ilustración 89 Cortante estático X Específico | 102 |
| Ilustración 90 Cortante dinámico X Específico..... | 102 |
| Ilustración 91 Cortante estático Y Específico | 103 |
| Ilustración 92 Cortante dinámico Y Específico..... | 103 |
| Ilustración 93 Comparación de cortantes x | 104 |
| Ilustración 94 Comparación de cortantes sentido y | 104 |
| Ilustración 95 Vista en planta LOSA N +3,20; N +6,40; N +9,60. | 105 |
| Ilustración 96 Vista en planta LOSA N +12,80 Tapagrada,..... | 106 |
| Ilustración 97 Distribución estructural vista en 3D | 106 |
| Ilustración 98 Vista Render de la estructura..... | 106 |
| Ilustración 99 Hotel Titánic | 106 |
| Ilustración 100. IMAGEN DE CARGA VIVA PARA HOTEL NEC15 | 107 |
| Ilustración 101 Períodos calculados por el software con análisis modal | 108 |
| Ilustración 102 Espectro NEC 15 para el sector el Recreo suelo tipo D vigas peraltadas, R=8 e irregularidad en planta 0,9 | 109 |
| Ilustración 103 Espectro específico reducido R=8 | 110 |
| Ilustración 104. Espectro NEC 2015 R=8 | 111 |
| Ilustración 105 Fórmulas para calcular Sa según el período. | 111 |
| Ilustración 106 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido x | 112 |
| Ilustración 107 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido y | 112 |
| Ilustración 108 Espectro específico | 113 |
| Ilustración 109 Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico. | 113 |
| Ilustración 110. Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico. | 114 |
| Ilustración 111 Deriva sentido x espectro NEC15 | 115 |
| Ilustración 112 Deriva sentido y espectro NEC 15 | 115 |
| Ilustración 113 Deriva sentido y espectro NEC 15 | 116 |
| Ilustración 114 Deriva sentido y espectro Específico | 116 |
| Ilustración 115 Deriva sentido x espectro NEC15 | 117 |
| Ilustración 116 Deriva sentido y espectro NEC 15 | 117 |
| Ilustración 117 Deriva sentido x espectro Específico | 118 |
| Ilustración 118 Deriva sentido y espectro Específico | 118 |
| Ilustración 119. Comparación entre derivas sentido x | 119 |
| Ilustración 120 Comparación de derivas sentido y..... | 119 |
| Ilustración 121 Cortante estático X NEC15 | 120 |
| Ilustración 122 Cortante dinámico X NEC15..... | 120 |
| Ilustración 123 Cortante estático Y NEC15 | 121 |
| Ilustración 124 Cortante dinámico Y NEC15..... | 121 |
| Ilustración 125 . Cortante estático X Específico | 122 |
| Ilustración 126 Cortante dinámico X Específico..... | 122 |
| Ilustración 127 Cortante estático Y Específico | 123 |
| Ilustración 128. Cortante dinámico Y Específico..... | 123 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 129 Comparación de cortantes sentido x..... | 124 |
| Ilustración 130 Comparación de cortantes sentido y..... | 124 |
| Ilustración 131. Vista en planta LOSA N +2.70 y N +5.40 | 125 |
| Ilustración 132 Vista en planta LOSA N +8,10 Tapagrada..... | 125 |
| Ilustración 133 Vista Render de la estructura..... | 126 |
| Ilustración 134 . Distribución estructural vista en 3D..... | 126 |
| Ilustración 135 Domicilio de la señora Beatriz Lascano..... | 126 |
| Ilustración 136 Períodos calculados por el software con análisis modal | 128 |
| Ilustración 137. Espectro NEC 15 para el sector el Recreo suelo tipo D vigas banda, R=5 | 129 |
| Ilustración 138 Espectro específico reducido R=5 | 130 |
| Ilustración 139. Espectro NEC 2015 R=5 | 131 |
| Ilustración 140 Fórmulas para calcular Sa según el período. | 131 |
| Ilustración 141 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido x | 132 |
| Ilustración 142 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido y | 132 |
| Ilustración 143 Espectro específico..... | 133 |
| Ilustración 144 . Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico. | 133 |
| Ilustración 145 . Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico. | 134 |
| Ilustración 146 Deriva sentido x espectro NEC15 | 135 |
| Ilustración 147 Deriva sentido y espectro NEC 15 | 135 |
| Ilustración 148 . Deriva sentido x espectro Específico | 136 |
| Ilustración 149 Deriva sentido y espectro Específico | 136 |
| Ilustración 150 Deriva sentido x espectro Específico | 137 |
| Ilustración 151 Deriva sentido y espectro Específico | 137 |
| Ilustración 152 Deriva sentido x espectro Específico | 138 |
| Ilustración 153 Deriva sentido y espectro Específico | 138 |
| Ilustración 154 Comparación entre derivas de piso sentido x..... | 139 |
| Ilustración 155 Comparación entre derivas de piso sentido y | 139 |
| Ilustración 156 Cortante estático X NEC15 | 140 |
| Ilustración 157 Cortante dinámico X NEC15..... | 140 |
| Ilustración 158 Cortante estático Y NEC15 | 141 |
| Ilustración 159 Cortante dinámico Y NEC15..... | 141 |
| Ilustración 160. Cortante estático X Específico | 142 |
| Ilustración 161 Cortante dinámico X Específico..... | 142 |
| Ilustración 162 Cortante estático Y Específico | 143 |
| Ilustración 163 Cortante dinámico Y Específico..... | 143 |
| Ilustración 164 Comparación de cortantes sentido x..... | 144 |
| Ilustración 165 Comparación de cortantes sentido y | 144 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Coeficientes para calcular la magnitud de momento según Wells-Coppersmith | 16 |
| Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente | 22 |
| Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente | 22 |
| Tabla 4. Plan de recolección de información | 23 |
| Tabla 5. Eventos sísmicos $M_w > 5.00$ sentidos en Ecuador a partir del 16 de Abril de 2016 | 26 |
| Tabla 6. Historia sísmica que afecta a la ciudad de Ambato | 27 |
| Tabla 7. Fallas seleccionadas para el estudio | 32 |
| Tabla 8. Geo-referencia de los sondeos realizados..... | 34 |
| Tabla 9. Ensayo SPT Sondeo N°1 | 35 |
| Tabla 10. Ensayo SPT Sondeo N°2 | 36 |
| Tabla 11. Ensayo SPT Sondeo N°3 | 37 |
| Tabla 12. Ensayo SPT Sondeo N°4 | 38 |
| Tabla 13. Ensayo SPT Sondeo N°5 | 39 |
| Tabla 14. Clasificación de los suelos según S.U.C.S. | 40 |
| Tabla 15. Clasificación de los suelos según la AASHTO | 41 |
| Tabla 16. Contenido de humedad Sondeo N°1..... | 42 |
| Tabla 17. Contenido de humedad Sondeo N°2..... | 42 |
| Tabla 18. Contenido de humedad Sondeo N°3..... | 43 |
| Tabla 19. Contenido de humedad Sondeo N°4..... | 43 |
| Tabla 20. Contenido de humedad Sondeo N°5..... | 43 |
| Tabla 21. Granulometría Sondeo N°1 Nivel 1 - 2 (m) | 44 |
| Tabla 22. Granulometría Sondeo N°1 Nivel 2 - 3 (m) | 45 |
| Tabla 23. Granulometría Sondeo N°1 Nivel 3 - 4 (m) | 46 |
| Tabla 24. Granulometría Sondeo N°2 Nivel 1 - 2 (m) | 47 |
| Tabla 25. Granulometría Sondeo N°2 Nivel 2 - 3 (m) | 48 |
| Tabla 26. Granulometría Sondeo N°2 Nivel 3 - 4(m) | 49 |
| Tabla 27. Granulometría Sondeo N°3 Nivel 1 - 2(m) | 50 |
| Tabla 28. Granulometría Sondeo N°3 Nivel 2 - 3(m) | 51 |
| Tabla 29. Granulometría Sondeo N°4 Nivel 1 - 2(m) | 52 |
| Tabla 30. Granulometría Sondeo N°4 Nivel 2 - 3(m) | 53 |
| Tabla 31. Granulometría Sondeo N°5 Nivel 1 - 2(m) | 54 |
| Tabla 32. Granulometría Sondeo N°5 Nivel 2 - 3(m) | 55 |
| Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos..... | 56 |
| Tabla 34. Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento sísmico del suelo..... | 57 |
| Tabla 35. Relaciones empíricas del método ReMi para cada grupo Litológico | 58 |
| Tabla 36. Vs Perforación 1 | 58 |
| Tabla 37. Vs Perforación 2 | 59 |
| Tabla 38. Vs Perforación 3 | 60 |
| Tabla 39. Vs Perforación 4 | 61 |
| Tabla 40. Vs Perforación 5 | 62 |
| Tabla 41. Velocidades de onda de corte encontradas en el lugar de estudio..... | 63 |
| Tabla 42. Categorías para mecanismo de fallas | 64 |
| Tabla 43. Coeficientes para ecuación de no linealidad según Boore y Atkinson..... | 65 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 44. Ss y SA para usar la ecuación de Akkar y Bommer..... | 67 |
| Tabla 45. Coeficientes Fr y Fn para la ecuación de Akkar y Bommer..... | 67 |
| Tabla 46. Resumen de respuesta espectral | 78 |
| Tabla 47. Espectro envolvente Período vs. Sa%g | 80 |
| Tabla 48. Espectro NEC 2015 para el sector El Recreo | 82 |
| Tabla 49. Áreas en planta de la estructura de la señora Beatriz Lascano | 84 |
| Tabla 50. Cálculo del peso total de la carga soportada | 87 |
| Tabla 51. Cálculo del peso total de la carga para tapagrada..... | 87 |
| Tabla 52. Espectro específico reducido R=5 para estructuras con vigas banda | 90 |
| Tabla 53. Fórmulas para calcular el coeficiente k que depende del período..... | 91 |
| Tabla 54. Áreas en planta de la estructura del Hotel Titánic..... | 105 |
| Tabla 55. Cálculo del peso total de la carga soportada | 107 |
| Tabla 56. Cálculo del peso total de la carga para tapagrada..... | 108 |
| Tabla 57. Espectro específico reducido R=8 para estructuras con vigas peraltadas | 110 |
| Tabla 58. Fórmulas para calcular el coeficiente k que depende del período..... | 111 |
| Tabla 59. Verificación de torsión con un análisis modal | 114 |
| Tabla 60. Áreas en planta de la estructura de la señora Beatriz Lascano | 125 |
| Tabla 61. Cálculo del peso total de la carga soportada | 127 |
| Tabla 62. Cálculo del peso total de la carga para tapagrada..... | 127 |
| Tabla 63. Espectro específico reducido R=5 para estructuras con vigas banda | 130 |
| Tabla 64. Fórmulas para calcular el coeficiente k que depende del período..... | 131 |
| Tabla 65. Verificación de torsión con un análisis modal | 134 |
| Tabla 66. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 Fotografía. Levantamiento estructural..... | 152 |
| Tabla 67. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 Fotografía. Levantamiento estructural..... | 152 |
| Tabla 66. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 Fotografía. Levantamiento estructural..... | 152 |
| Tabla 67. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 68. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 69. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 70. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 67. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 68. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 69. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 70. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010 | 152 |
| Tabla 72. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) Fuente. Boore y Atkinson | 152 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 72. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 73. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 74. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 75. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 76. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 77. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 72. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 73. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 74. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 75. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 76. Coeficientes de escala de distancia (Mred=4.5 y Rref=1.0km para todos los períodos excepto Rref=5.0km para pga4nl) | 152 |
| Tabla 77. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 78. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 79. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 80. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 77. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 78. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 79. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 80. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson | |
| Tabla 82. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Fuente. Boore y Atkinson..... | 152 |
| Tabla 82. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 83. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 84. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km | |
| Tabla 85. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 86. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km | |
| Tabla 82. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 83. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 84. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km | |
| Tabla 85. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 86. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson | |
| Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km | |
| Tabla 90. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km | |
| Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km | |
| Tabla 90. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km | |
| Tabla 92. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 D>30km | |
| Fuente. Kanno 2006... 152 | |
| Tabla 92. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 D>30km | |
| Tabla 93. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 D>30km | |

| | |
|--|-----|
| Tabla 94. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$ | 152 |
| Tabla 95. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$ | 152 |
| Tabla 92. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$ | 152 |
| Tabla 93. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$ | 152 |
| Tabla 94. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$ | 152 |
| Tabla 95. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$ | 152 |
| Tabla 97. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de sueloFuente. Youngs | 152 |
| Tabla 97. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo | 152 |
| Tabla 98. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo | 152 |
| Tabla 99. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | |
| Tabla 100. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo | 152 |
| Tabla 101. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo..... | 152 |
| Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | |
| Tabla 97. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo..... | 152 |
| Tabla 98. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo | 152 |
| Tabla 99. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | |
| Tabla 100. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo..... | 152 |
| Tabla 101. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo..... | 152 |
| Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |
| Tabla 103. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |
| Tabla 104. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |
| Tabla 105. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |
| Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |
| Tabla 103. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |
| Tabla 104. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |
| Tabla 105. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao | 152 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR EL RECREO DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA TUNGURAHUA”

Autor: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Tutor: Ing. Mg. Christian Medina

RESUMEN EJECUTIVO

En este proyecto se investigó acerca del período de vibración de las estructuras del sector El Recreo de la Parroquia Huachi Loreto, Tras el Estadio Bellavista, Ambato, tomando en cuenta una aceleración (S_a) tomada del estudio y comparada con la impuesta en la NEC-15.

En los últimos 460 años el Ecuador ha pasado por una larga historia de desastres a causa de la actividad sísmica por ello este proyecto realiza un estudio para conocer a fondo las propiedades sísmicas de los suelos en los cuales se encuentran cimentadas las estructuras en la zona de estudio.

Dicho proceso se efectuó mediante un estudio SPT en el sector de estudio, con ello se obtuvo la estratigrafía del lugar y el tipo de suelo que posee, todo esto para obtener la velocidad de onda de corte, además se seleccionó las fallas tectónicas que posiblemente afectarán a las estructuras cercanas al estudio. Gracias a las ecuaciones de atenuación se pudo obtener un espectro de respuesta propio del sector que abarque todas las posibilidades de respuesta sísmica que el suelo puede dar según los regímenes tectónicos seleccionados.

Con todo esto se ha logrado efectuar una comparación entre el espectro específico hallado en el sector El Recreo y el espectro estipulado por la Norma NEC2015 vigente hasta la fecha.

ABSTRACT

In this project the period of vibration of the structures of the El Recreo sector of the Huachi Loreto Parish was investigated, after the Bellavista Stadium, Ambato, taking into account an acceleration (S_a) taken from the study and compared with that imposed in the NEC- 15.

In the last 460 years, Ecuador has gone through a long history of disasters due to seismic activity. For this reason, this project carries out a study in order to gain an in-depth knowledge of the seismic properties of the soils on which the structures in the area are cemented study.

This process was carried out by means of an SPT study in the study sector, with this the stratigraphy of the place and the type of soil it possesses were obtained, all this to obtain the cutting wave velocity, in addition the tectonic faults were selected that could possibly affect to the structures near the studio. Thanks to the attenuation equations, it was possible to obtain a response spectrum specific to the sector that encompasses all the possibilities of seismic response that the ground can give according to the selected tectonic regimes.

With all this, a comparison has been made between the specific spectrum found in the El Recreo sector and the spectrum stipulated by the NEC2015 Standard in force to date.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR EL RECREO DE LA PARROQUIA HUACHI LORETO DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

1.2 ANTECEDENTES

Las aceleraciones impartidas por el suelo hacia las estructuras debido a la acción sísmica producen los efectos más dañinos en las construcciones por tal motivo es importante analizar el origen y los efectos que producen estas en zonas específicas con condiciones reales.

Según Oscar Araos Guzmán “El océano pacífico se emplaza sobre un conjunto de placas tectónicas en constante movimiento relativo, cuyas fricciones acumulan gran cantidad de energía, que al ser liberada bruscamente provocan más del 90% de las catástrofes naturales provocadas por sismos, tsunamis y erupciones volcánicas de todo el planeta”. [1]

Mientras que Francisco Vidal Sánchez manifiesta que “Los terremotos se presentan de forma instantánea y sacuden a la vez una gran área provocando serios daños; esto hace que sea uno de los fenómenos naturales más destructores y temidos. Sus consecuencias sobre las personas y su actividad pueden ser directas e indirectas. Directamente provocando muertos, heridos, destrucción de viviendas, de instalaciones públicas e industriales, etc. y de forma indirecta provocando deslizamientos, fuegos, inundaciones, tsunamis, epidemias, y la ruina económica de una región”. [2]

Según Proyecto del Distrito Metropolitano de Quito: “El tema de efectos locales del suelo en estructuras por efecto de un terremoto es NECesario “popularizar” entre todos los profesionales que ejercen la Ingeniería Civil, para tomar conciencia de la importancia de estudios de microzonificación, que permitan adoptar un valor determinado de valor sísmico de diseño.” [3]

Por tal motivo la Norma Ecuatoriana de la Construcción expone que: “El estudio de riesgo sísmico y su impacto constituye un reto crucial para el siglo veinte y uno”. [4]

Ecuador tiene alta incidencia en el ámbito sísmico ya que se encuentra frente a una zona de subducción, la actividad sísmica se reparte a lo largo de las fallas, en general en las fronteras de las mismas. Las placas colisionan liberando energía acumulada, en general a manera de ondas sísmica, debido a una reorganización brusca de la corteza, luego del temblor principal, las placas tienden a reordenar los bloques produciendo réplicas, estos temblores provocan daños en las estructuras, es por lo cual se recomienda tener un amplio conocimiento acerca de la velocidad con la cual las ondas sísmicas son transmitidas dependiendo el suelo en el que se vaya a cimentar las estructuras.

América del Sur está sometido a la subducción entre la placa de Nazca debajo de la placa oceánica de Sudamérica Continental, esto ha producido la fosa Perú-Chile y un arco de volcanes activos

Un mejor entendimiento del comportamiento dinámico de los suelos permitirá una concientización en el área de Ingeniería Civil conociendo la amplificación que las ondas sísmicas pudieran tener en el suelo y así elaborar un cálculo y diseño estructural más seguro con un sismo de diseño más confiable.

El presente estudio se encuentra enfocado en evaluar el peligro sísmico en el sector El Recreo en la ciudad de Ambato, esto ya que la ciudad no posee información instrumental suficiente en cuanto a aceleraciones de terreno.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El Ecuador presenta registros históricos que han dejado huella a través de los años, por su vulnerabilidad en actividad sísmica, la misma que se transmite a las cimentaciones de las estructuras y a su vez a la estructura en su totalidad, registrando el colapso de varios inmuebles y la pérdida de vidas humanas. [5]

La actividad sísmica se produce de forma espontánea debido al movimiento de placas tectónicas, el choque de las mismas genera movimientos bruscos en la superficie terrestre debido a la transmisión de ondas por el suelo, este fenómeno no es constante ya que depende de varios factores tal como son el tipo de suelo, estratigrafía, la distancia desde el hipocentro, la presencia de niveles freáticos. [6] [7]

Por lo cual es muy NECesario un estudio exhaustivo de la calidad del suelo sobre el cual se encuentran situadas las estructuras de Huachi Loreto, ya que es muy NECesario contar con una normativa real que pueda permitir construcciones más seguras y estables para los pobladores de la zona. [8]

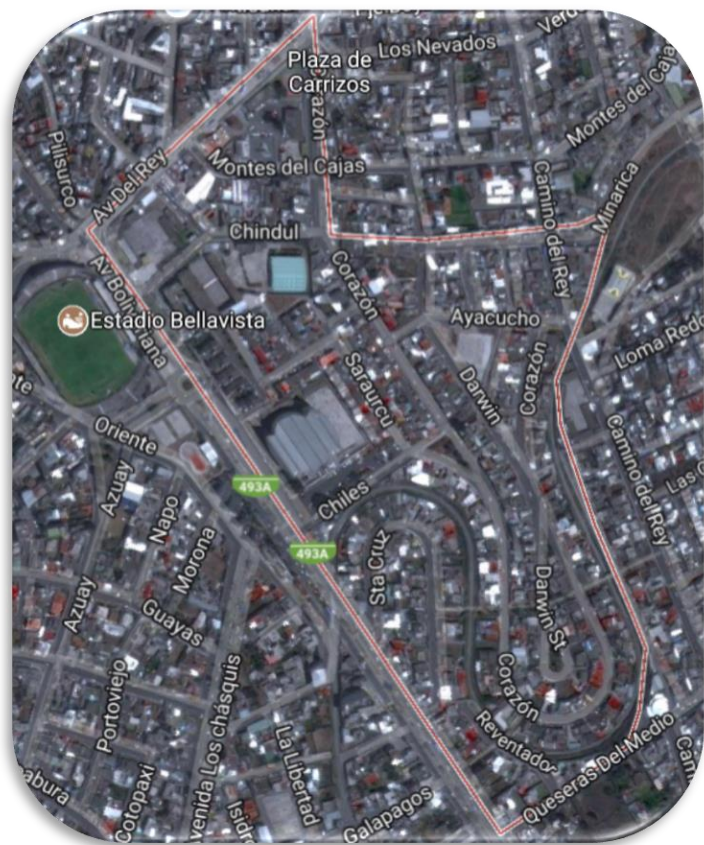
Ecuador está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, al igual que todos los países que rodean el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, debido a que en dichos lugares se localizan las zonas con mayor peligro de subducción producidas por las placas tectónicas. [8] [9]

Ambato posee datos sísmicos muy marcados a lo largo de la historia, ya que existen datos de varios terremotos de diversa intensidad en dicha ciudad, mencionando algunos como en 1687 uno de ocho grados, en 1698 de nueve, en 1797 de 10 grados posteriormente el de 1949 que se acercó a los siete; estos constantes movimientos son producto de dos sistemas de falla cercanas, la una es denominada Pallatanga y la otra en la cordillera Occidental. [10]

1.3.1 Ubicación del proyecto

Ilustración 1. Sector El Recreo

Él área de estudio se encuentra delimitada al Norte por la Av. Del rey, al Oeste por la Av. Bolivariana, al Sur por la Calle Queseras del medio y al Este por la Calle Corazón.



Fuente Imagen tomada vía satelital

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

Realizar el estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del sector El Recreo de la parroquia Huachi Loreto, de la ciudad de Ambato, Provincia Tungurahua.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades sísmicas del suelo en los puntos de estudio.
- Determinar un espectro de diseño propio para la zona de estudio.
- Comparar el espectro de diseño obtenido del análisis de peligro sísmico determinístico con lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Comparar los comportamientos estructurales de 3 edificaciones con respecto al espectro especificado por la NEC 2015 y el espectro sintético obtenido en este estudio.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Tectónica de Placas

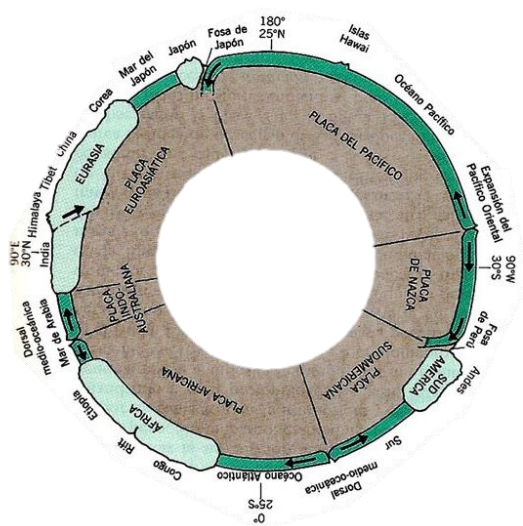
La Teoría de la tectónica de placas indica que en el pasado geológico del planeta Tierra existió un super continente en el cual se encontraban unidos todos los actuales continentes, el mismo que se lo ha denominado como Pangea.

La Tectónica de Placas por Wegener indica que las Placas de la litosfera se mueven constantemente unas con relación a otras, lo que produjo la división de los continentes dando lugar a la presente geología del planeta.

Las placas tectónicas se desplazan unas con respecto a otras en la superficie de la Tierra, su interacción entre placas en los límites de las mismas produce cambios en la superficie de la Tierra, este es el origen de las cadenas montañosas y de los sistemas de falla.

La Placa de Nazca se mueve en la Litosfera a una velocidad aproximada de 9cm cada año con respecto a la Placa Sudamericana, introduciéndose bajo de ella en un plano inclinado a(plano de Benioff) (Subducción). [11]

Ilustración 2: Editorial Vicencs Vives - Corte circular esquemático de las grandes Placas

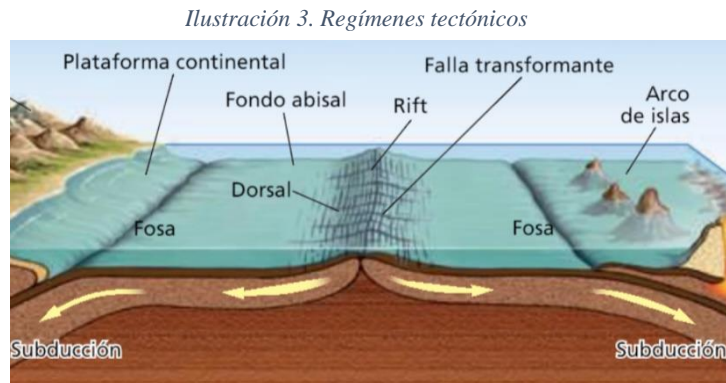


Fuente Editorial Vicencs Vives

Regímenes Tectónicos

Son los procesos originadores de las deformaciones de la corteza terrestre, en otras palabras, es el lugar donde se generan los sismos. [12]

Distensión en placas continentales.



Fuente. Geología Estructural. Francisco Bongiorno Pozo

Rifts: Fosas tectónicas alargadas donde la corteza sufre divergencia y distensiones. [12]

Distensión en placas oceánicas

Dorsales Oceánicas

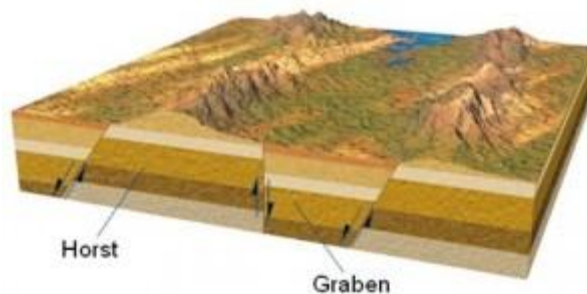
Sucede cuando en el Manto ascienden rocas fundidas rompiendo la corteza oceánica y provocando un intenso volcanismo. Este es el lugar donde se genera la corteza y se expande los fondos oceánicos. [12]

Fallas Transformantes

Son fallas perpendiculares a las dorsales, se mueven en un plano horizontal sin destruir material. [12]

Régimen Distensivo a Regional.

Ilustración 4. Régimen Distensivo A Regional



Fuente. La guía, Geografía, Pablo Guerrero

Graben

Es una depresión profunda encerrada por fallas elevadas que corren en forma paralela y se encuentran separadas por un terreno hundido, esto se debe a fuerzas intrínsecas. [12]

Horts

Altos estructurales delimitados por fallas normales. [12]

Régimen Distensivo a localizado

Representado por fallas normales [12]

Régimen compresivo a escala global

Fosa tectónica

Es una fosa larga que coincide con una depresión tectónica y un valle geomorfológico. Este tipo de estructura se encuentra en las zonas de subducción. [12]

Arcos de Islas

Son islas formadas por la tectónica de placas, debido a que a medida que una placa tectónica en el mar sufre subducción con otra placa y esto genera la elevación del magma. [12]

Régimen compresivo a escala regional

Cabalgamientos

Desplazamiento horizontal de una gran masa de tierra debido a fuerzas tectónicas del interior de la Tierra, también son formaciones evolucionadas de las fallas inversas. [12]

Napas

Viene a ser un cabalgamiento a nivel regional. [12]

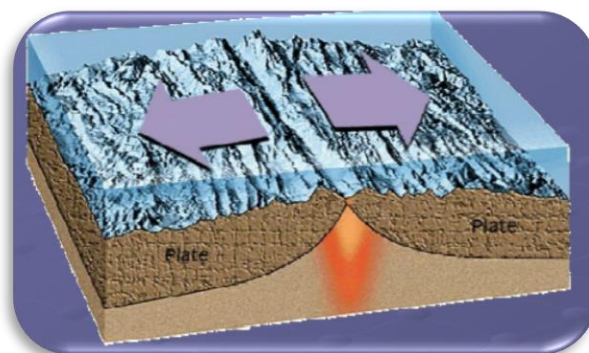
Corrimiento

Son pliegues en los cuales se producen cabalgamientos. Se producen desplazamientos que alcanzan varios kilómetros de longitud. [12]

Tipos de límites de placas

- **Divergentes o constructivos.** - Se presenta la formación de nuevas cortezas, por ejemplo, la cordillera mezo-oceánica. [13]

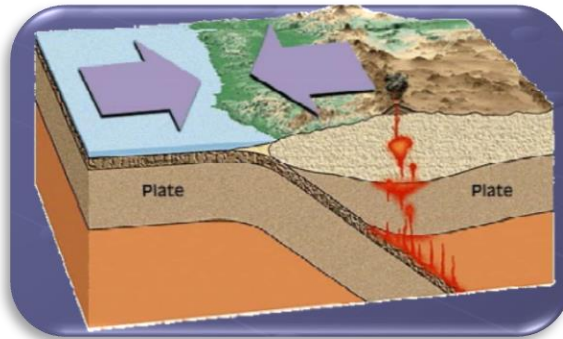
Ilustración 5 Límite entre placas, Divergente



Fuente Instituto Geofísica Unam

- **Convergentes o destructivos.** - Formación de trincheras; cordilleras de montañas plegadas, formación de montañas volcánicas, arcos de islas. Vulcanismo y actividad sísmica, es en estas zonas donde se producen los procesos de subducción en los cuales la placa más densa se introduce bajo la de menor densidad. [13]

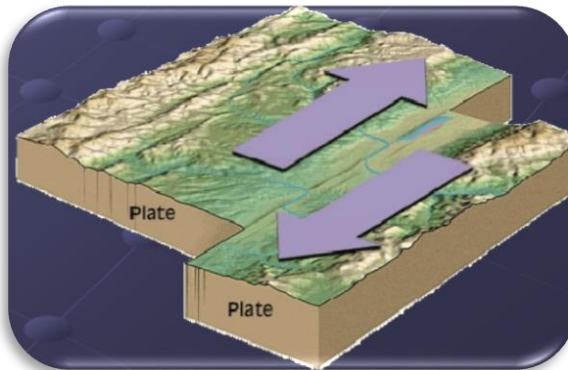
Ilustración 6. Límite entre placas, Convergente



Fuente. Instituto Geofísico Unam

- **Transformantes o conservativos.** – Fallas transformantes que se desplazan entre las fronteras de una manera longitudinal y paralela entre ellas. [13]

Ilustración 7. Límites transformantes



Fuente. Instituto Geofísico Unam

Actividad sísmica dentro de la placa. Terremotos intraplaca

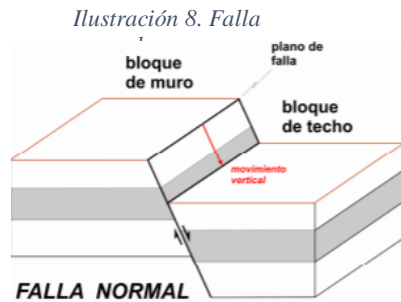
Sucedan lejos de los bordes de las placas, al menos a 500 km del borde, en zonas de debilidad cortical. Su peligrosidad puede ser más dañina que al tener hipocentros superficiales. [14]

Fallas

Es una fractura ocasionada por descentramiento en el plano de la falla. Esto da lugar a terremotos de origen tectónico. [2]

Tipos de fallas

Falla normal: Esto ocurre si el bloque de techo se desliza hacia arriba con relación al bloque fijo. El labio hundido se apoya sobre el plano de falla. Su origen se debe a fuerzas distensivas. [2]



Fuente. *Los terremotos y sus causas*. Francisco V. Sanchez

- **Falla Normal Homotética**

Los estratos y la falla tienen la misma dirección de inclinación. [15]

Ilustración 9. Falla Normal Homotética



Fuente. *Geología Estructural*. W. Griem

- **Falla Normal Antitética**

La falla y los estratos se inclinan en direcciones opuestas. [15]

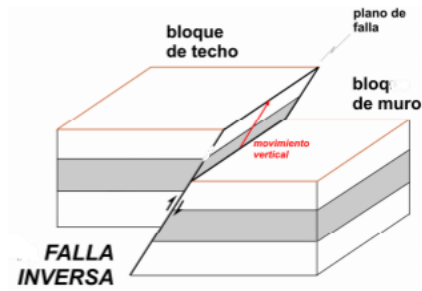
Ilustración 10. Falla Normal Antitética



Fuente. *Geología Estructural*. W. Griem

Falla inversa: Ocurre cuando el bloque de techo se desliza hacia arriba con relación al bloque de piso. El labio levantado se apoya sobre el plano de falla. Se origina a causa de fuerzas compresivas. [2]

Ilustración 11. Falla



Fuente. Los terremotos y sus causas. Francisco V. Sanchez

- **Falla Inversa Homotética**

Los estratos y la falla tienen la misma dirección de inclinación. [15]

Ilustración 12. Falla Inversa Homotética



Fuente. Geología Estructural Virtual. W. Griem

- **Falla Inversa Antitética**

La falla y los estratos se inclinan en direcciones opuestas. [15]

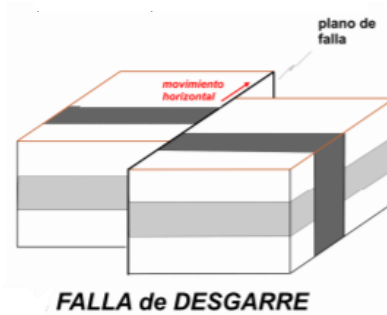
Ilustración 13. Falla Inversa Antitética



Fuente. Geología Estructural Virtual. W. Griem

Falla transcurrente, rumbo o lateral: El movimiento de los bloques se da en dirección al rumbo del plano de falla. En este caso no tiene sentido distinguir un bloque de muro y de techo. [2]

Ilustración 14. Falla



Fuente. Los terremotos y sus causas. FranciscoV. Sanchez

Ilustración 15. Fallas de rumbo



Fuente. Geología Estructural. W. Griem

2.1.2 Peligro Sísmico

Probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. [6]

Peligro Sísmico Determinista

Es el estudio de un escenario de aceleraciones máximas que se podrían suscitar en el suelo en estudio, es decir trabajar con un espectro de aceleraciones máximas, dicho evento podría o no suceder durante la vida útil de la estructura a diseñar. [16]

Su aplicación se realiza más en estructuras o grupo de estructuras en particular, estructura con larga vida útil o especiales. [16]

El conjunto de todos los agentes generadores de sismos se denomina potencial sísmico de zona.

Peligro Sísmico Probabilista

Cuantifica el peligro considerando todos los posibles sismos que puedan ocurrir en el sitio, asociados a un valor de probabilidad. Dicho análisis se lo puede encontrar en la NEC 2015 [6]

2.1.3 Conceptos relacionados con el peligro sísmico

Acelerograma

Base de datos que contiene información de aceleración registrada al momento de un sismo denotando aceleración máxima y duración de la excitación sísmica. [6]

Período de oscilación de una estructura

Un período demasiado corto indica que la estructura es demasiado rígida y no existe suficiente ductilidad para disipar la energía sísmica transmitida desde la base, en cambio en períodos largos, la vibración es mucho más lenta y la estructura tiende a ser más dúctil. [6]

Concepto de terremoto

Movimiento o vibraciones del suelo a causa de la liberación de energía proveniente de la Litosfera, que se propaga a manera de ondas sísmicas, ante esto cabe recalcar la diferencia entre una “fuente sísmica”, que es la zona en donde se libera la energía, y “sacudida sísmica” que se refiere a una serie de efectos ocasionados por la primera. [2]

Onda sísmica

Transportan la energía mecánica liberada a causa de la ruptura en la fuente sísmica y son internas y superficiales, la velocidad de la onda sísmica depende de las densidades de las diferentes capas de roca. [17]

Internas: Ondas P y ondas S.

- **Ondas P.** - Hacen que la roca se comprima y dilate a su paso en dirección de la onda, a más de ello son las primeras en llegar debido a que posee una mayor velocidad de propagación. [17]
- **Ondas S.** - Hacen vibrar lateralmente a la roca y producen esfuerzos cortantes, estas ondas no circulan en fluidos y son las segundas en llegar, pero son de mayor energía que las ondas P. [17]

Superficiales: Se transportan por las capas más superficiales de la Tierra. Son Love y Rayleigh. [17]

- **Ondas Love.** – Ondas superficiales y horizontales que causan desplazamientos laterales en el terreno durante un terremoto. Se produce según una línea horizontal perpendicular a la dirección de propagación es decir son ondas transversales y son producto de la interfase de numerosas ondas tipo S. [13]
- **Ondas Rayleigh.** – Producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo, son más lentas que las ondas internas pero su velocidad de propagación es casi 90% de la velocidad de las ondas S. [13]

Magnitud

Básicamente se la puede definir como la cantidad de energía liberada a causa de la ruptura en la fuente sísmica. [2]

Magnitud sísmica

Busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía liberada. [18]

$$M_o = \mu A d \quad (1)$$

Donde:

M_o =Magnitud sísmica

μ =Rigidez a corte del suelo N/m^2

A =Área de ruptura en m^2

d = Desplazamiento promedio en el plano de falla

Magnitud de momento

La cantidad de energía liberada por un sismo a partir del momento sísmico M_o , es una ecuación logarítmica utilizada para medir el potencial que puede tener un terremoto en una zona específica. [18]

$$M_w = \left(\frac{2}{3} \log M_o \right) - 10.73 \quad (2)$$

Esta escala de magnitud fue desarrollada por Hiroo Kanamori con el fin de estimar una magnitud de entrada de la onda sísmica en base a la rigidez del suelo, el área de ruptura, el desplazamiento del plano de falla. [18]

En este estudio DSHA la magnitud de momento se obtendrá gracias a la ecuación de Wells y Coppersmith que relaciona el área de ruptura con la magnitud de momento. [19]

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

Tabla 1. Coeficientes para calcular la magnitud de momento según Wells-Coppersmith

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

| Equation* | Slip Type† | Number of Events | Coefficients and Standard Errors | | Standard Deviation σ | Correlation Coefficient r | Magnitude Range | Length/Width Range (km) |
|------------------------------------|------------|------------------|----------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|
| | | | $a(\text{cm})$ | $b(\text{cm})$ | | | | |
| $M = a + b \cdot \log(\text{SRL})$ | SS | 43 | 5.16(0.13) | 1.12(0.08) | 0.28 | 0.91 | 5.6 to 8.1 | 1.3 to 432 |
| | R | 19 | 5.00(0.22) | 1.22(0.16) | 0.28 | 0.88 | 5.4 to 7.4 | 3.3 to 85 |
| | N | 15 | 4.86(0.34) | 1.32(0.26) | 0.34 | 0.81 | 5.2 to 7.3 | 2.5 to 41 |
| $\log(\text{SRL}) = a + b \cdot M$ | All | 77 | 5.08(0.10) | 1.16(0.07) | 0.28 | 0.89 | 5.2 to 8.1 | 1.3 to 432 |
| | SS | 43 | -3.55(0.37) | 0.74(0.05) | 0.23 | 0.91 | 5.6 to 8.1 | 1.3 to 432 |
| | R | 19 | -2.86(0.55) | 0.63(0.08) | 0.20 | 0.88 | 5.4 to 7.4 | 3.3 to 85 |
| $M = a + b \cdot \log(\text{RLD})$ | N | 15 | -2.01(0.65) | 0.50(0.10) | 0.21 | 0.81 | 5.2 to 7.3 | 2.5 to 41 |
| | All | 77 | -3.22(0.27) | 0.69(0.04) | 0.22 | 0.89 | 5.2 to 8.1 | 1.3 to 432 |
| | SS | 93 | 4.33(0.06) | 1.49(0.05) | 0.24 | 0.96 | 4.8 to 8.1 | 1.5 to 350 |
| $\log(\text{RLD}) = a + b \cdot M$ | R | 50 | 4.49(0.11) | 1.49(0.09) | 0.26 | 0.93 | 4.8 to 7.6 | 1.1 to 80 |
| | N | 24 | 4.34(0.23) | 1.54(0.18) | 0.31 | 0.88 | 5.2 to 7.3 | 3.8 to 63 |
| | All | 167 | 4.38(0.06) | 1.49(0.04) | 0.26 | 0.94 | 4.8 to 8.1 | 1.1 to 350 |
| $M = a + b \cdot \log(\text{RW})$ | SS | 93 | -2.57(0.12) | 0.62(0.02) | 0.15 | 0.96 | 4.8 to 8.1 | 1.5 to 350 |
| | R | 50 | -2.42(0.21) | 0.58(0.03) | 0.16 | 0.93 | 4.8 to 7.6 | 1.1 to 80 |
| | N | 24 | -1.86(0.37) | 0.50(0.06) | 0.17 | 0.88 | 5.2 to 7.3 | 3.8 to 63 |
| $\log(\text{RW}) = a + b \cdot M$ | All | 167 | -2.44(0.11) | 0.59(0.02) | 0.16 | 0.94 | 4.8 to 8.1 | 1.1 to 350 |
| | SS | 87 | 3.80(0.17) | 2.59(0.18) | 0.45 | 0.84 | 4.8 to 8.1 | 1.5 to 350 |
| | R | 43 | 4.37(0.16) | 1.95(0.15) | 0.32 | 0.90 | 4.8 to 7.6 | 1.1 to 80 |
| $M = a + b \cdot \log(\text{RA})$ | N | 23 | 4.04(0.29) | 2.11(0.28) | 0.31 | 0.86 | 5.2 to 7.3 | 3.8 to 63 |
| | All | 153 | 4.06(0.11) | 2.25(0.12) | 0.41 | 0.84 | 4.8 to 8.1 | 1.1 to 350 |
| | SS | 87 | -0.76(0.12) | 0.27(0.02) | 0.14 | 0.84 | 4.8 to 8.1 | 1.5 to 350 |
| $\log(\text{RA}) = a + b \cdot M$ | R | 43 | -1.61(0.20) | 0.41(0.03) | 0.15 | 0.90 | 4.8 to 7.6 | 1.1 to 80 |
| | N | 23 | -1.14(0.28) | 0.30(0.05) | 0.12 | 0.86 | 5.2 to 7.3 | 3.8 to 63 |
| | All | 153 | -1.01(0.10) | 0.32(0.02) | 0.15 | 0.84 | 4.8 to 8.1 | 1.1 to 350 |
| $M = a + b \cdot \log(\text{RA})$ | SS | 83 | 3.98(0.07) | 1.02(0.03) | 0.23 | 0.96 | 4.8 to 7.9 | 3 to 5,184 |
| | R | 43 | 4.33(0.12) | 0.90(0.05) | 0.25 | 0.94 | 4.8 to 7.6 | 2.2 to 2,400 |
| | N | 22 | 3.93(0.23) | 1.02(0.10) | 0.25 | 0.92 | 5.2 to 7.3 | 19 to 900 |
| $\log(\text{RA}) = a + b \cdot M$ | All | 148 | 4.07(0.06) | 0.98(0.03) | 0.24 | 0.95 | 4.8 to 7.9 | 2.2 to 5,184 |
| | SS | 83 | -3.42(0.18) | 0.90(0.03) | 0.22 | 0.96 | 4.8 to 7.9 | 3 to 5,184 |
| | R | 43 | -3.96(0.36) | 0.96(0.06) | 0.26 | 0.94 | 4.8 to 7.6 | 2.2 to 2,400 |
| $\log(\text{RA}) = a + b \cdot M$ | N | 22 | -2.87(0.50) | 0.80(0.08) | 0.22 | 0.92 | 5.2 to 7.3 | 19 to 900 |
| | All | 148 | -3.49(0.16) | 0.91(0.03) | 0.24 | 0.95 | 4.8 to 7.9 | 2.2 to 5,184 |

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

Fuente. Wells-Coppersmith

2.1.4 Mapa de zonificación según la NEC2015

La NEC esencialmente reconoce que la subducción de la placa de Nasca con respecto a la Sudamericana es la principal fuente de energía sísmica en el país. [6]

Este proceso de subducción genera un complejo sistema de fallas locales en el interior de las placas, los mismos que producen sismos importantes en el país. [6]

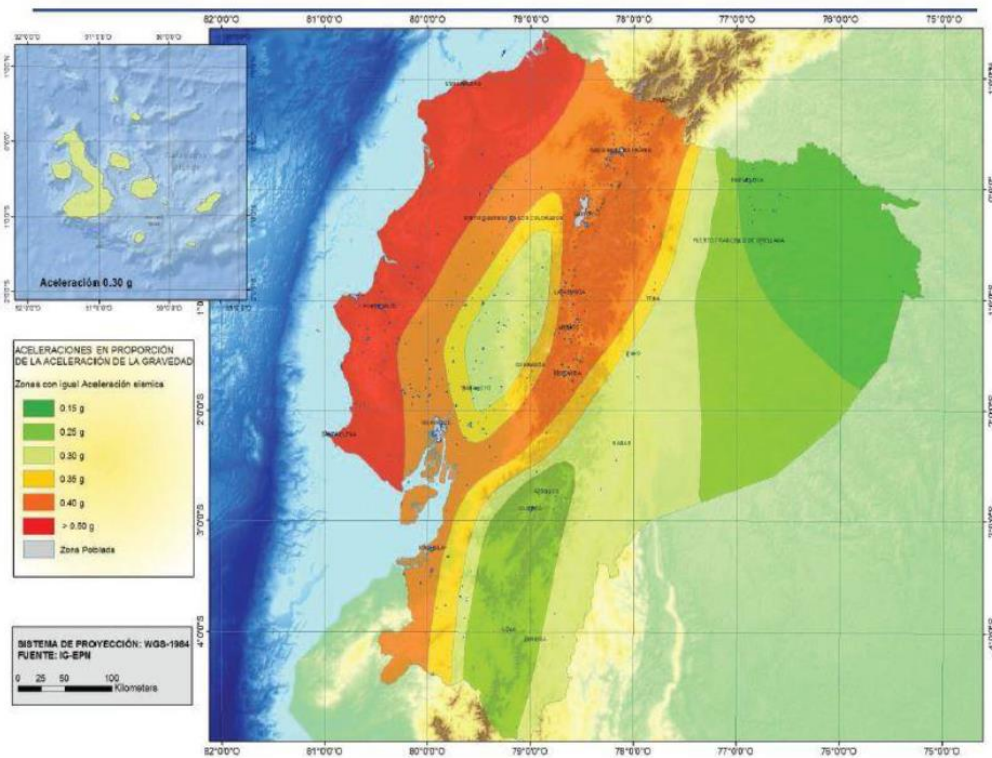
NEC usa ecuaciones de predicción para fallas intraplaca de Boree y Atkinson, 2008; Akkar y Bommer, 2010; Kano et. al., 2009; y para la subducción trabaja con las ecuaciones de predicción de Youngs et. el., 1997; Atkinson y Boree, 2003; Kanno et. al., 2006; McVerry et. al., 2006; Lin y Lee, 2008; Zhao et. al., 2006. [6]

La atenuación de la energía sísmica es una relación entre las propiedades del sismo, características de la respuesta y otros parámetros como distancia al hipocentro o epicentro del sismo, la magnitud del evento, el medio en que se propaga la onda, etc.

Las ecuaciones de atenuación estiman parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento máximos de los suelos esperados en un sitio ante un sismo de cierta magnitud y distancia conocida. [6]

Con el proceso mencionado NEC 2015 establece un mapa de zonificación sísmica como resultado de un estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (475 años como período de retorno)

Ilustración 16. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador proporcionado por NEC 2015



Fuente. Norma Ecuatoriana de la Construcción Peligro Sísmico 2015

2.1.5 GMPEs

Son ecuaciones de predicción de movimiento del suelo que también son conocidas como ecuaciones de atenuación, gracias a las mismas se pueden evaluar el peligro sísmico y una estimación de carga que una estructura puede sufrir ante una sollicitación sísmica. [20]

Con las ecuaciones de atenuación se puede obtener modelos de movimiento del suelo a partir de aceleraciones y velocidades espectrales las cuales se obtienen a partir de magnitud y distancia para una frecuencia deseada. [20]

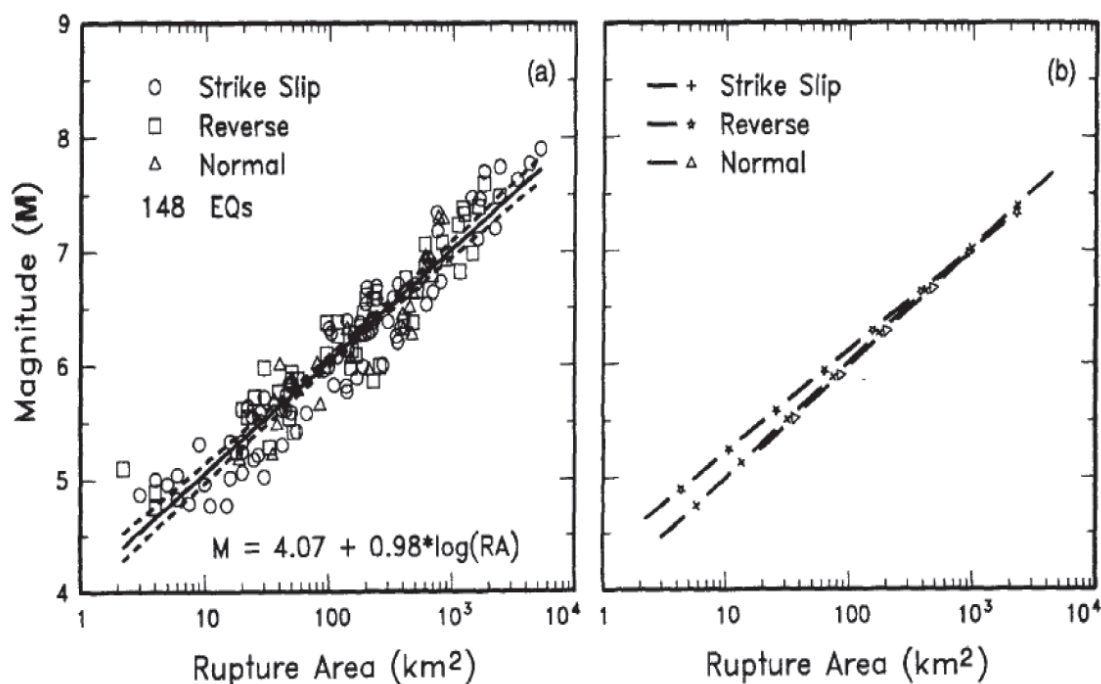
La atenuación sísmica muestra el grado que se atenúa o reduce las ondas sísmicas en su recorrido en la corteza terrestre. [21]

Las ecuaciones de predicción de movimiento fuerte con sus siglas GMPEs deben ser seleccionadas y apropiadas para el sitio en estudio, esto se lo deberá realizar a partir de los distintos modelos propuestos para los distintos regímenes tectónicos. [20]

Por lo antes mencionado se realizará una exhaustiva recopilación de información bibliográfica relacionada con la obtención de espectros sintéticos a partir de ecuaciones de predicción (ecuaciones de atenuación), y con ello se deberá estudiar las variables propias de cada una de ellas y seleccionar las que más se adapten al sitio de estudio. [20]

En 1994 Wells y Coppersmith establecieron ciertas correlaciones entre la magnitud, longitud de ruptura, ancho de ruptura y desplazamiento superficial. [21]

Ilustración 17. Ecuaciones de Wells y Coopersmith para determinar el área de ruptura



Fuente. Wells y Coopersmith 1994

El método determinista para ser factible en este estudio requiere de las siguientes consideraciones:

- Identificar las fuentes sísmicas para la zona
- Obtener las distancias más cercanas del sitio en estudio hacia la fuente sísmica
- Seleccionar las ecuaciones de atenuación que se ajusten a la zona en estudio
- Elaborar los espectros sintéticos.

Para el presente estudio se seleccionó las siguientes ecuaciones de atenuación:

➤ **SISMOS INTERPLACA**

Tipo de falla cortical se produce en la rotura interna de una placa.

❖ **Boree y Atkinson (2008)**

$$Lny = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \quad (4)$$

Donde:

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

M: Magnitud de momento

R_{JB} : Distancia desde el lugar de liberación de energía hacia el lugar de estudio.

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

❖ **Akkar y Bommer (2010)**

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M)\log\sqrt{(R^2jb+b^2_6)} + b_7S_s + b_8S_A + b_9F_N \\ & + b_{10}F_R + \varepsilon\sigma \end{aligned} \quad (5)$$

Dónde:

b: Coeficientes

F_N: Falla normal

F_R: Falla inversa

M: Magnitud de momento

R_{JB}: Distancia desde el lugar de liberación de energía hacia el lugar de estudio.

S_A: Suelo rígido

S_s: Suelo suave

❖ **Kanno et al.(2006)**

Si $D \leq 30$ Km:

$$\text{Log } pre = a_1M_w + b_1X - \log(X + d_1 * 10^{e_1M_w}) + c_1 + \varepsilon_1 \quad (6). \text{ Kanno} < 30\text{km}$$

Si $D > 30$ Km:

$$\text{Log } pre = a_2M_w + b_2X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2 \quad (7). \text{ Kanno} > 30\text{km}$$

Dónde:

D: Profundidad Focal

A, b, c, d: Coeficientes

M_w: Magnitud de momento

X: Distancia desde el lugar de liberación de energía hacia el lugar de estudio.

➤ **SISMOS DE SUBDUCCIÓN**

❖ **Youngs et al. (1997)**

$$\begin{aligned} \text{Ln } y = & -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 + M)^3 + C_3 * \text{Ln}(R + 1.097e^{0.67M}) \\ & + 0.00648H + 0.3643Zt \end{aligned} \quad (8)$$

Dónde:

y: Aceleración espectral en g

C: Coeficientes

R: Distancia desde el lugar de liberación de energía hacia el lugar de estudio.

H: Profundidad focal

M: Magnitud de momento

Zt: Tipo de falla

❖ **Zhao (2006)**

$$\log y = aMw + bx - \log(r) + e(h - hc)\delta h + FR + SI + Ss + SSL\log(x) + Ck \quad (9)$$

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

2.2 HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras del sector El Recreo de la Parroquia Huachi Loreto de la ciudad de Ambato Provincia Tungurahua?

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del sector El Recreo de la Parroquia Huachi Loreto de la ciudad de Ambato Provincia Tungurahua.

2.3.1.1 Variable Independiente

Peligro sísmico determinista.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

La metodología que se empleará para efectuar este estudio determinista se realiza mediante la recolección de información bibliográfica acerca de la obtención de espectros de respuesta a partir de ecuaciones de atenuación o predicción del movimiento del suelo (GMPE's). Para ello se verificará la factibilidad de aplicar dichas ecuaciones al lugar de estudio, analizando variables propias que poseen cada una de ellas.

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

En este proyecto de estudio de peligro sísmico determinista para el sector “El Recreo”, los tipos de investigación que se usarán son explorativo y de laboratorio.

- Investigación exploratoria porque el estudio de peligro sísmico determinista no se ha efectuado para las estructuras del sector “El Recreo”, la investigación exploratoria nos dará un panorama de partida para obtener información más detallada y continuar con el estudio.
- Investigación de laboratorio porque se utilizará el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, efectuando ensayos para conocer la distinta estratigrafía que posee el suelo del sector de estudio, esto se efectuará posterior a la recolección de muestras en sitio mediante un estudio SPT.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

El estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará para las estructuras del sector “El Recreo” pertenecientes a la parroquia “Huachi Loreto” en la ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua. Para esto se requiere conocer acerca de las propiedades geotécnicas del suelo y las GMPE's que se va a usar.

Muestra:

Este es un proyecto experimental para el cual se usará 5 perforaciones en el área de estudio.

Las ecuaciones de atenuación (GMPE's) que se usarán son:

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

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|---|--------------------|--|---|---|
| Es el estudio de un escenario de aceleraciones máximas que se podrían suscitar en el suelo en estudio, es decir trabajar con un espectro de aceleraciones máximas, dicho evento podría o no suceder durante la vida útil de la estructura a diseñar | Movimiento sísmico | <ul style="list-style-type: none"> ○ Sismo ○ PGA | <ul style="list-style-type: none"> ○ ¿Cuál es la magnitud máxima esperada? ○ ¿Qué aceleración máxima del suelo se espera? | <ul style="list-style-type: none"> ○ Experimental ○ Experimental ○ Bibliográfica |

Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

3.3.2 Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras del sector “El Recreo” pertenecientes a la parroquia “Huachi Loreto” en la ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua.

Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Técnicas e instrumentos |
|--|-----------------|---|--|--|
| Probabilidad de ocurrencia de un sismo en un lugar específico para un período de tiempo determinado. | Amenaza sísmica | <ul style="list-style-type: none"> ○ Movimiento del suelo ○ Distancia desde el lugar de liberación de energía hacia el lugar de estudio | <ul style="list-style-type: none"> ○ ¿El movimiento del suelo presenta amenaza significativa? ○ ¿La distancia al punto de liberación de energía afecta relativamente con la amenaza producida? | <ul style="list-style-type: none"> ○ Experimental ○ Bibliográfica ○ Experimental ○ Bibliográfica |

Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 4. Plan de recolección de información

| Preguntas Básicas | Explicación |
|--------------------------------|---|
| 1. ¿Para qué? | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para evaluar el peligro sísmico presente en las estructuras del sector “El Recreo” mediante la determinación de espectros de respuesta obtenidos con los GMPE’s, asociados a las fallas geológicas seleccionadas. |
| 2. ¿De qué personas u objetos? | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Régimen tectónico, fallas seleccionadas y tipo de suelo en el área de estudio. |
| 3. ¿Sobre qué aspectos? | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Influencia del peligro sísmico presente en las estructuras del sector “El Recreo” |
| 4. ¿Quién? | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alexander Marcelo Oviedo Villacís |
| 5. ¿Dónde? | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolección de muestras de suelo en el sector El Recreo y análisis de dichas muestras en los laboratorios de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato |
| 6. ¿Cómo? | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Investigación bibliográfica ▪ Ensayos de campo ▪ Ensayos de laboratorio ▪ Norma NEC-15 |

Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El procedimiento para este DSHA será:

- Identificación del régimen tectónico en base al área de estudio
- Selección de las fallas más importantes que afectan al área de estudio, basado en NeoTec/Ecuador.
- Determinación de la magnitud máxima de las fallas seleccionadas, basado en la metodología de Wells-Coppersmith.
- Identificación del tipo de perfil sísmico del suelo mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y su relación con Vs30.
- Calcular la aceleración máxima de suelo de acuerdo al régimen tectónico, basado en las Ecuaciones de predicción del movimiento de suelo (GMPE’s).
- Comparación de espectros de respuesta analizada con los que brinda la NEC-15.
- Analizar la manera en la cual afectan los espectros encontrados en 3 edificaciones tipo del lugar de estudio, dichas edificaciones serán tomadas de distintos períodos de vibración.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

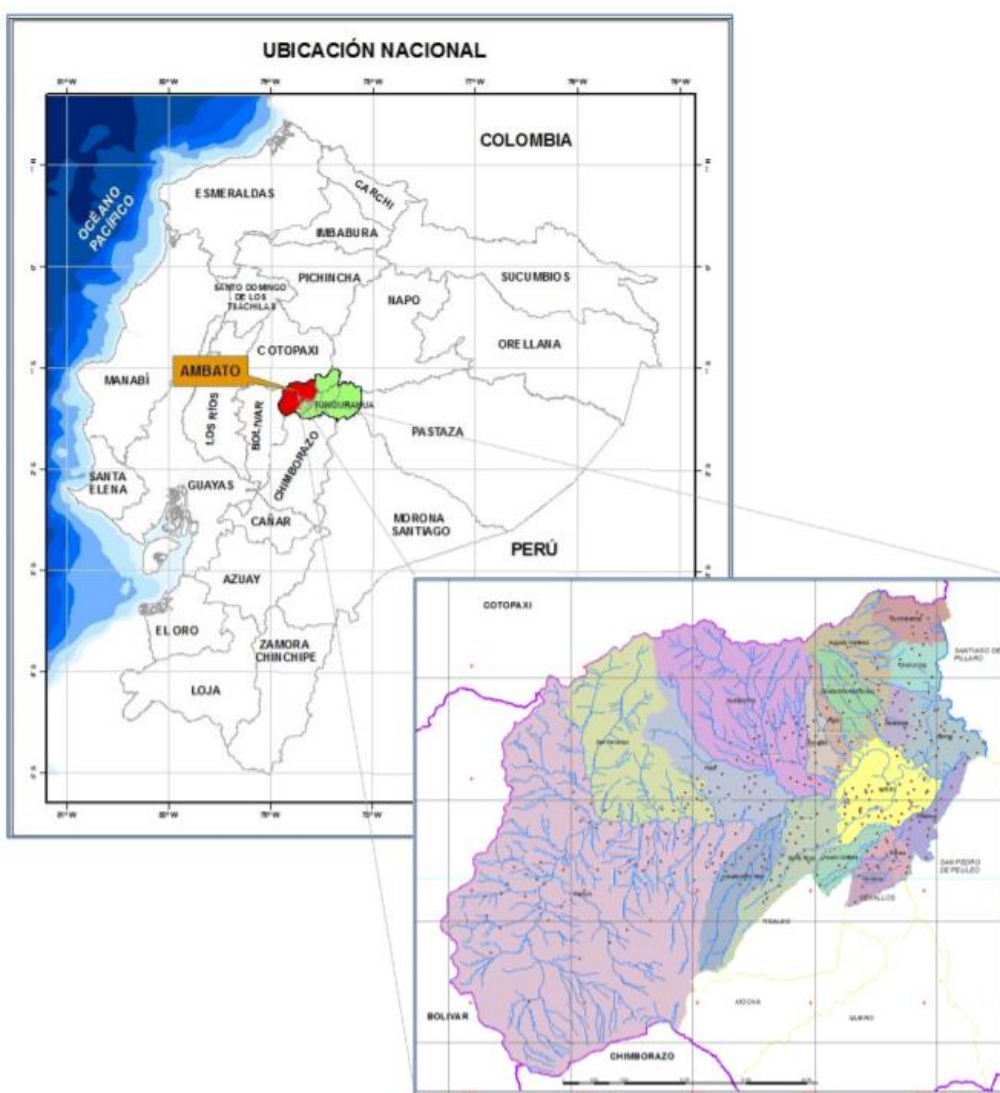
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Régimen Tectónico

El sector denominado “El Recreo” se encuentra ubicado en la parroquia de Huachi Loreto perteneciente a la ciudad de Ambato, Provincia Tungurahua a 2600 msnm, su clima es templado seco, su temperatura media es de 16°C. [22]

San Juan Bautista de Ambato, capital de Tungurahua, se situó en el centro de Ecuador. [22]

Ilustración 18. Ubicación Ambato

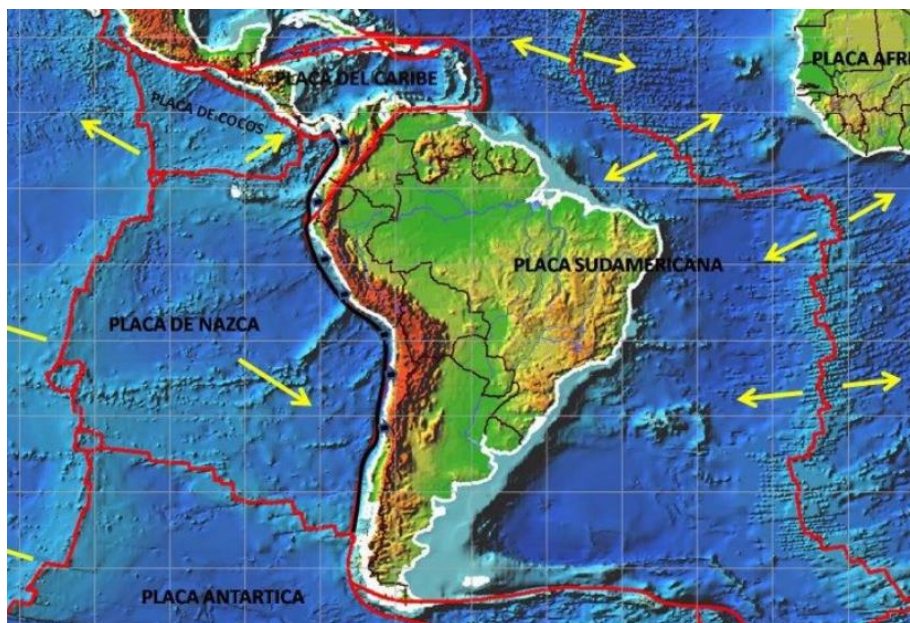


Fuente. GAD Ambato

Ambato posee zonas sujetas a amenaza sísmica, volcánica, zonas inestables, fallas geológicas activas, zonas inundables. [23]

Ecuador mismo se encuentra ubicado entre la placa de Nazca y la Sudamericana. [23]

Ilustración 19. Placas cercanas a Ecuador



Fuente. Secretaria de gestión de Riesgos

La presencia de sismos en la ciudad de Ambato puede ser de origen tectónico (fallas corticales y subducción) y de origen volcánico. [23]

En el historial sísmico de Ambato se puede encontrar sismos de los años 1687, 1698 1786 1797 y el último, el Terremoto del 5 de agosto de 1949, con una magnitud de 6.8 que provocó un alto potencial destructivo dejando alrededor de 6000 muertos y 100000 afectados. [22]

Ambato se encuentra situado en una zona de alto peligro sísmico y a pesar de los grandes avances científicos no se puede predecir cuándo vendrá un sismo, pero si se puede tomar medidas que permitan que los desastres sean menores. [22]

La ciudad de Ambato se encuentra directamente afectada por fallamiento cortical entre dichas fallas, las principales que se puede mencionar son:

- Falla Huachi (EC-344a), esta pasa por la calle Cevallos, viaducto Yahaira, 13 de abril, ciudadelas Vicentina y San Antonio.
- Falla Ambato (Ec-344b), está ubicada en Andiglata al pie de San Bartolomé y Ficoa por el colegio San Alfonso.
- Falla Totoras (Ec-345), la cual está ubicada al sur oriente de Ambato entre el sector Terremoto y Totoras.

Ecuador puede sufrir sismos de origen cortical, subducción interplaca y subducción intraplaca. [23]

La zona de subducción ecuatoriana es la fuente de los sismos más grandes registrados en el país. Entre los cuales está el gran terremoto de 1906 con una magnitud de 8.8Mw. [24]

A continuación, se muestra una compilación de sismos registrada por el instituto geofísico de la Escuela Politécnica Nacional en donde se muestran los eventos sísmicos con Mw mayor a 5.00 suscitados en Ecuador a partir del 16 de abril de 2016. [24]

Tabla 5. Eventos sísmicos Mw>5.00 sentidos en Ecuador a partir del 16 de Abril de 2016

| Mag | Hora local | Latitud | Longitud | Prof (km) | Región | Ciudad más cercana |
|-----|------------------------|---------|----------|-----------|-------------------------------|--|
| 5.8 | 2016/12/19 02:11:38 | 0.93°N | 79.84°W | 6 | Cerca de la costa Ecuatoriana | 6.62km Atacames, Esmeraldas |
| 5.1 | 2016/12/20 20:04:50 | 0.96°N | 79.82°W | 4 | Cerca de la costa Ecuatoriana | 10.31km Atacames, Esmeraldas |
| 5.1 | 2016/12/20 12:39:21 | 0.96°N | 79.85°W | 4 | Cerca de la costa Ecuatoriana | 10.24km Atacames, Esmeraldas |
| 5.2 | 2017/01/10 21:36:29 | 0.65°N | 80.09°W | 2 | Cerca de la costa Ecuatoriana | 9.10km Muisne, Esmeraldas |
| 5.3 | 2017/01/15 04:44:44 | 0.07°S | 80.88°W | 7 | Cerca de la costa Ecuatoriana | 70.37km Jama, Manabí |
| 5.2 | 2017/01/31 18:38:29 | 3.12°S | 77.10°W | 16 | Límite Perú-Ecuador | 140.42km Sucua, Morona Santiago |
| 5.7 | 2017/.1/31 09:22:39 | 0.74°N | 79.77°W | 9 | Cerca de la costa Ecuatoriana | 16.78km Atacames, Esmeraldas |
| 5.1 | 2017/03/28 06:15:36 | 3.09°S | 75.97°W | 75 | Norte de Perú | 253.42km Macas, Morona Santiago |
| 5.2 | 2017/04/21 11:58:18 | 0.79°N | 85.32°W | 20 | Fuera de la costa de Ecuador | 512.86km Pto Baquerizo Moreno, Galápagos |
| 5.3 | 2017/.4/18 13:01:15 | 4.03°S | 76.52°W | 25 | Norte de Peru | 238.43km Gualaquiza, Morona Santiago |
| 6.1 | 2017/04/18 12:49:57 | 2.76°S | 75.46°W | 23 | Límite entre Perú y Ecuador | 299.36km Macas, Morona Santiago |
| 5.3 | 2017/04/30 19:06:08 | 2.26°S. | 77.61°W | 10 | Ecuador-Morona Santiago | 56.18km Macas, Morona Santiago |
| 6.3 | 2017/06/05 06:34:10 | 4.04°S | 80.51°W | 16 | Límite entre Perú y Ecuador | 70.02km Huaquillas, El Oro |
| 6.3 | 2017/06/30 17:29:40 | 0.15°S | 80.85°W | 9 | Cerca de la costa Ecuatoriana | 65.65km Jama, Manabí |
| 5.5 | 2017/07/11 07:09:15 | 0.76°N | 79.75°W | 7 | Ecuador-Esmeraldas | 16.25km Atacames, Esmeraldas |
| 5.2 | 2017/10/07 04:26:12 | 1.83°S | 78.19°W | 159 | Ecuador-Morona Santiago | 42.77km Puyo, Pastaza |
| 6.2 | 2017/12/03 06:19:05 | 0.49°S | 80.39°W | 20 | Ecuador-Manabí | 13.20km San Vicente, Manabí |
| 5.8 | 2017/11/17 23:23:45 | 2.86°S | 79.76°W | 21 | Ecuador-Guayas | A 8.25km de Balao, Guayas |
| 6.2 | 2017/11/17 08:40:41 | 2.41°S | 80.00°W | 61 | Ecuador-Guayas | 28.47km Guayaquil, Guayas |
| 5.4 | 2018/01/08 19:05:52 | 1.67°N | 91.16°W | 24 | Galápagos | A 284.83km de Pto Ayora, Galápagos |
| 5.6 | 2017/01/31 18:13:21 | 1.73°S | 77.83°W | 4 | Ecuador-Pastaza | A 32.90km de Puyo, Pastaza |

Fuente. IG Escuela Politécnica Nacional

A continuación, se describen los sismos que más han afectado a la ciudad de Ambato según la información recopilada. [24]

Tabla 6. Historia sísmica que afecta a la ciudad de Ambato

| FECHA | LUGAR DEL EVENTO | CONSECUENCIAS | INTENSIDAD | ESCALA | RÉGIMEN |
|-------------------|--|--|-------------------|---------------|-----------------------|
| 22/11/1687 | Gran terremoto de las Provincias centrales. Destrucción de Ambato, Latacunga. | Deslizamientos de montes y Taludes. Muchas réplicas y aproximadamente 7200 muertos. | VIII | MSK | Cortical |
| 20/06/1698 | Los daños materiales se sintieron desde el Nulo de Tiopullo hasta el Nulo del Azuay. | Muertos aproximadamente: <ul style="list-style-type: none"> • Ambato más de 3000 • Latacunga aproximadamente 2000 • Patate aproximadamente 200 • Riobamba registrados 100 • Suma registrada en pueblos pequeños es 1500 | IX | MSK | Cortical |
| 10/05/1786 | Terremoto en Riobamba | Graves daños en la ciudad y pueblos vecinos. Destrucción total en muchas casas de adobe. | X | MSK | Cortical |
| 04/02/1797 | Destrucción total de la villa de Riobamba | Se destruyó totalmente la villa de Riobamba, el terremoto ocasionó daños graves en las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi y parte de Bolívar y Pichincha. | X | MSK | Cortical |
| 31/01/1906 | Frontera Ecuador-Colombia | Sismo de 8.8Mw. Daños en Esmeraldas, Rio verde, Limones, los efectos se extendieron en la Sierra Ecuatoriana. | V | MSK | Subducción interplaca |
| 05/08/1949 | Terremoto de Ambato | Alto potencial destructivo, la magnitud calculada en función de la intensidad es de 6.8 con una profundidad menor a 15km | X | MSK | Cortical |
| 16/04/2016 | Terremoto de Pedernales | Con una magnitud de 7.8Mw Ecuador presentó 671 fallecidos, 113 heridos, este es el sismo que más se ha sentido en todo el país hasta la actualidad | V | MKS | Subducción interplaca |

Fuente. IG. Escuela Politécnica Nacional

4.1.2 Selección de fallas geológicas para el estudio de Peligro Sísmico

A continuación, se presentan las fallas geológicas seleccionadas para el presente estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del sector El Recreo.

De inicio se analizará el régimen subducción que ocurre entre la placa de Nazca y la Sudamericana.

Ilustración 20. Fallas geológicas existentes en Ecuador



Fuente. Instituto Geofísico EPN

Ilustración 21. Falla Subducción EC-223

Nombre: Subducción

Régimen: subducción

Tipo: Inversa

Longitud aproximada: 1536.5 km

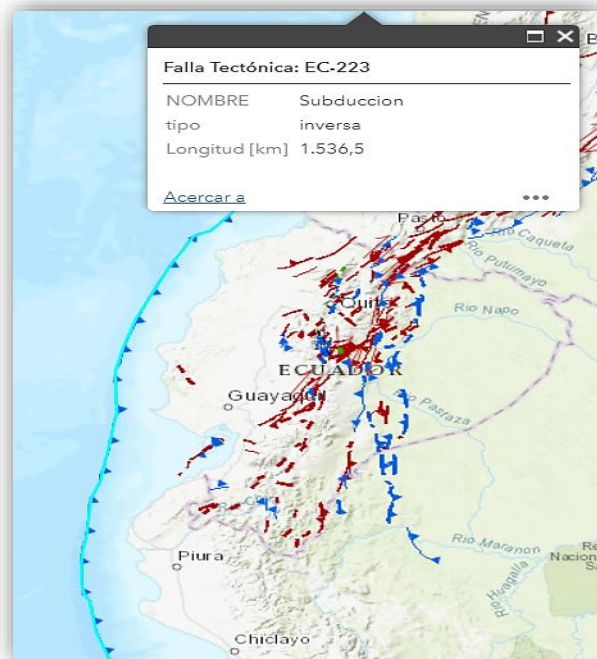
Código EC-223

Distancia Fuente – Sitio de estudio:

293.5 km

Profundidad focal considerada:

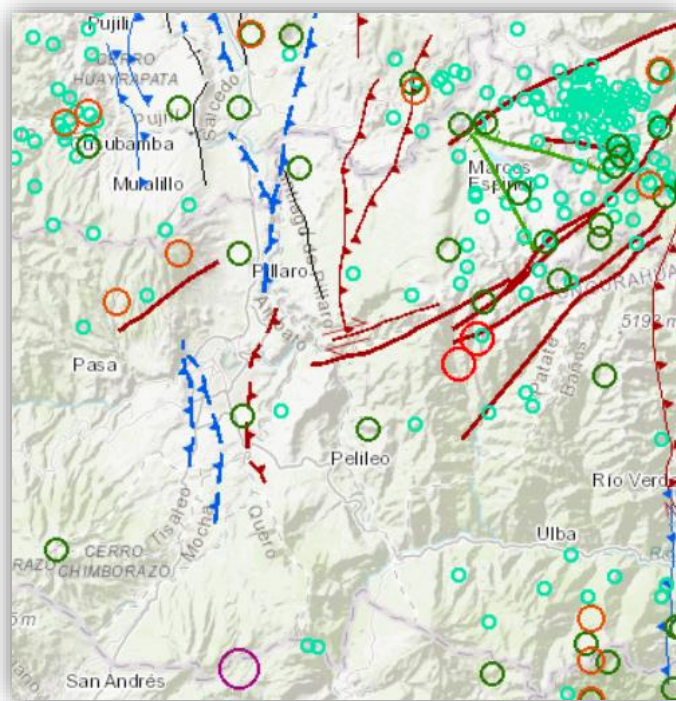
50km



Fuente. Instituto Geofísico EPN

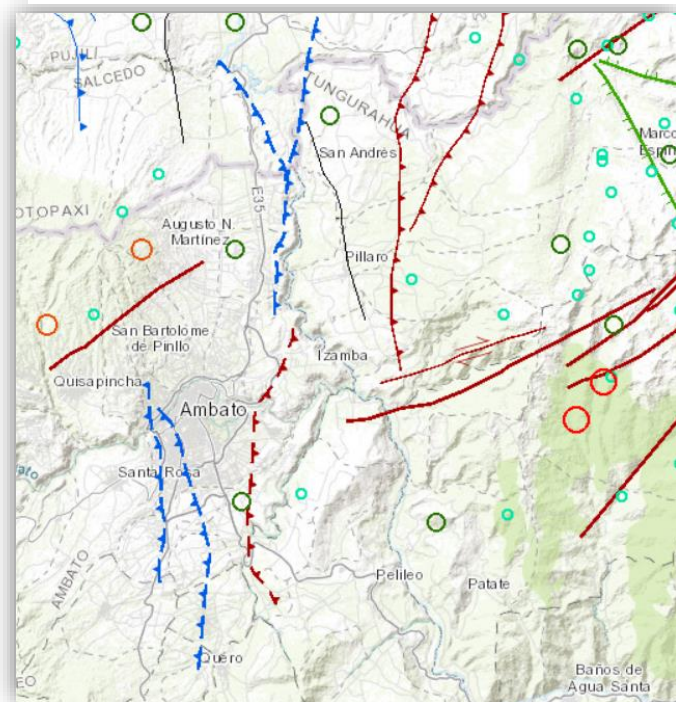
Las fallas de característica cortical que se analizarán son las que afectan principalmente la Provincia de Tungurahua y específicamente al lugar de estudio.

Ilustración 22. Fallas Geológicas de Tungurahua



Fuente. Instituto Geofísico EPN

Ilustración 23. Fallas geológicas de Ambato



Fuente. Instituto Geofísico EPN

Fallas cercanas al sitio de estudio:

Ilustración 24. Falla Huachi Ec-344a

Nombre: Huachi

Régimen: Cortical

Tipo: Inversa ciega

Longitud aproximada: 12.0 km

Código EC-344a

Distancia Fuente – Sitio de estudio:
3.03 km

Profundidad focal considerada:
20km



Fuente: Instituto Geofísico EPN

Ilustración 25. Falla Ambato EC-344b

Nombre: Ambato

Régimen: Cortical

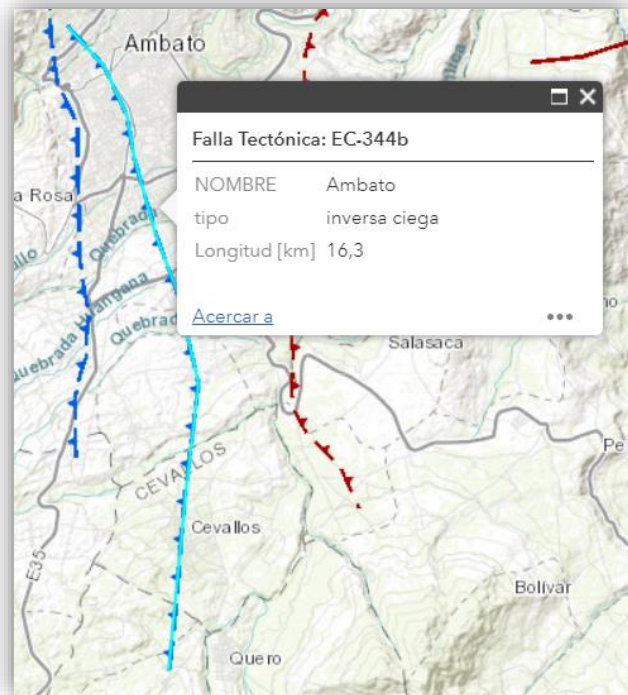
Tipo: Inversa ciega

Longitud aproximada: 16.3 km

Código EC-344b

Distancia Fuente – Sitio de estudio:
1.96 km

Profundidad focal considerada:
20km



Fuente. Instituto Geofísico EPN

Ilustración 26. Falla Totoras Ec-345

Nombre: Totoras

Régimen: Cortical

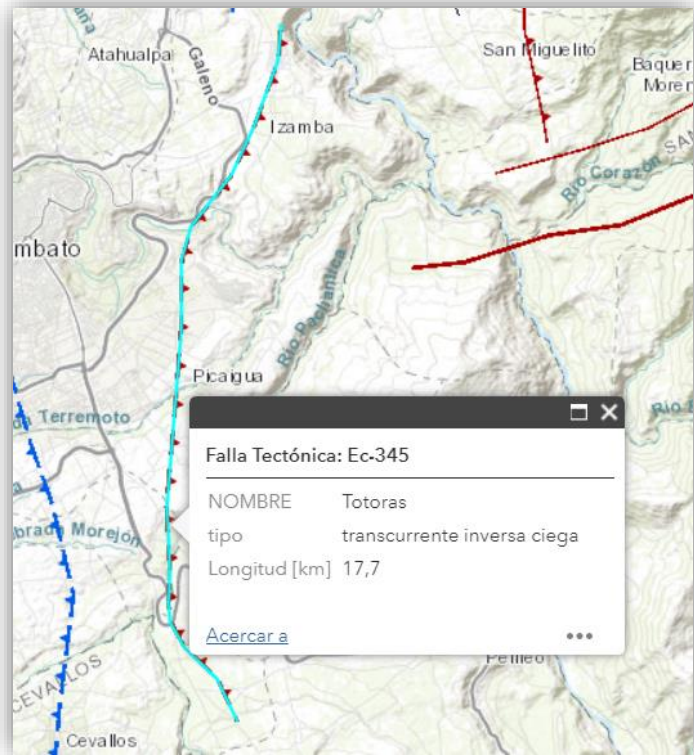
Tipo: Transcurrente Inversa ciega

Longitud aproximada: 17.7 km

Código EC-345

Distancia Fuente – Sitio de estudio: 3.17 km

Profundidad focal considerada: 20km



Fuente. Instituto Geofísico EPN

Ilustración 27. Falla Samanga Ec-54

Nombre: Samanga

Régimen: Cortical

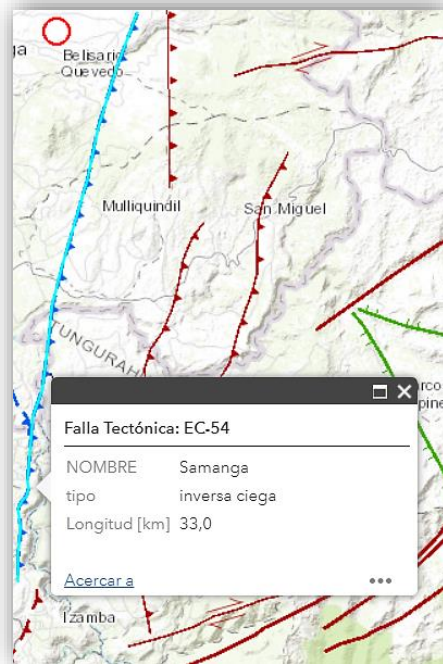
Tipo: Inversa ciega

Longitud aproximada: 33.0 km

Código EC-54

Distancia Fuente – Sitio de estudio: 6.91 km

Profundidad focal considerada: 20km



Fuente. Instituto Geofísico EPN

4.1.3 Cálculo de Magnitud

Para este estudio se procede a calcular la magnitud de momento M_w para cada régimen tectónico seleccionado con la ayuda de la ecuación de Wells y Coppersmith. [19]

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

Subducción Ec-223

$$M_w = 5.0 + 1.22 * \log(1536.5)$$

$$M_w = 8.9$$

Huachi Ec-344-a

$$M_w = 5.0 + 1.22 * \log(12.0)$$

$$M_w = 6.3$$

Ambato Ec-344-b

$$M_w = 5.0 + 1.22 * \log(16.3)$$

$$M_w = 6.5$$

Totoras Ec-345

$$M_w = 5.0 + 1.22 * \log(17.7)$$

$$M_w = 6.5$$

Samanga Ec-54

$$M_w = 5.0 + 1.22 * \log(33.0)$$

$$M_w = 6.9$$

Cuadro de resumen de las fallas que se ha seleccionado para efectuar el presente estudio de Peligro Sísmico:

Tabla 7. Fallas seleccionadas para el estudio

| CÓDIGO | NOMBRE | TIPO | LONGITUD (km) | DISTANCIA (km) | Magnitud M_w |
|----------|------------|-----------------------------|---------------|----------------|----------------|
| EC-223 | Subducción | Subducción | 1536.5 | 293.5 | 8.9 |
| EC-344-a | Huachi | Inversa Ciega | 12.0 | 3.03 | 6.3 |
| EC-344-b | Ambato | Inversa Ciega | 16.3 | 1.96 | 6.5 |
| EC-345 | Totoras | Transcurrente Inversa Ciega | 17.7 | 3.17 | 6.5 |
| EC-54 | Samanga | Inversa Ciega | 33.0 | 6.91 | 6.9 |

Fuente. NeoTec-Ecuador

4.1.4 Planificación del estudio

Para el presente estudio se ha considerado óptimo realizar cinco sondeos de penetración estándar (SPT).

4.1.4.1 Ubicación de los sondeos

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se ubicó los sondeos con el propósito de determinar la estratigrafía del lugar de estudio y la clasificación SUCS del suelo para posteriormente analizar con las ecuaciones de atenuación y obtener la velocidad de onda de corte en dicho suelo, así se obtendrán los espectros específicos.

Ilustración 28. Ubicación de los sondeos



Fuente. Google Maps y puntos de sondeo ubicados por Alexander Oviedo

4.1.4.2 Ubicación geo-referenciada de los sondeos

Tabla 8. Geo-referencia de los sondeos realizados

| Sondeos | Coordenadas | | | | |
|---------|-------------|-----|-----------|-----|--------|
| | Latitud | GPS | Longitud | GPS | ALTURA |
| 1 | 9861914.91 | S | 765049.94 | E | 2601 |
| 2 | 9861859.88 | S | 765085.17 | E | 2603 |
| 3 | 9862221.09 | S | 764745.21 | E | 2613 |
| 4 | 9862271.86 | S | 764678.41 | E | 2616 |
| 5 | 9862577.46 | S | 764781.79 | E | 2607 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.1.4.3 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Según la norma ASTM D-1589 se efectuó los ensayos de penetración estándar SPT con el siguiente procedimiento:

- Primero se arma el trípode perteneciente al equipo con el arnés, la polea, el cabo, el martinete de 64 kilos (140libras).
- Se procede a perforar el suelo con una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51mm e interior de 35mm, lo que supone una relación de áreas superior a 100), el peso de la masa está normalizado y la altura a caída libre de la misma forma siendo 64 kilos y 76 centímetros respectivamente.
- Posteriormente se hinca 30cm en intervalos de 15cm a golpes de un martinete.
- Se anota el número de golpes necesarios para hincar él toma muestras cada uno de los 15cm.
- El índice de penetración “N” se obtiene al considerar los golpes necesarios para penetrar los últimos 30cm o 12 in de un total de 45cm o 18in de la cuchara muestreadora; los primeros 15cm no se consideran ya que el suelo podría estar alterado.
- Las muestras deben ser examinadas, clasificadas por el técnico encargado del ensayo en el campo y posteriormente llevadas al laboratorio.

Las siguientes tablas muestran la compacidad y resistencia de los suelos de acuerdo con los resultados de la prueba de Penetración Estándar (SPT).

4.1.4.3.1 Ensayos de Penetración estándar

Tabla 9. Ensayo SPT Sondeo N°1

| PERFORACIÓN #1 | | | | | |
|----------------|-------------|-----|-----------|-----|--------|
| Sondeos | Coordenadas | | | | |
| | Latitud | GPS | Longitud | GPS | ALTURA |
| 1 | 9861914.91 | S | 765049.94 | E | 2601 |

| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | Descripción | Clasificación (S.U.C.S) |
|-----------------|----|----------|------------------|--|-------------------------|
| | cm | Golpes | | | |
| 0 - 1 | 15 | | | CAPA VEGETAL | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | | | LIMPIEZA | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 1 - 2 | 15 | 15 | 16,6 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 17 | | | |
| | 45 | 18 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 15 | 16,6 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 17 | | | |
| | 45 | 18 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 2 - 3 | 15 | 11 | 13 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 13 | | | |
| | 45 | 15 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 17 | 20 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 20 | | | |
| | 45 | 23 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 3 - 4 | 15 | 17 | 21,6 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 21 | | | |
| | 45 | 27 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 29 | 30 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 30 | | | |
| | 45 | 31 | | | |
| | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 10. Ensayo SPT Sondeo N°2

| PERFORACIÓN #2 | | | | | |
|----------------|-------------|-----|-----------|-----|--------|
| Sondeos | Coordenadas | | | | |
| | Latitud | GPS | Longitud | GPS | ALTURA |
| 2 | 9861859.88 | S | 765085.17 | E | 2603 |

| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | Descripción | Clasificación (S.U.C.S) |
|-----------------|----|----------|------------------|--|-------------------------|
| | cm | Golpes | | | |
| 0 - 1 | 15 | | | CAPA DE RELLENO LASTRE | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | | | CAPA DE RELLENO LASTRE | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 1 - 2 | 15 | 8 | 13,3 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 15 | | | |
| | 45 | 17 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 19 | 19 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 19 | | | |
| | 45 | 19 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 2 - 3 | 15 | 16 | 17,6 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 17 | | | |
| | 45 | 20 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 24 | 27,3 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 26 | | | |
| | 45 | 32 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 3 - 4 | 15 | 24 | 24,6 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 22 | | | |
| | 45 | 28 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 32 | 32 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 32 | | | |
| | 45 | 32 | | | |
| | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 11. Ensayo SPT Sondeo N°3

| PERFORACIÓN #3 | | | | | |
|----------------|-------------|-----|-----------|-----|--------|
| Sondeos | Coordenadas | | | | |
| | Latitud | GPS | Longitud | GPS | ALTURA |
| 3 | 9862221.09 | S | 764745.21 | E | 2613 |

| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | Descripción | Clasificación (S.U.C.S) |
|-----------------|----|----------|------------------|--|-------------------------|
| | cm | Golpes | | | |
| 0 - 1 | 15 | | | REPOSICIÓN DE SUELO VEGETAL | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | | | REPOSICIÓN DE SUELO VEGETAL | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 1 - 2 | 15 | 18 | 19,3 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 19 | | | |
| | 45 | 21 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 18 | 19,3 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 19 | | | |
| | 45 | 21 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 2 - 3 | 15 | 20 | 25,3 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 26 | | | |
| | 45 | 30 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | |
| | 15 | 20 | 25,3 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 26 | | | |
| | 45 | 30 | | | |
| | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 12. Ensayo SPT Sondeo N°4

| PERFORACIÓN #4 | | | | | |
|----------------|-------------|-----|-----------|-----|--------|
| Sondeos | Coordenadas | | | | |
| | Latitud | GPS | Longitud | GPS | ALTURA |
| 4 | 9862271.86 | S | 764678.41 | E | 2616 |

| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | Descripción | Clasificación (S.U.C.S) |
|-----------------|----|----------|------------------|--|-------------------------|
| | cm | Golpes | | | |
| 0 - 1 | 15 | | | CAPA VEGETAL | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | | | CAPA VEGETAL | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 1 - 2 | 15 | 7 | 7,7 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 7 | | | |
| | 45 | 9 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 9 | 12,3 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 13 | | | |
| | 45 | 15 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 2 - 3 | 15 | 26 | 28,7 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 28 | | | |
| | 45 | 32 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 27 | 30,0 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 30 | | | |
| | 45 | 33 | | | |
| | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 13. Ensayo SPT Sondeo N°5

| PERFORACIÓN #5 | | | | | |
|----------------|-------------|-----|-----------|-----|--------|
| Sondeos | Coordenadas | | | | |
| | Latitud | GPS | Longitud | GPS | ALTURA |
| 5 | 9862577.46 | S | 764781.79 | E | 2607 |

| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | Descripción | Clasificación (S.U.C.S) |
|-----------------|----|----------|------------------|--|-------------------------|
| | cm | Golpes | | | |
| 0 - 1 | 15 | | | RELLENO ESCOMBROS | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | | | RELLENO ESCOMBROS | |
| | 30 | | | | |
| | 45 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 1 - 2 | 15 | 26 | 28,0 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 28 | | | |
| | 45 | 30 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 34 | 36,7 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 38 | | | |
| | 45 | 38 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| 2 - 3 | 15 | 37 | 38,0 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 38 | | | |
| | 45 | 39 | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | - | | |
| | 15 | 36 | 38,0 | Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable, Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz nº 200, presenta un color café oscuro. | SM |
| | 30 | 38 | | | |
| | 45 | 40 | | | |
| | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

4.1.4.4 Clasificación de suelos según su granulometría

Tabla 14. Clasificación de los suelos según S.U.C.S.

| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO "U.S.C.S." | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|---|--|--|
| DIVISIONES PRINCIPALES | | Símbolos del grupo | NOMBRES TÍPICOS | IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO | | | |
| SUELOS DE GRANO GRUESO | GRAVAS | Gravas limpias | GW | Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos. | Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: | $Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 | |
| | | (sin o con pocos finos) | GP | Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos. | | No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. | |
| | | Gravas con finos | GM | Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo. | Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. | Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. | |
| | | (apreciable cantidad de finos) | GC | Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla. | Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$. | | |
| | ARENAS | Arenas limpias | SW | Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos. | $< 5\%$ - >GW, GP, SW, SP. $> 12\%$ - >GM, GC, SM, SC. | $Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 | |
| | | | (pocos o sin finos) | SP | | | Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos. |
| | | Arenas con finos | SM | Arenas limosas, mezclas de arena y limo. | 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo. | Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. | Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble. |
| | | | (apreciable cantidad de finos) | SC | | Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla. | |
| | Más de la mitad del material grueso pasa por el tamiz número 200 | Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) | | | | | |
| | SUELOS DE GRANO FINO | Limos y arcillas: | ML | Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plásticidad. | | | |
| CL | | | Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas. | | | | |
| OL | | | Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad. | | | | |
| Limos y arcillas: | | MH | Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos. | | | | |
| | | CH | Arcillas inorgánicas de plasticidad alta. | | | | |
| | | OH | Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos. | | | | |
| | | Límite líquido menor de 50 | | | | | |
| Límite líquido mayor de 50 | | | | | | | |
| Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200 | Límite líquido menor de 50 | | | | | | |
| Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200 | Límite líquido mayor de 50 | | | | | | |
| Suelos muy orgánicos | | PT | Turba y otros suelos de alto contenido orgánico. | | | | |

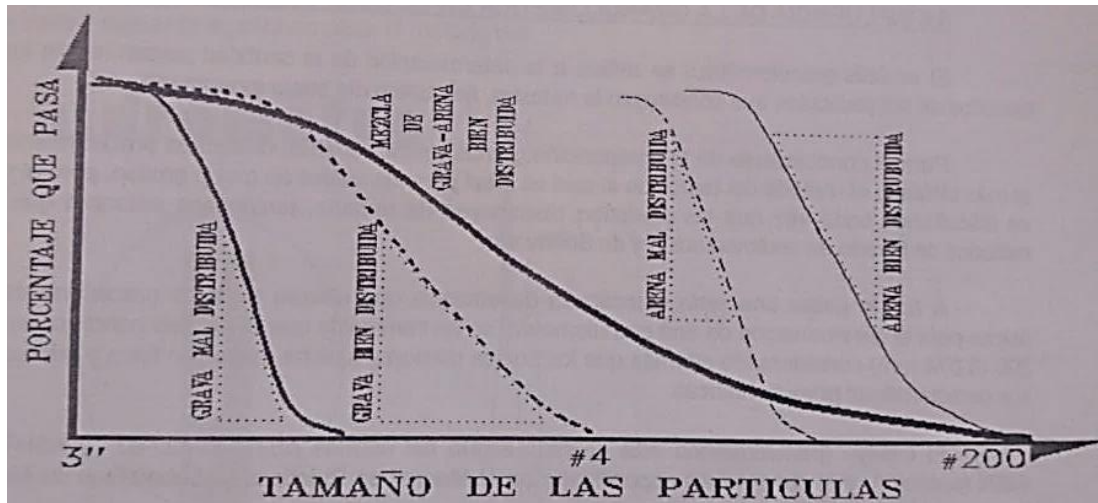
Fuente. S.U.C.S.

Tabla 15. Clasificación de los suelos según la AASHTO

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200) | | | | | | Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200) | | | | |
|---|---|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|---|------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 A-7-5 A-7-6 |
| Grupo: | A-1-a | A-1-b | | | | | | | | | |
| Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm) | 50 máx 30 máx 15 máx | - 50 máx 25 máx | - 51 mín 10 máx | | | | | | | | |
| Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Limite liquido Indice de plasticidad | - 6 máx | - NP (1) | 40 máx 10 máx | 41 mín 10 máx | 40 máx 11 mín | 41 mín 11 mín | 40 máx 10 máx | 41 mín 10 máx | 40 máx 11 mín | 41 mín (2) 11 mín | |
| Constituyentes principales | Fracmentos de roca, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena arcillosa o limosa | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | | |
| Características como subgrado | Excelente a bueno | | | | | | Pobre a malo | | | | |

Fuente. AASHTO

Ilustración 29. Curva granulométrica



Fuente. S.U.C.S.

Tabla 16. Contenido de humedad Sondeo N°1

DETERMINACIÓN CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA INEN SUELOS Ensayo para determinar el contenido de humedad (ASTM D2216)
Nomenclatura:

Wr: Peso de recipiente en gramos
Wrh: Peso de muestra húmeda + recipiente en gramos
Wrs: Peso de muestra seca + recipiente en gramos
Ww: Peso del agua en gramos
Wh: Peso de muestra húmeda en gramos
Ws: Peso de muestra seca en gramos
W%: Contenido de humedad

| Perforación 1 | | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Nivel (m) | 1 - 2 | 2 - 3 | 3 - 4 |
| Wr | 218,1 | 258,3 | 254,1 |
| Wrh | 590,7 | 694,7 | 749,1 |
| Wrs | 556,7 | 625,9 | 696,1 |
| Ww | 34 | 68,8 | 53 |
| Wh | 372,6 | 436,4 | 495 |
| Ws | 338,6 | 367,6 | 442 |
| W% | 10,04 | 18,72 | 11,99 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 17. Contenido de humedad Sondeo N°2

| Perforación 2 | | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Nivel (m) | 1 - 2 | 2 - 3 | 3 - 4 |
| Wr | 218 | 258,2 | 254,1 |
| Wrh | 655,6 | 685,6 | 608,2 |
| Wrs | 613,9 | 645,6 | 576,2 |
| Ww | 41,7 | 40 | 32 |
| Wh | 437,6 | 427,4 | 354,1 |
| Ws | 395,9 | 387,4 | 322,1 |
| W% | 10,53 | 10,33 | 9,93 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 18. Contenido de humedad Sondeo N°3

| Perforación 3 | | |
|----------------------|--------------|--------------|
| Nivel (m) | 1 - 2 | 2 - 3 |
| Wr | 218,1 | 258,3 |
| Wrh | 574,9 | 547,4 |
| Wrs | 526,7 | 505,4 |
| Ww | 48,2 | 42 |
| Wh | 356,8 | 289,1 |
| Ws | 308,6 | 247,1 |
| W% | 15,62 | 17,00 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 19. Contenido de humedad Sondeo N°4

| Perforación 4 | | |
|----------------------|--------------|--------------|
| Nivel (m) | 1 - 2 | 2 - 3 |
| Wr | 69,7 | 145,6 |
| Wrh | 430,1 | 338,7 |
| Wrs | 394,1 | 317 |
| Ww | 36 | 21,7 |
| Wh | 360,4 | 193,1 |
| Ws | 324,4 | 171,4 |
| W% | 11,10 | 12,66 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 20. Contenido de humedad Sondeo N°5

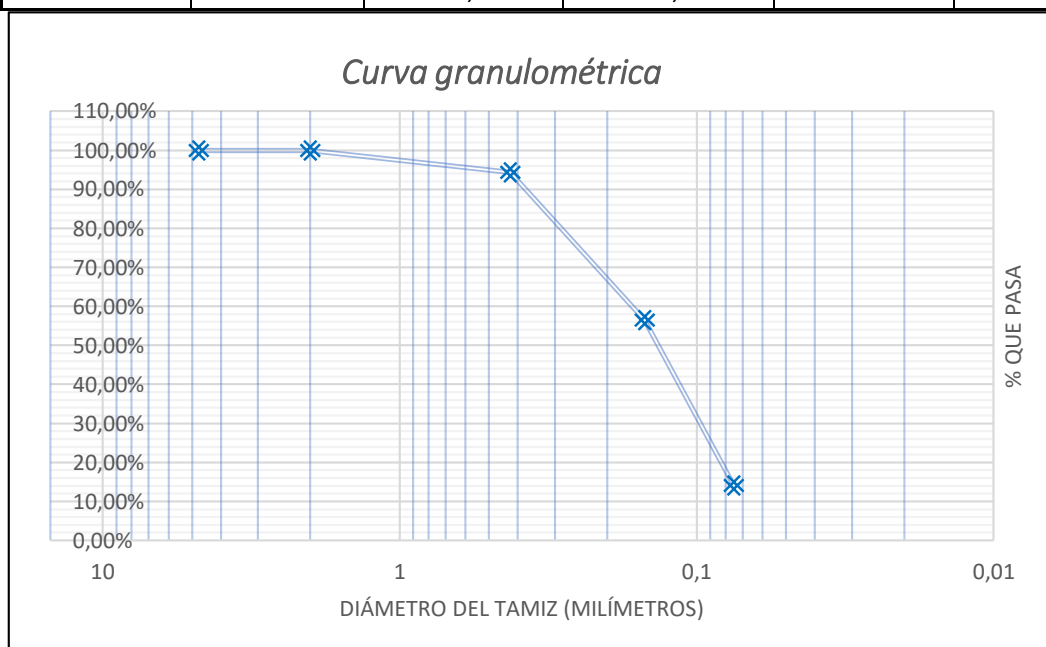
| Perforación 5 | | |
|----------------------|--------------|--------------|
| Nivel (m) | 1 - 2 | 2 - 3 |
| Wr | 217,9 | 258,3 |
| Wrh | 518 | 713,8 |
| Wrs | 497,6 | 679,6 |
| Ww | 20,4 | 34,2 |
| Wh | 300,1 | 455,5 |
| Ws | 279,7 | 421,3 |
| W% | 7,29 | 8,12 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

En este sondeo no se ha encontrado nivel freático solamente la humedad natural del suelo.

Tabla 21. Granulometría Sondeo N°1 Nivel 1 - 2 (m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 1 | | | | | |
| Nivel: | 1 - 2 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 336,90 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 0,00 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| N 40 | 0,425 | 19,30 | 5,73% | 5,73% | 94,27% |
| N 100 | 0,15 | 127,50 | 37,85% | 43,57% | 56,43% |
| N 200 | 0,075 | 142,70 | 42,36% | 85,93% | 14,07% |
| PASA N 200 | | | | | |
| | | 47,40 | 14,07% | 100,00% | |
| TOTAL | | 336,90 | 100,00 | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,05 | D₃₀(mm) | 0,11 | D₆₀(mm) | 0,18 |
| Cu: | 3,38 | Cc: | 1,26 | | |

Coefficiente uniformidad

Si Cu > 3 suelo bien graduado

Si Cu < 3 suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si 1 < Cc < 3 suelo bien graduado

Si Cc < 1 o Cc > 3 suelo uniforme o mal graduado

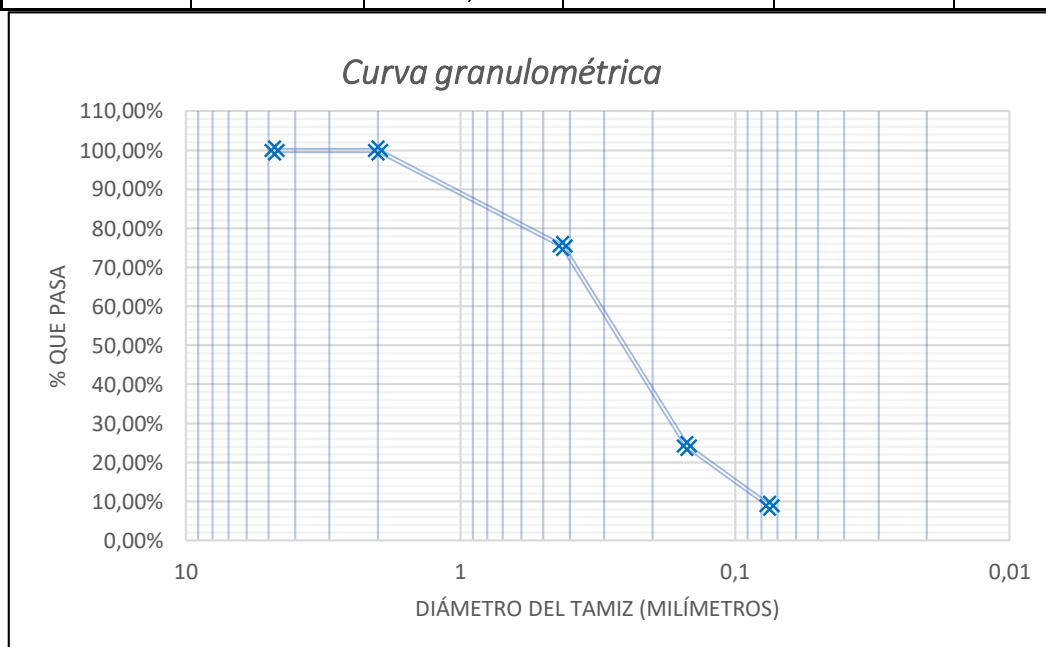
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 22. Granulometría Sondeo N°1 Nivel 2 - 3 (m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 1 | | | | | |
| Nivel: | 2 - 3 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 366,70 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 0,00 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| N 40 | 0,425 | 89,80 | 24,49% | 24,49% | 75,51% |
| N 100 | 0,15 | 188,10 | 51,30% | 75,78% | 24,22% |
| N 200 | 0,075 | 56,10 | 15,30% | 91,08% | 8,92% |
| PASA N 200 | | | | | |
| | | 32,70 | 8,92% | 100,00% | |
| TOTAL | | 366,70 | 100 | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,09 | D₃₀(mm) | 0,19 | D₆₀(mm) | 0,33 |
| Cu: | 3.67 | Cc: | 1,22 | | |

Coefficiente uniformidad

Si Cu>3 suelo bien graduado

Si Cu<3 suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si 1<Cc<3 suelo bien graduado

Si Cc<1 o Cc>3 suelo uniforme o mal graduado

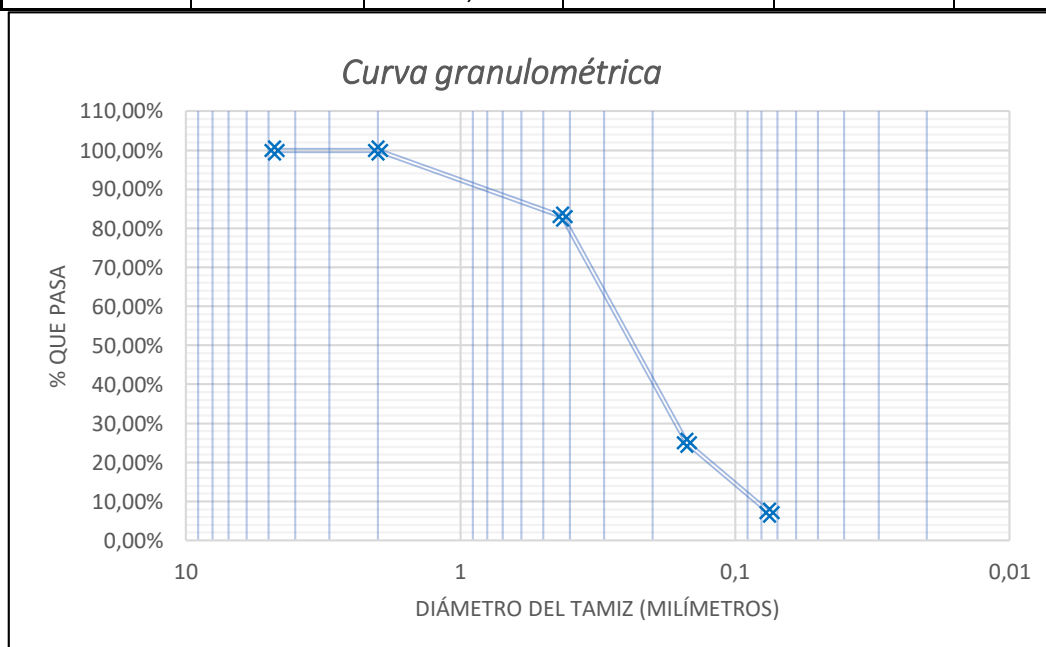
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 23. Granulometría Sondeo N°1 Nivel 3 - 4 (m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 1 | | | | | |
| Nivel: | 3 - 4 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 441,20 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 0,00 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| N 40 | 0,425 | 75,30 | 17,07% | 17,07% | 82,93% |
| N 100 | 0,15 | 255,30 | 57,86% | 74,93% | 25,07% |
| N 200 | 0,075 | 79,40 | 18,00% | 92,93% | 7,07% |
| PASA N 200 | | | | | |
| | | 31,20 | 7,07% | 100,00% | |
| TOTAL | | 441,20 | 100 | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,9 | D₃₀(mm) | 0,18 | D₆₀(mm) | 0,30 |
| Cu: | 3,28 | Cc: | 1,15 | | |

Coefficiente uniformidad

Si $Cu > 3$ suelo bien graduado

Si $Cu < 3$ suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si $1 < Cc < 3$ suelo bien graduado

Si $Cc < 1$ o $Cc > 3$ suelo uniforme o mal graduado

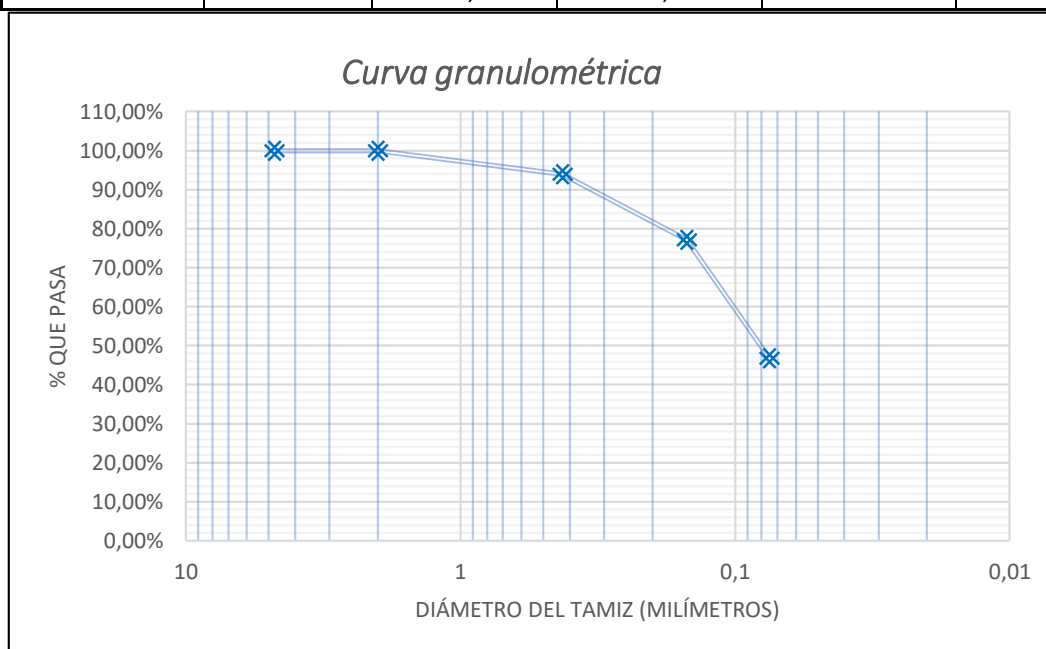
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 24. Granulometría Sondeo N°2 Nivel 1 - 2 (m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 2 | | | | | |
| Nivel: | 1 - 2 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T- 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 395,40 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 0,00 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| N 40 | 0,425 | 24,30 | 6,15% | 6,15% | 93,85% |
| N 100 | 0,15 | 66,40 | 16,79% | 22,94% | 77,06% |
| N 200 | 0,075 | 120,10 | 30,37% | 53,31% | 46,69% |
| PASA N 200 | | 184,60 | 46,69% | 100,00% | |
| TOTAL | | 395,40 | 100,00 | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,05 | D₆₀(mm) | 0,12 |
| Cu: | 7,27 | Cc: | | 1,24 | |

Coefficiente uniformidad

Coefficiente curvatura

Si Cu>3 suelo bien graduado

Si 1<Cc<3 suelo bien graduado

Si Cu<3 suelo mal graduado o muy uniforme

Si Cc<1 o Cc>3 suelo uniforme o mal graduado

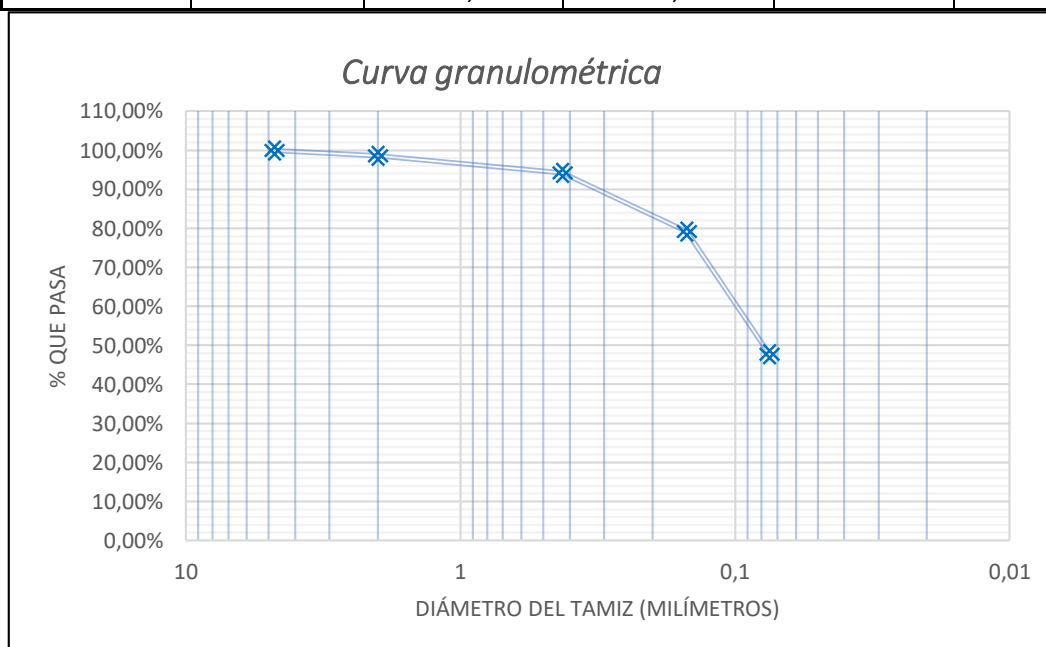
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 25. Granulometría Sondeo N°2 Nivel 2 - 3 (m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 2 | | | | | |
| Nivel: | | 2 - 3 | | | |
| Norma: | | ASTM: D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | | AASHRO: T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | | 386,70 | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0,4 | 0,10% | 0,10% | 99,90% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 5,30 | 1,37% | 1,47% | 98,53% |
| N 40 | 0,425 | 16,80 | 4,34% | 5,82% | 94,18% |
| N 100 | 0,15 | 58,00 | 15,00% | 20,82% | 79,18% |
| N 200 | 0,075 | 121,80 | 31,50% | 52,31% | 47,69% |
| PASA N 200 | | | | | |
| TOTAL | | 386,70 | 100,00 | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,05 | D₆₀(mm) | 0,11 |
| C_u: | 7,23 | C_c: | 1,25 | | |

Coefficiente uniformidad

Si $C_u > 3$ suelo bien graduado

Si $C_u < 3$ suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si $1 < C_c < 3$ suelo bien graduado

Si $C_c < 1$ o $C_c > 3$ suelo uniforme o mal graduado

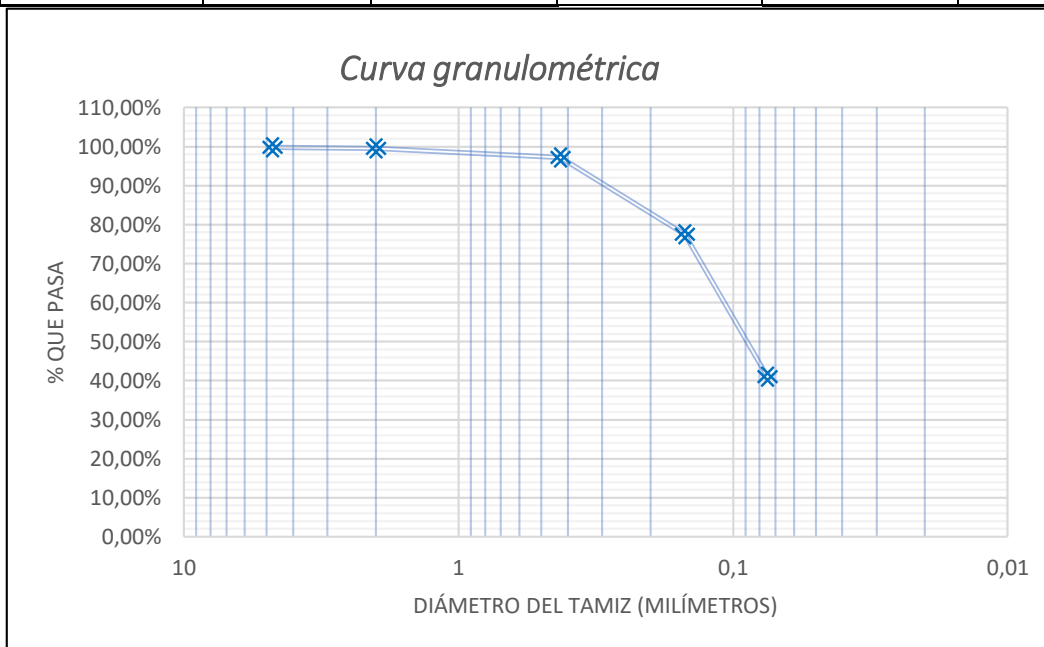
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 26. Granulometría Sondeo N°2 Nivel 3 - 4(m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 2 | | | | | |
| Nivel: | 3 - 4 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T- 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 321,90 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0,8 | 0,25% | 0,25% | 99,75% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 0,60 | 0,19% | 0,43% | 99,57% |
| N 40 | 0,425 | 7,40 | 2,30% | 2,73% | 97,27% |
| N 100 | 0,15 | 63,50 | 19,73% | 22,46% | 77,54% |
| N 200 | 0,075 | 117,80 | 36,60% | 59,06% | 40,94% |
| PASA N 200 | | 131,80 | 40,94% | 100,00% | |
| TOTAL | | 321,90 | 100,00% | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,05 | D₆₀(mm) | 0,12 |
| Cu: | 6,34 | Cc: | | 1,42 | |

Coefficiente uniformidad

Si Cu>3 suelo bien graduado

Si Cu<3 suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si 1<Cc<3 suelo bien graduado

Si Cc<1 o Cc>3 suelo uniforme o mal graduado

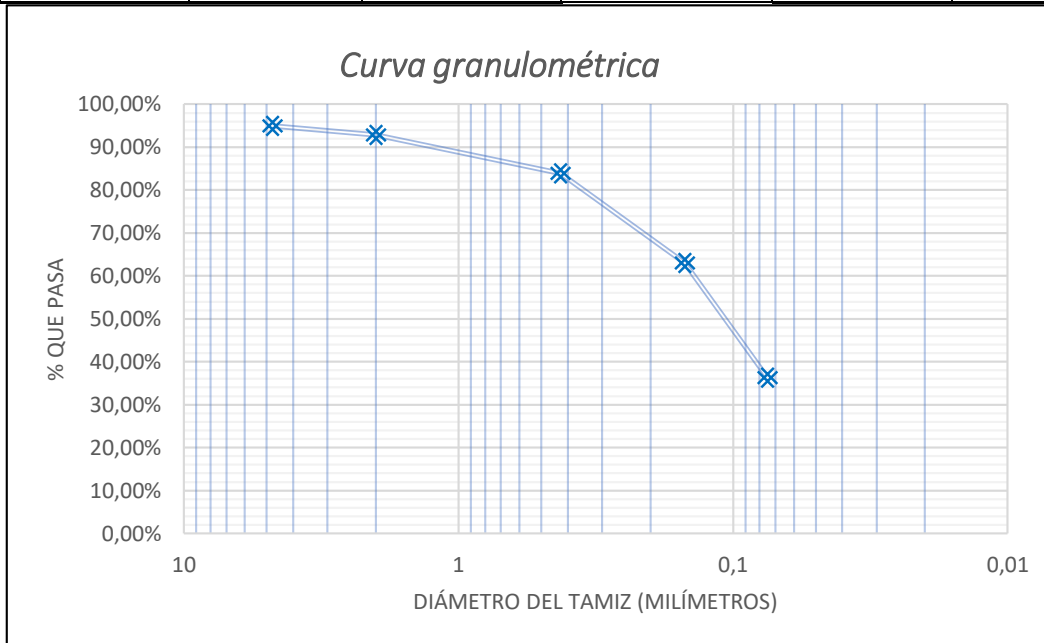
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 27. Granulometría Sondeo N°3 Nivel 1 - 2(m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 3 | | | | | |
| Nivel: | | 1 - 2 | | | |
| Norma: | | ASTM: D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | | AASHRO: T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | | 307,80 | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 15,6 | 5,07% | 5,07% | 94,93% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 6,50 | 2,11% | 7,18% | 92,82% |
| N 40 | 0,425 | 27,40 | 8,90% | 16,08% | 83,92% |
| N 100 | 0,15 | 64,20 | 20,86% | 36,94% | 63,06% |
| N 200 | 0,075 | 82,40 | 26,77% | 63,71% | 36,29% |
| PASA N 200 | | | | | |
| TOTAL | | 307,80 | 100,00% | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,06 | D₆₀(mm) | 0,14 |
| Cu: | 6,91 | Cc: | 1,30 | | |

Coefficiente uniformidad

Si Cu>3 suelo bien graduado

Si Cu<3 suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si 1<Cc<3 suelo bien graduado

Si Cc<1 o Cc>3 suelo uniforme o mal graduado

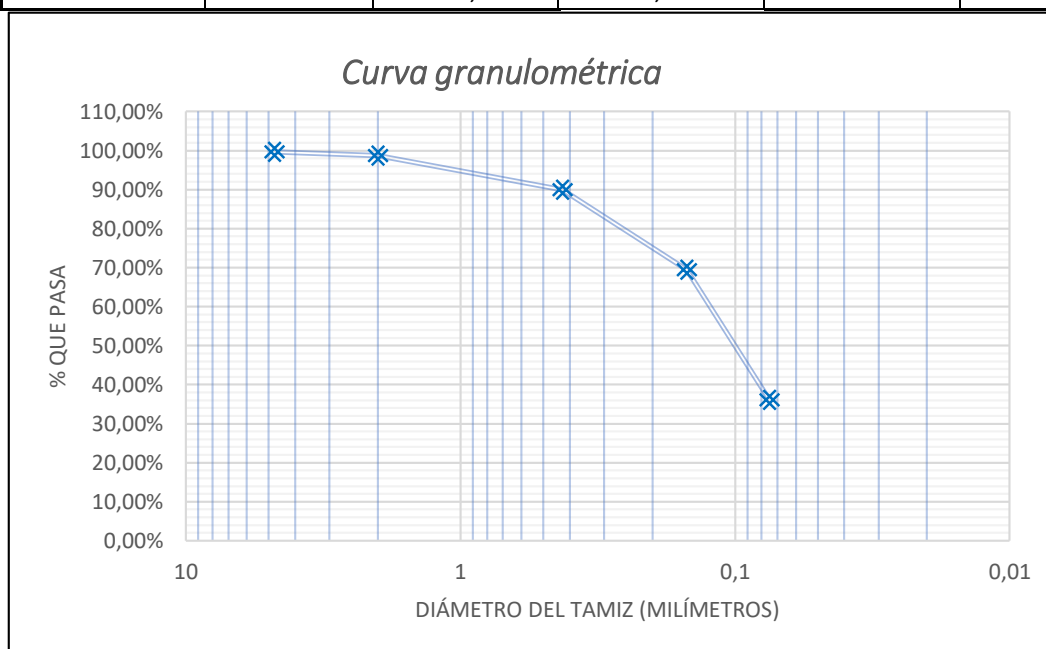
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 28. Granulometría Sondeo N°3 Nivel 2 - 3(m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 3 | | | | | |
| Nivel: | 2 - 3 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T- 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 247,00 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0,8 | 0,32% | 0,32% | 99,68% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 2,30 | 0,93% | 1,26% | 98,74% |
| N 40 | 0,425 | 21,70 | 8,79% | 10,04% | 89,96% |
| N 100 | 0,15 | 50,70 | 20,53% | 30,57% | 69,43% |
| N 200 | 0,075 | 82,20 | 33,28% | 63,85% | 36,15% |
| PASA N 200 | | 89,30 | 36,15% | 100,00% | |
| TOTAL | | 247,00 | 100,00% | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,06 | D₆₀(mm) | 0,13 |
| Cu: | 6,25 | Cc: | | 1,44 | |

Coefficiente uniformidad

Si Cu > 3 suelo bien graduado

Si Cu < 3 suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si 1 < Cc < 3 suelo bien graduado

Si Cc < 1 o Cc > 3 suelo uniforme o mal graduado

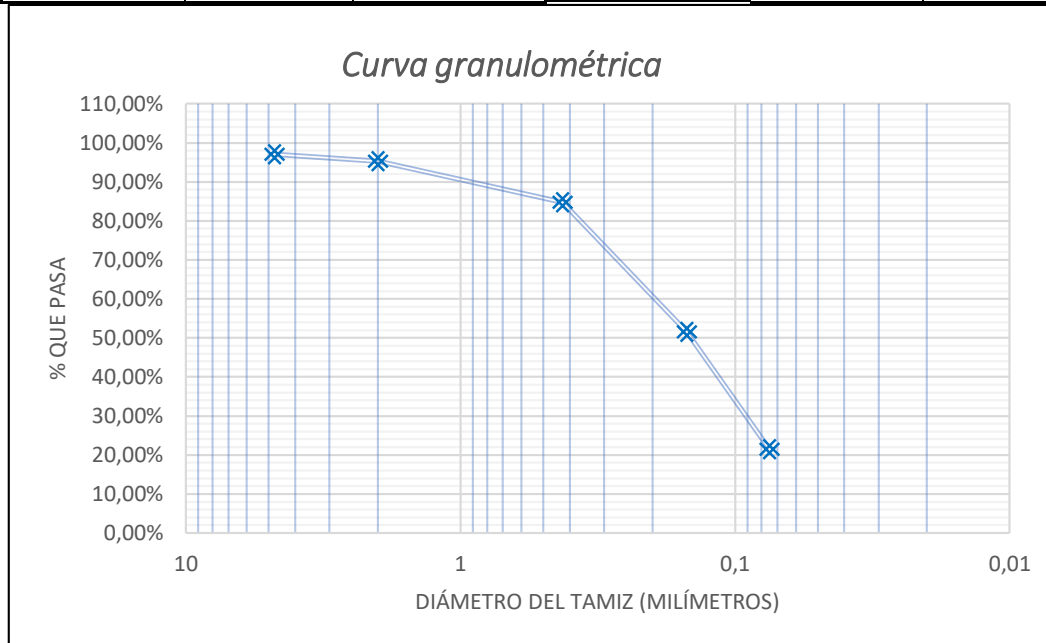
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 29. Granulometría Sondeo N°4 Nivel 1 - 2(m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 4 | | | | | |
| Nivel: | 1 - 2 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 324,40 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 9,7 | 2,99% | 2,99% | 97,01% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 5,70 | 1,76% | 4,75% | 95,25% |
| N 40 | 0,425 | 33,90 | 10,45% | 15,20% | 84,80% |
| N 100 | 0,15 | 108,00 | 33,29% | 48,49% | 51,51% |
| N 200 | 0,075 | 97,50 | 30,06% | 78,55% | 21,45% |
| PASA N 200 | | 69,60 | 21,45% | 100,00% | |
| TOTAL | | 324,40 | 100,00% | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,03 | D₃₀(mm) | 0,10 | D₆₀(mm) | 0,22 |
| Cu: | 6,30 | Cc: | 1,21 | | |

Coefficiente uniformidad

Si $Cu > 3$ suelo bien graduado

Si $Cu < 3$ suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si $1 < Cc < 3$ suelo bien graduado

Si $Cc < 1$ o $Cc > 3$ suelo uniforme o mal graduado

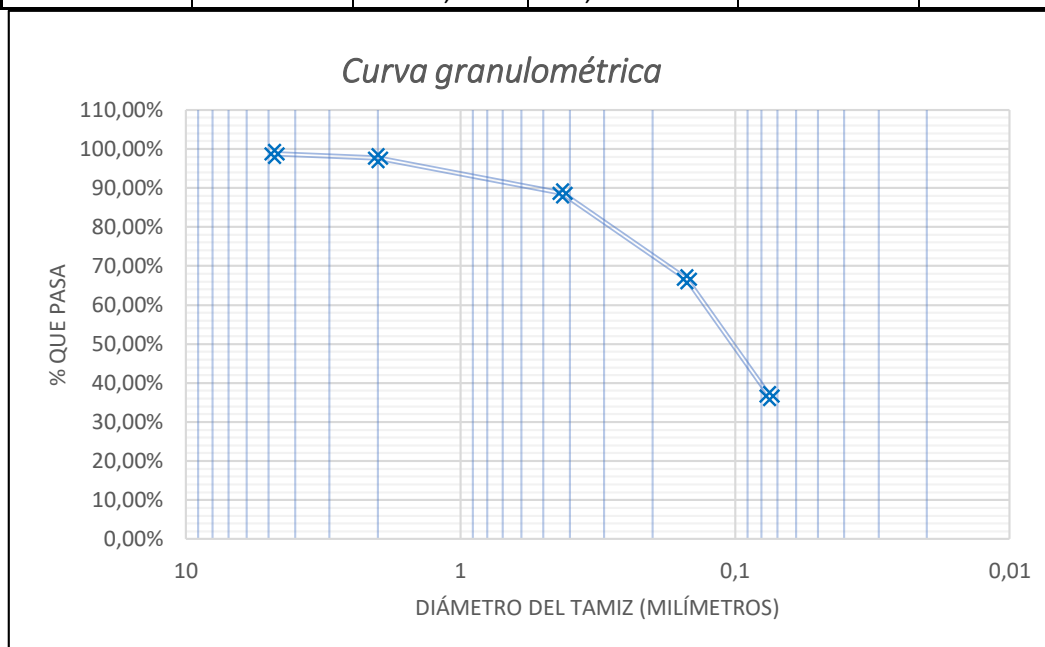
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 30. Granulometría Sondeo N°4 Nivel 2 - 3(m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|----------------------|--------------------|-------------------------|------------|
| PENETRACIÓN 4 | | | | | |
| Nivel: | | 2 - 3 | | | |
| Norma: | | ASTM: | | D 421 - 58 y D 422 - 63 | |
| | | AASHRO: | | T- 87-70 y T - 88-70 | |
| Peso de la muestra seca: | | 171,50 | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 2,1 | 1,22% | 1,22% | 98,78% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 2,00 | 1,17% | 2,39% | 97,61% |
| N 40 | 0,425 | 15,30 | 8,92% | 11,31% | 88,69% |
| N 100 | 0,15 | 37,80 | 22,04% | 33,35% | 66,65% |
| N 200 | 0,075 | 51,40 | 29,97% | 63,32% | 36,68% |
| PASA N 200 | | | | | |
| TOTAL | | 171,50 | 52,86683107 | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,06 | D₆₀(mm) | 0,14 |
| Cu: | 6,60 | Cc: | | 1,36 | |

Coefficiente uniformidad

Si $Cu > 3$ suelo bien graduado

Si $Cu < 3$ suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si $1 < Cc < 3$ suelo bien graduado

Si $Cc < 1$ o $Cc > 3$ suelo uniforme o mal graduado

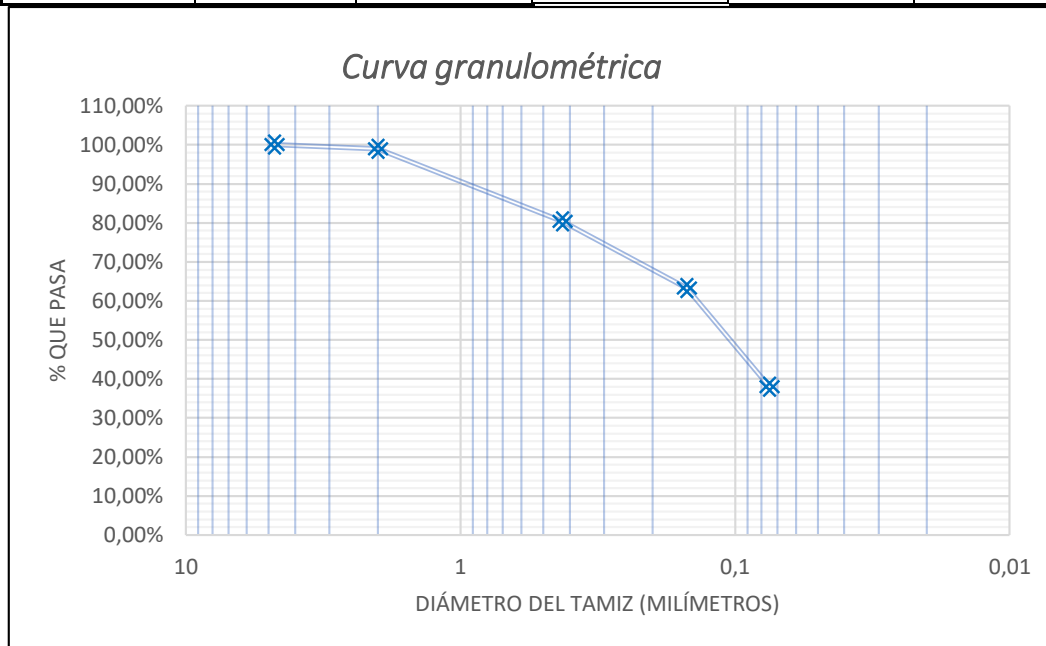
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 31. Granulometría Sondeo N°5 Nivel 1 - 2(m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 5 | | | | | |
| Nivel: | 1 - 2 | | | | |
| Norma: | ASTM: | D 421 - 58 y D 422 - 63 | | | |
| | AASHRO: | T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | 279,30 | | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100,00% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 2,80 | 1,00% | 1,00% | 99,00% |
| N 40 | 0,425 | 52,20 | 18,69% | 19,69% | 80,31% |
| N 100 | 0,15 | 47,50 | 17,01% | 36,70% | 63,30% |
| N 200 | 0,075 | 70,60 | 25,28% | 61,98% | 38,02% |
| PASA N 200 | | 106,20 | 38,02% | 100,00% | |
| TOTAL | | 279,30 | 100,00% | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,06 | D₆₀(mm) | 0,14 |
| Cu: | 7,21 | Cc: | 1,25 | | |

Coefficiente uniformidad

Si $Cu > 3$ suelo bien graduado

Si $Cu < 3$ suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si $1 < Cc < 3$ suelo bien graduado

Si $Cc < 1$ o $Cc > 3$ suelo uniforme o mal graduado

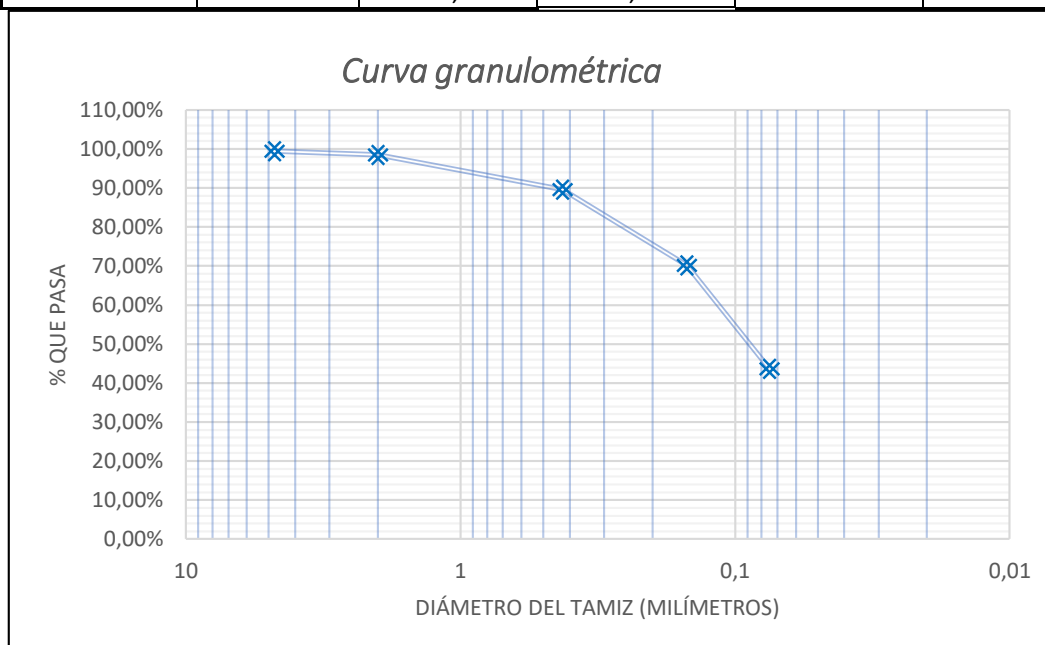
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

Tabla 32. Granulometría Sondeo N°5 Nivel 2 - 3(m)

| ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS | | | | | |
|---|-----------------|--|--------------------|---------------------|------------|
| PENETRACIÓN 5 | | | | | |
| Nivel: | | 2 - 3 | | | |
| Norma: | | ASTM: D 421 - 58 y D 422 - 63 AASHRO: T - 87-70 y T - 88-70 | | | |
| Peso de la muestra seca: | | 420,70 | | | |
| Tamiz no. | Tamaño tamiz mm | Peso Retenido gramos | % Retenido parcial | %Retenido acumulado | % Que pasa |
| N 4 | 4,76 | 2,6 | 0,62% | 0,62% | 99,38% |
| PASA N 4 | | | | | |
| N 10 | 2 | 3,80 | 0,90% | 1,52% | 98,48% |
| N 40 | 0,425 | 37,60 | 8,94% | 10,46% | 89,54% |
| N 100 | 0,15 | 81,70 | 19,42% | 29,88% | 70,12% |
| N 200 | 0,075 | 111,30 | 26,46% | 56,33% | 43,67% |
| PASA N 200 | | | | | |
| TOTAL | | 420,70 | 100,00% | | |



| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| D₁₀(mm) | 0,02 | D₃₀(mm) | 0,05 | D₆₀(mm) | 0,13 |
| Cu: | 7,47 | Cc: | 1,20 | | |

Coefficiente uniformidad

Si Cu>3 suelo bien graduado

Si Cu<3 suelo mal graduado o muy uniforme

Coefficiente curvatura

Si 1<Cc<3 suelo bien graduado

Si Cc<1 o Cc>3 suelo uniforme o mal graduado

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Según la granulometría y a referencia de la clasificación S.U.C.S. se puede determinar un suelo arenoso limoso SM.

Según la curva granulométrica se puede determinar un suelo bien graduado.

4.1.4.5 Clasificación de los suelos según NEC 2015

Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos

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

Fuente. NEC_SE_DS 2015

Nomenclatura:

N: Número de golpes efectuados al realizar el ensayo de penetración estándar (SPT) en cualquier estrato.

Vs30: Velocidad media de la onda de corte.

Según la Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos, establecida por NEC_SD_DS 2015 tenemos que en el sector de estudio los resultados nos muestran que tenemos suelo tipo D ya que Vs es mayor a 300m/s y menor a 180m/s, además el número de golpes está entre 50 y 15 como indica la NEC15 para un suelo tipo D.

Según la Tabla 14. Clasificación de los suelos según S.U.C.S., tenemos que en el sector de estudio los resultados nos muestran que tenemos suelo tipo SM, es decir arena mezclada con limo y según la curva granulométrica nos muestra un suelo bien graduado.

4.1.4.6 Velocidad de la onda de corte

El camino ascendente que poseen las ondas sísmicas desde el foco hasta la superficie tiende a propagarse casi verticalmente a través de depósitos de suelos. El recorrido de dicha onda depende de la velocidad de onda de corte (Vs), es por ello que es NECesario conocer la variación de estratos que poseen los puntos de estudio del sector “El Recreo” y en relación a esto la variación de la velocidad de onda de corte. [25]

En este estudio, para determinar la velocidad de onda de corte se usará ecuaciones empíricas tomando como punto de partida la resistencia del suelo a la penetración estándar (N). [25]

Para este proyecto es de gran importancia conocer la velocidad media de onda de corte es decir ondas superficiales 30 metros bajo la superficie, ya que ellas son las que más destrucción ocasionan a las edificaciones. [25]

Ecuaciones para calcular la velocidad de onda de corte:

Tabla 34. Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento sísmico del suelo

| <i>Autores</i> | <i>Año de publicación</i> | <i>Ecuación</i> |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------|
| Imai y Yoshimura | 1970 | $V_s=76N^{0.33}$ |
| Ohta y Toriumi | 1970 | $V_s=84N^{0.31}$ |
| Ohta y Goto | 1978 | $V_s=85.34N^{0.348}$ |
| Japan Road Asociation | 2002 | $V_s=100N^{1/3}$ |
| Ecuación de campos | 2004 | $V_s=98.808N^{0.3892}$ |
| Alfaro | 2007 | $V_s=99.783N^{0.333}$ |
| Maheswari et. al. | 2008 | $V_s=95.641N^{0.301}$ |

Fuente. XXVI Reunión Nacional de Mecánica de suelos e Ingeniería Geotécnica. Cancún

REMI estudio de Refraction Microtremors sugiere una relación entre la Vs y Nspt para los suelos de Madrid, esta ecuación fue obtenida mediante ensayos SPT (500 valores) y las Vs correspondientes a las profundidades de sondeo, así se logró conseguir una ecuación empírica: [26]

$$V_s= 62.6*N^{0.52} \quad R^2=0.53 \quad (10)$$

Tabla 35. Relaciones empíricas del método ReMi para cada grupo Litológico




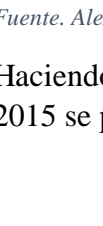
| Grupo litológico | Velocidad onda de corte | Coefficiente de determinación |
|------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Arena | $V_s=98.69N^{0.321}$ | $R^2=0.37$ |
| Toscós | $V_s=44.87N^{0.606}$ | $R^2=0.42$ |
| Peñuelas | $V_s=60.79N^{0.527}$ | $R^2=0.58$ |
| Arcillas y yesos | $V_s=159.43N^{0.344}$ | $R^2=0.68$ |

Fuente. Estudio para la ciudad de Madrid

4.1.5 Velocidad de onda de corte

Para este estudio se procederá a calcular las velocidades de onda de corte superficial para los diferentes regímenes tectónicos seleccionados.

Tabla 36. Vs Perforación 1

| Perforación 1 | | | | | | | |
|---|-----------------|----------|----------|------------------|--------|--|---------------|
| | Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | H(m) | Vs=98.69N ^{0.321} Arena Limosa | Vs prom |
| | | cm | Golpes | | | | |
|  | 0 - 1 | 15 | | - | | | 255,49 |
| | | 30 | | | | | |
| | | 45 | | | | | |
| | | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | | 16,67 | 1 | 243,49 | | |
| | 30 | | | | | | |
| | 45 | | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
|  | 1 - 2 | 15 | 15 | 16,67 | 1 | 243,49 | |
| | | 30 | 17 | | | | |
| | | 45 | 18 | | | | |
| | | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 15 | 16,50 | 1 | 242,71 | | |
| | 30 | 17 | | | | | |
| | 45 | 18 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
|  | 2 - 3 | 15 | 11 | 16,50 | 1 | 242,71 | |
| | | 30 | 13 | | | | |
| | | 45 | 15 | | | | |
| | | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 17 | 25,83 | 1 | 280,27 | | |
| | 30 | 20 | | | | | |
| | 45 | 23 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
|  | 3 - 4 | 15 | 17 | 25,83 | 1 | 280,27 | |
| | | 30 | 21 | | | | |
| | | 45 | 27 | | | | |
| | | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 29 | | | | | |
| | 30 | 30 | | | | | |
| | 45 | 31 | | | | | |
| | 50 | | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Haciendo referencia a Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos de la NEC_SE_DS 2015 se puede concluir que en el sondeo 1 se encontró suelo tipo D. [6]

$$\frac{360m}{s} > V_s > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\text{Perfil sísmico tipo D}}$$

$$\frac{360m}{s} > 255.49 > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\text{Perfil sísmico tipo D}}$$

A más de eso el número de golpes está entre 15 y 50 como indica NEC15 para suelo tipo D, siendo 16.67 el promedio más bajo de 1 a 2m de profundidad y 25.83 el promedio más alto de 3 a 4 m de profundidad.

Tabla 37. Vs Perforación 2

| Perforación 2 | | | | | | |
|-----------------|----------|----------|------------------|------|--|---------------|
| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | H(m) | Vs=98.69N ^{0.321} Arena Limosa | Vs prom |
| | cm | Golpes | | | | |
| 0 - 1 | 15 | | - | | | |
| | 30 | | | | | |
| | 45 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | | | | | |
| | 30 | | | | | |
| | 45 | | | | | |
| 1 - 2 | 50 | LIMPIEZA | 16,17 | 1 | 241,12 | 265,98 |
| | 15 | 8 | | | | |
| | 30 | 15 | | | | |
| | 45 | 17 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 19 | | | | |
| | 30 | 19 | | | | |
| 45 | 19 | | | | | |
| 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| 2 - 3 | 15 | 16 | 22,50 | 1 | 268,12 | |
| | 30 | 17 | | | | |
| | 45 | 20 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 24 | | | | |
| | 30 | 26 | | | | |
| | 45 | 32 | | | | |
| 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| 3 - 4 | 15 | 24 | 28,33 | 1 | 288,71 | |
| | 30 | 22 | | | | |
| | 45 | 28 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 32 | | | | |
| | 30 | 32 | | | | |
| | 45 | 32 | | | | |
| 50 | | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Haciendo referencia a Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos de la NEC_SE_DS 2015 se puede concluir que en el sondeo 2 se encontró suelo tipo D. [6]

$$\frac{360m}{s} > V_s > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\text{Perfil sísmico tipo D}}$$

$$\frac{360m}{s} > 265.98 > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\text{Perfil sísmico tipo D}}$$

A más de eso el número de golpes está entre 15 y 50 como indica NEC15 para suelo tipo D, siendo 16.17 el promedio más bajo de 1 a 2m de profundidad y 28.33 el promedio más alto de 3 a 4 m de profundidad.

Tabla 38. Vs Perforación 3

| Perforación 3 | | | | | | | |
|-----------------|----|----------|------------------|------|--|---------------|--|
| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | H(m) | Vs=98.69N ^{0.321} Arena Limosa | Vs prom | |
| | cm | Golpes | | | | | |
| 0 - 1 | 15 | | - | | | | |
| | 30 | | | | | | |
| | 45 | | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| | 15 | | | | | | |
| | 30 | | | | | | |
| | 45 | | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| 1 - 2 | 15 | 18 | 19,33 | 1 | 255,37 | 266,95 | |
| | 30 | 19 | | | | | |
| | 45 | 21 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| | 15 | 18 | | | | | |
| | 30 | 19 | | | | | |
| | 45 | 21 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| 2 - 3 | 15 | 20 | 25,33 | 1 | 278,52 | | |
| | 30 | 26 | | | | | |
| | 45 | 30 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| | 15 | 20 | | | | | |
| | 30 | 26 | | | | | |
| | 45 | 30 | | | | | |
| | 50 | | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Haciendo referencia a Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos de la NEC_SE_DS 2015 se puede concluir que en el sondeo 3 se encontró suelo tipo D. [6]

$$\frac{360m}{s} > V_s > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \text{Perfil sísmico tipo D}$$

$$\frac{360m}{s} > 266.95 > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \text{Perfil sísmico tipo D}$$

A más de eso el número de golpes está entre 15 y 50 como indica NEC15 para suelo tipo D, siendo 19.33 el promedio más bajo de 1 a 2m de profundidad y 25.33 el promedio más alto de 2 a 3 m de profundidad.

Tabla 39. Vs Perforación 4

| Perforación 4 | | | | | | |
|-----------------|----------|----------|------------------|------|--|---------|
| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | H(m) | Vs=98.69N ^{0.321} Arena Limosa | Vs prom |
| | cm | Golpes | | | | |
| 0 - 1 | 15 | | - | | | |
| | 30 | | | | | |
| | 45 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| 0 - 1 | 15 | | - | | | |
| | 30 | | | | | |
| | 45 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| 1 - 2 | 15 | 7 | 10,00 | 1 | 206,67 | 249,30 |
| | 30 | 7 | | | | |
| | 45 | 9 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 9 | | | | |
| | 30 | 13 | | | | |
| | 45 | 15 | | | | |
| 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| 2 - 3 | 15 | 26 | 29,33 | 1 | 291,94 | |
| | 30 | 28 | | | | |
| | 45 | 32 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 27 | | | | |
| | 30 | 30 | | | | |
| | 45 | 33 | | | | |
| 50 | | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Haciendo referencia a Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos de la NEC_SE_DS 2015 se puede concluir que en el sondeo 4 se encontró suelo tipo D. [6]

$$\frac{360m}{s} > Vs > \frac{180m}{s} \Rightarrow \text{Perfil sísmico tipo D}$$

$$\frac{360m}{s} > 249.30 > \frac{180m}{s} \Rightarrow \text{Perfil sísmico tipo D}$$

A más de eso el número de golpes está entre 15 y 50 como indica NEC15 para suelo tipo D, siendo 10.00 el promedio más bajo de 1 a 2m de profundidad y 29.33 el promedio más alto de 2 a 3 m de profundidad.

Tabla 40. Vs Perforación 5

| Perforación 5 | | | | | | |
|-----------------|----------|----------|------------------|------|--|---------|
| Profundidad (m) | N | | Promedio N (SPT) | H(m) | Vs=98.69N ^{0.321} Arena Limosa | Vs prom |
| | cm | Golpes | | | | |
| 0 - 1 | 15 | | - | | | |
| | 30 | | | | | |
| | 45 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| 0 - 1 | 15 | | - | | | |
| | 30 | | | | | |
| | 45 | | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| 1 - 2 | 15 | 26 | 32,33 | 1 | 301,21 | 309,22 |
| | 30 | 28 | | | | |
| | 45 | 30 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 34 | | | | |
| | 30 | 38 | | | | |
| | 45 | 38 | | | | |
| 50 | LIMPIEZA | | | | | |
| 2 - 3 | 15 | 37 | 38,00 | 1 | 317,24 | 309,22 |
| | 30 | 38 | | | | |
| | 45 | 39 | | | | |
| | 50 | LIMPIEZA | | | | |
| | 15 | 36 | | | | |
| | 30 | 38 | | | | |
| | 45 | 40 | | | | |
| 50 | | | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Haciendo referencia a Tabla 33. Clasificación de los Perfiles de suelos de la NEC_SE_DS 2015 se puede concluir que en el sondeo 5 se encontró suelo tipo D. [6]

$$\frac{360m}{s} > V_s > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \text{Perfil sísmico tipo D}$$

$$\frac{360m}{s} > 309.22 > \frac{180m}{s} \quad \longrightarrow \quad \text{Perfil sísmico tipo D}$$

A más de eso el número de golpes está entre 15 y 50 como indica NEC15 para suelo tipo D, siendo 32.33 el promedio más bajo de 1 a 2m de profundidad y 25.83 el promedio más alto de 38.00 2 a 3 m de profundidad.

Se pudo analizar que todo el sector de estudio posee un perfil sísmico tipo D ya que las velocidades de onda de corte superficial encontrada mediante este estudio fueron entre 180m/s y 360m/s, por lo cual la NEC 2015 lo clasifica como perfil Tipo D.

Tabla 41. Velocidades de onda de corte encontradas en el lugar de estudio

| Sondeo | Vs | Vs Promedio |
|--------|------------|-------------|
| 1 | 255.49 m/s | 269.39 m/s |
| 2 | 265.98 m/s | |
| 3 | 266.95 m/s | |
| 4 | 249.30 m/s | |
| 5 | 309.22 m/s | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.1.6 Ecuaciones de predicción de respuesta sísmica del suelo para fallamiento cortical

En este estudio se usará las siguientes ecuaciones para fallamiento cortical con una profundidad ≤ 30 km ya que eventos superficiales se considera menor a dicha profundidad.

4.1.6.1 Modelo de Boore y Atkinson (2008)

El modelo para predecir el movimiento de tierra propuesto por el estudio de Boore y Atkinson (2008) se ramifica en tres sub-ecuaciones, las cuales se encargan de escalar los resultados según la distancia desde la falla tectónica hacia el lugar de estudio, de escalar la magnitud de la falla que se desea analizar, y de ampliar los efectos según la velocidad de corte existente en el sitio de estudio. [27]

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) \quad (4)$$

Ecuación para escalar la distancia hacia el sitio de estudio. [27]

$$F_D(R_{JB}, M) = [C_1 + C_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + C_3(R - R_{ref}) \quad (11)$$

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (12)$$

Donde:

$M_{ref} = 4.5$, $R_{ref} = 1$ km. Los coeficientes C_1, C_2, C_3 , y h para este DSHA fueron tomados del estudio efectuado por Boore y Atkinson (2008), M es la magnitud determinada que puede producir la falla cortical analizada y R_{JB} es la distancia de Joyner y Boore es decir desde el sitio de estudio hacia el punto más cercano a la falla a analizar. [27]

Siguiendo con el proceso se deberá determinar la ecuación de escala de magnitud. [27]

a) $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1 U + e_2 SS + e_3 NS + e_4 RS + e_5 (M - M_h) + e_6 (M - M_h)^2 \quad (13)$$

b) $M > M_h$

$$F_M(M) = e_1 U + e_2 SS + e_3 NS + e_4 RS + e_7 (M - M_h) \quad (14)$$

Donde:

Tabla 42. Categorías para mecanismo de fallas

| Tipo de falla | U | SS | NS | RS |
|-------------------------------------|---|----|----|----|
| Transcurrente $4.3 \leq M \leq 7.9$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Inversa $5.6 \leq M \leq 7.6$ | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Normal $5.3 \leq M \leq 6.9$ | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Inespecificada | 1 | 0 | 0 | 0 |

Fuente. Boore y Atkinson

Para este estudio según el lugar de estudio y las fallas utilizadas, se tomó los siguientes coeficientes:

| Boore y Atkinson Falla Samanga | |
|--------------------------------|--------|
| Falla cortical | |
| Profundidad D | 20 |
| Mw= | 6,9 |
| X= | 6,91 |
| Vs= | 269,39 |
| u | 0 |
| ss | 0 |
| ns | 0 |
| rs | 1 |

| Boore y Atkinson Falla Totoras | |
|--------------------------------|--------|
| Falla cortical | |
| Profundidad D | 20 |
| Mw= | 6,5 |
| X= | 3,17 |
| Vs= | 269,39 |
| u | 0 |
| ss | 0 |
| ns | 0 |
| rs | 1 |

| Boore y Atkinson Falla Totoras | |
|--------------------------------|--------|
| Falla cortical | |
| Profundidad D | 20 |
| Mw= | 6,5 |
| X= | 1,96 |
| Vs= | 269,39 |
| u | 0 |
| ss | 0 |
| ns | 0 |
| rs | 1 |

| Boore y Atkinson Falla Totoras | |
|--------------------------------|--------|
| Falla cortical | |
| Profundidad D | 20 |
| Mw= | 6,3 |
| X= | 3,03 |
| Vs= | 269,39 |
| u | 0 |
| ss | 0 |
| ns | 0 |
| rs | 1 |

Los coeficientes $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7$ y M_h para este DSHA fueron tomados del estudio efectuado por Boore y Atkinson (2008). [27] Tabla 77. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson

Tabla 78. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson

Tabla 79. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson

Tabla 80. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson

Tabla 77. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson

Para calcular la ecuación de amplificación de sitio se debe conocer los factores lineales y no lineales del mismo. [27]

$$F_s = FLIN + FNL \quad (15)$$

$$FLIN = b_{lin} \ln(V_{s30}/V_{ref}) \quad (16)$$

Donde:

b_{lin} , es un coeficiente que depende del período y V_{ref} viene a ser la velocidad de corte especificada en el estudio de Boore y Atkinson $V_{ref}=760m/s$ y V_{s30} es la velocidad de onda de corte hasta 30m del sitio de estudio. [27] Tabla 82. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson

Tabla 83. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson

Tabla 84. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para $D < 30km$ Tabla 85. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson

Tabla 86. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson

Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para $D < 30km$ Tabla 82. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson

Los términos no lineales vienen dados por:

a) $P_{ga4nl} \leq a_1$

$$FNL=b_{nl}\ln(pga_low/0.1) \quad (17)$$

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

$$FNL=b_{nl}\ln(pga_low/0.1)+c[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^2+d[\ln(pga_{4nl}/a_1)]^3 \quad (18)$$

c) $a_2 < pga_{4nl}$

$$FNL=b_{nl}\ln(pga_{4nl}/0.1) \quad (19)$$

Donde:

Tabla 43. Coeficientes para ecuación de no linealidad según Boore y Atkinson

| Coeficientes | Valores |
|--------------|---------|
| a1 | 0.03g |
| pga_low | 0.06g |
| a2 | 0.09g |
| V1 | 180m/s |
| V2 | 300m/s |
| Vref | 760m/s |

Fuente. Boore y Atkinson

$$c=(3\Delta y-b_{nl}\Delta x) \Delta x^2 \quad (20)$$

$$d=-((2\Delta y-b_{nl}\Delta x)/\Delta x^3) \quad (21)$$

$$\Delta x=\ln(a_2/a_1) \quad (22)$$

$$\Delta y=b_{nl}\ln(a_2/pga_low) \quad (23)$$

b_{nl} viene dado en función de V_{s30} .

a) $V_{s30} \leq V_1$

$$b_{nl}=b_1 \quad (24)$$

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

$$b_{nl}=(b_1-b_2)\ln(V_{s30}/V_2)/\ln(V_1/V_2)+b_2 \quad (25)$$

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

$$b_{nl}=b_2\ln(V_{s30}/V_{ref})/\ln(V_2/V_{ref}) \quad (26)$$

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

$$b_{nl}=0.0 \quad (27)$$

Limitaciones

Este modelo es aplicable para Velocidades de onda de corte V_{s30} entre 180 y 1300 m/s, no deben ser aplicados para sitios que posean roca muy dura. [27]

Las magnitudes aplicables para este modelo van de 5 a 8. [27]

La distancia R_{jb} debe ser menor que 200km [27]

4.1.6.2 Modelo de Akkar y Bommer (2010) para fallamiento Cortical

Este modelo matemático usa un conjunto de datos que consta de 532 acelerogramas registrados a distancias de hasta 100km de 131 terremotos con magnitudes de M_w 5 a M_w 7.6. [28]

La forma funcional que la ecuación adopta permite predecir la aceleración pseudoespectral, PSA, del 5%, en unidades de cm/s^2 . [28]

$$\text{Log(PSA)}=b_1+b_2M+b_3M^2+(b_4+b_5M)\log\sqrt{R_{JB}^2 + b_6^2}+b_7S_S+b_8S_A+b_9F_N+b_{10}F_R+ \sigma \quad (5)$$

Donde:

PSA está dado en cm/s^2 .

R_{JB} = Distancia fuente sísmica hacia el sitio de estudio.

M = Es la magnitud determinada que puede producir la falla cortical analizada.

σ = Representa la variabilidad ya que Akkar y Bommer (2007b) después de su uso en varios proyectos se analizó valores fuera de rango, por lo que σ_1 representa valores inter-evento y σ_2 representa los intra-evento, se obtiene un valor variable mediante una desviación estándar total o la raíz cuadrada del valor sumando sus exponenciales cuadrados.

$$\sigma=\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)} \quad (28)$$

Tabla 44. S_s y S_A para usar la ecuación de Akkar y Bommer

| S_s | | | S_A | | |
|---------------------|---|---|---------------------|---|---|
| Suelo Suave | $V_s < 360 \text{ m/s}$ | 1 | Suelo Suave | $V_s < 360 \text{ m/s}$ | 0 |
| Suelo Rígido | $360 \text{ m/s} < V_s < 750 \text{ m/s}$ | 0 | Suelo Rígido | $360 \text{ m/s} < V_s < 750 \text{ m/s}$ | 1 |
| Roca | $V_s > 750 \text{ m/s}$ | 0 | Roca | $V_s > 750 \text{ m/s}$ | 0 |

Fuente. Akkar y Bommer

Tabla 45. Coeficientes F_r y F_n para la ecuación de Akkar y Bommer

| F_N | | F_R | |
|----------------------------|---|----------------------------|---|
| Falla normal | 1 | Falla normal | 0 |
| Falla inversa | 0 | Falla inversa | 1 |
| Falla Transcurrente | 0 | Falla Transcurrente | 0 |

Fuente. Akkar y Bommer

Los coeficientes usados en este estudio según la falla son los siguientes:

Falla de Samanga

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|
| Mw | 6,9 | Ss | 1 | SA | 0 | FN | 0 | FR | 1 | Rjb | 6,91 |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|

Falla de Ambato

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|
| Mw | 6,5 | Ss | 1 | SA | 0 | FN | 0 | FR | 1 | Rjb | 1,96 |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|

Falla de huachi

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|
| Mw | 6,3 | Ss | 1 | SA | 0 | FN | 0 | FR | 1 | Rjb | 3,03 |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|

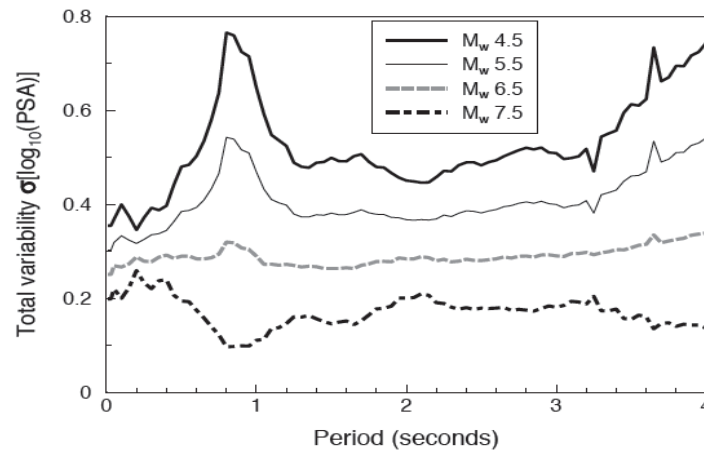
Falla de Totoras

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|
| Mw | 6,5 | Ss | 1 | SA | 0 | FN | 0 | FR | 1 | Rjb | 3,17 |
|----|-----|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|------|

Limitaciones del modelo matemático

La ecuación de predicción de movimiento de suelo según Akkar y Bommer se limita para sismos de magnitud desde Mw 4.5 a Mw 7.5. [20]

Ilustración 30. Limitaciones de Akkar y Bommer



Fuente. Akkar y Bommer

Nota: Los coeficientes b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 , b_6 , b_7 , b_8 , b_9 , b_{10} , σ_1 y σ_2 fueron tomados del estudio realizado por Akkar – Bommer (2010), los mismos que varían según el período. [28] Tabla 67. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010

Tabla 68. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010

Tabla 69. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010

Tabla 70. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010

Tabla 67. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010

4.1.6.3 Modelo Kanno (2006)

El modelo matemático para predecir el movimiento del suelo según Kanno se divide en dos ecuaciones:

Para una profundidad menor o igual a 30km:

$$\text{Log pre} = a1Mw + b1X - \log(X + d1 * 10^{0.5Mw}) + c1 \quad (29)$$

Para una profundidad mayor a 30km:

$$\text{Log pre} = a2Mw + b2X - \log(X) + c2 \quad (30)$$

Donde:

Los coeficientes a1, b1, c1, d1, a2, b2, c2, p y q fueron tomados del estudio efectuado por Kanno 2006, los mismos que varían de acuerdo al período. [20] Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km

Tabla 90. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km

Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km *Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km*

Tabla 90. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km

Tabla 87. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para D<30km

Mw=magnitud de momento esperada del régimen tectónico analizado.

Para suelos poco profundos y con el fin de dar más peso a los valores cercanos a la fuente se recomienda usar una ponderación para la distancia X. [20]

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

Para este estudio y según el tipo de falla se utilizó los siguientes coeficientes:

Falla cortical Totoras

Profundidad D 20 Mw= 6,5 X= 6 Vs= 269,39

Falla cortical Samanga

Profundidad D 20 Mw= 6,9 X= 6 Vs= 269,39

Falla cortical Ambato

Profundidad D 20 Mw= 6,5 X= 6 Vs= 269,39

Falla cortical huachi

Profundidad D 20 Mw= 6,3 X= 6 Vs= 269,39

Limitaciones del modelo matemático:

Este modelo se debe usar como eventos poco profundos cuando la profundidad de foco está entre 0km y 30km, es decir eventos superficiales y como eventos profundos cuando la profundidad de foco está entre 30km y 180km. [20]

Téngase en cuenta que la ecuación sin correcciones produce resultados de sitio para un suelo cuya velocidad media de onda de corte V_{s30} es semejante a 300m/s, para corregir los datos y manejarlos con la velocidad de corte de sitio se debe introducir los coeficientes de corrección p y q en la ecuación siguiente: [20]

$$G = p * \log V_s + q \quad (31)$$

A esta ecuación se debe sumar $\log(pre)$ y obtener P_{sa} .

4.1.7 Ecuaciones de predicción de movimiento de suelos usadas para el régimen subducción

4.1.7.1 Modelo Youngs (1997)

El modelo de Youngs para predecir el movimiento de suelo es:

$$\ln \text{PGA} = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \ln(R + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_T \quad (32)$$

$$\text{Desviación estándar} = C_4 + C_5M \quad (33)$$

Donde los coeficientes C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 son tomados del estudio realizado por Youngs (1997). Tabla 97. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo

Tabla 98. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo

Tabla 99. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao
Tabla 100. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo

Tabla 101. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo

Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao
Tabla 97. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo

M=Magnitud de momento esperada por la falla analizada.

R=Distancia de Joyner-Boore (Distancia fuente sísmica hacia el sitio de estudio).

H=Profundidad focal analizada.

Z_T para interplaca es 0 y 1 para intraplaca. [20]

Siendo los coeficiente usados en este estudio los siguientes:

Profundidad D 50 Mw= 8,9 X= 293,5 Zt 0

Limitaciones del modelo matemático para predecir el movimiento de suelos propuesto por Youngs.

La magnitud de momento analizada con esta ecuación debe ser igual o mayor a 5 y la distancia R_{JB} debe ser de 10 a 500km, También recomienda usar profundidades focales entre 10 a 229 km. [20]

Youngs compara simulaciones para suelo poco profundo (20 pies de profundidad) y suelo profundo de (120 pies a 500 pies), de esto se obtuvo la conclusión que a distancias

mayores a 50 km existe un buen acuerdo en los resultados, pero para distancias focales menores las simulaciones muestran convergencias. [20]

4.1.7.2 Modelo de Zhao para predicción del movimiento del suelo dirigido al régimen subducción (2006)

$$\log_e(y) = aMw + bx - \log_e @ + e(h-h_c) \delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log_e(x) + C_k \quad (34)$$

Donde (y) es PGA y se calcula en (cm/s²)

$$r = x + c \exp(d * Mw) \quad (35)$$

$\delta_h = 1$ cuando $h \geq h_c$, caso contrario se debe usar 0 [20]

a, b, c, d, S_R, S_I, S_S, S_{SL} son coeficientes para los términos de origen y ruta de los modelos tomados del estudio de Zhao (2006) [20] Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 103. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 104. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 105. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

C_H, C₁, C₂, C₃, C₄, σ , τ , $\sigma\tau$ son coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción. [20] Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 103. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 104. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 105. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Tabla 102. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

Zhao usa el valor de 15km para el coeficiente de profundidad h_c ya que este valor parece tener el mejor efecto de profundidad para eventos poco profundos con una profundidad menor a 25km. [20]

Además, en el estudio se especifica los factores FR como 1 para falla inversa y 0 para las demás, el parámetro tectónico SI 1 a los eventos interplaca y 0 a los demás, Ss 1 a los eventos de subducción y 0 para los demás. [20]

Profundidades focales

Cortical de 0 a 25 km; interplaca de 10 a 50km; intraplaca de 15 a 162km y si h es mayor a 125km recomienda usar 125km. [20]

Siendo los coeficientes usados en este estudio los siguientes:

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----|--------|-------|--------|----|---------|---|-------|----|------------|---|
| Mw | 8,9 | x (km) | 293,5 | h (km) | 50 | hc (km) | 0 | Suelo | C3 | δh | 1 |
|----|-----|--------|-------|--------|----|---------|---|-------|----|------------|---|

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

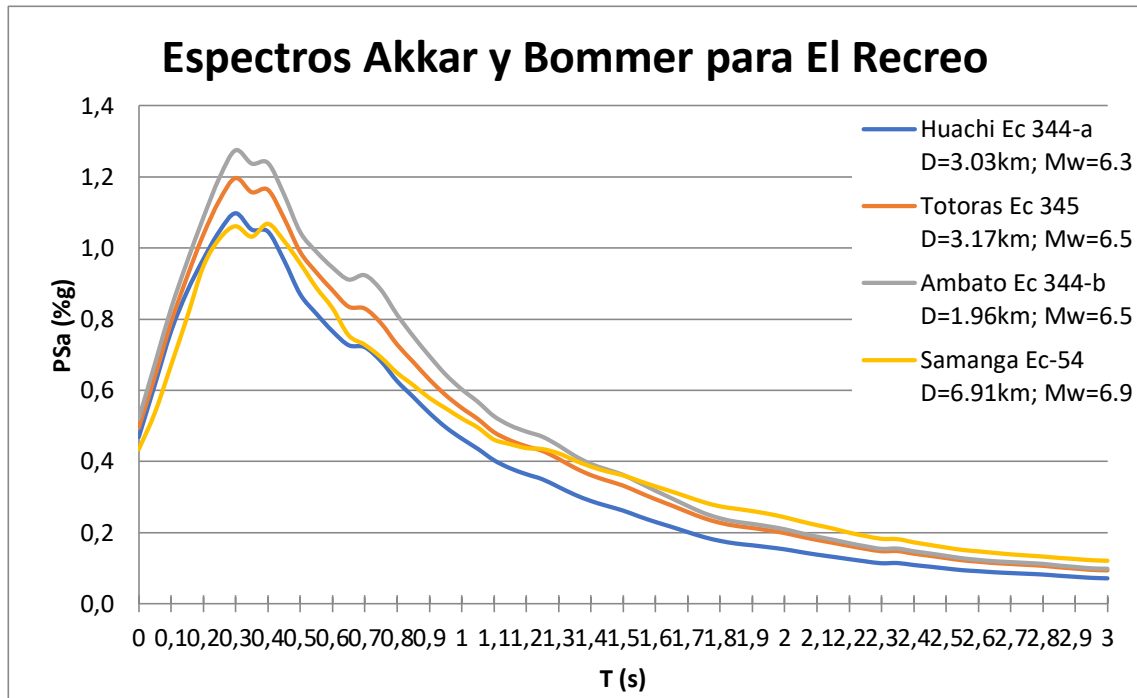
Con los modelos matemáticos descritos anteriormente para predicción de movimiento de suelo para fallamiento cortical y subducción respectivamente, en este estudio se procedió a comparar los espectros de respuesta obtenidos con el espectro que nos brinda NEC-15.

4.2.1 Espectros obtenidos mediante Akkar y Bommer

En este estudio DSHA para estructuras del sector El Recreo se usó una velocidad de onda de corte V_{s30} de 269.39m/s.

Para fallamiento cortical los espectros obtenidos usando Akkar y Bommer muestran que Ambato Ec 344-b presenta una mayor respuesta en aceleración según el período y esto se debe a que a mayor sea la distancia de la fuente de sitio al lugar de estudio pues menor será la respuesta en aceleraciones.

Ilustración 31. Espectros Akkar y Bommer para fallamiento cortical para El Recreo

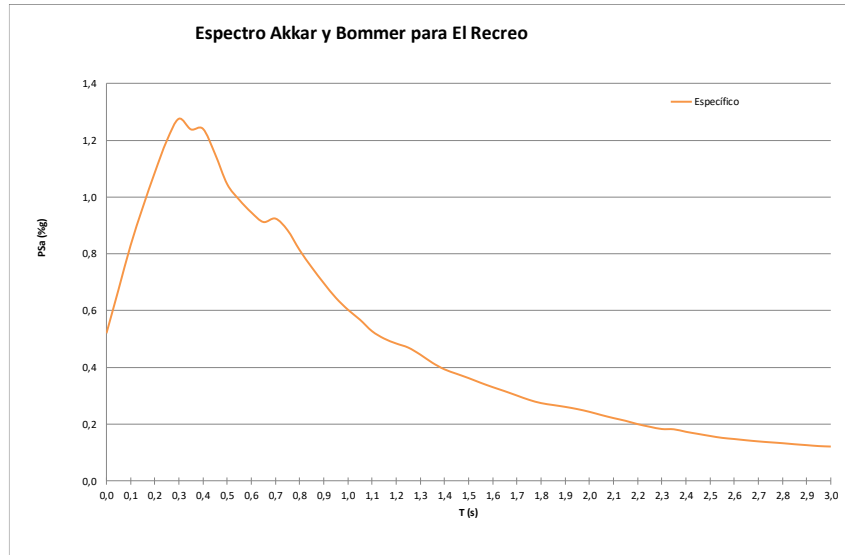


Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar que el espectro Ambato muestra el pico más elevado en un período de 0.3 con una Pseudoaceleración de 1.27%g, comparando esta aceleración máxima en este período con los demás espectros se puede observar que la falla Totoras muestra un decremento del 6.29%, siendo 1.19%g, Huachi muestra un decremento del 14.17% siendo 1.09%g y Samanga un decremento del 16.53% siendo 1.06%g.

El espectro específico obtenido según Akkar y Bommer con las 4 fallas corticales en sus puntos más altos de respuesta en aceleraciones, acorde con el período se muestra a continuación.

Ilustración 32. Espectro envolvente Akkar y Bommer para el Recreo, fallamiento cortical

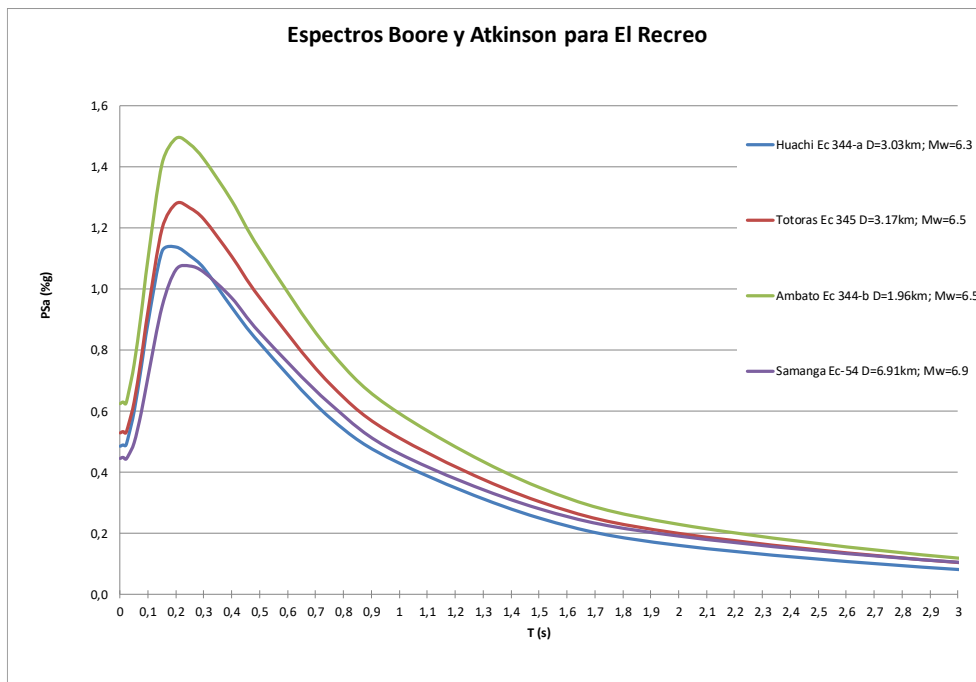


Fuente: Alexander Oviedo

4.2.2 Espectros obtenidos mediante Boore y Atkinson (2008)

Analizando las ecuaciones de predicción de movimiento de suelo estipuladas por Boore y Atkinson y utilizando un V_{s30} de 269.39m/s hallado anteriormente en conjunto con las diferentes magnitudes de momento para cada fallamiento, se pudo denotar que la falla de régimen cortical Ambato Ec 344-b presenta una mayor respuesta en aceleración según el período y esto se debe a que a mayor sea la distancia de la fuente de sitio al lugar de estudio pues menor será la respuesta en aceleraciones.

Ilustración 33. Espectros Boore y Atkinson para fallamiento cortical para El Recreo

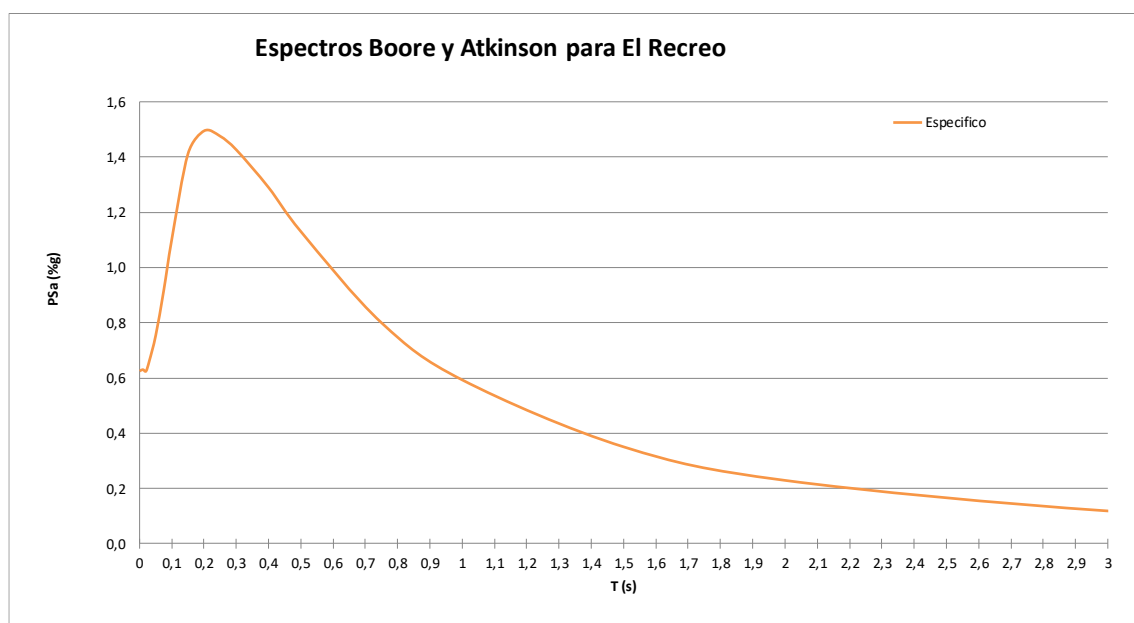


Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar que el espectro Ambato muestra el pico más elevado en un período de 0.2 con una Pseudoaceleración de 1.49%g, comparando esta aceleración máxima en este período con los demás espectros se puede observar que la falla Totoras muestra un decremento del 14.38%, siendo 1.28%g, Huachi muestra un decremento del 23.9% siendo 1.14%g y Samanga un decremento del 29.1% siendo 1.06%g.

El espectro específico obtenido según Boore y Atkinson con las 4 fallas corticales en sus puntos más altos de respuesta en aceleraciones, acorde con el período se muestra a continuación.

Ilustración 34. Espectro envolvente Boore y Atkinson para el Recreo, fallamiento cortical

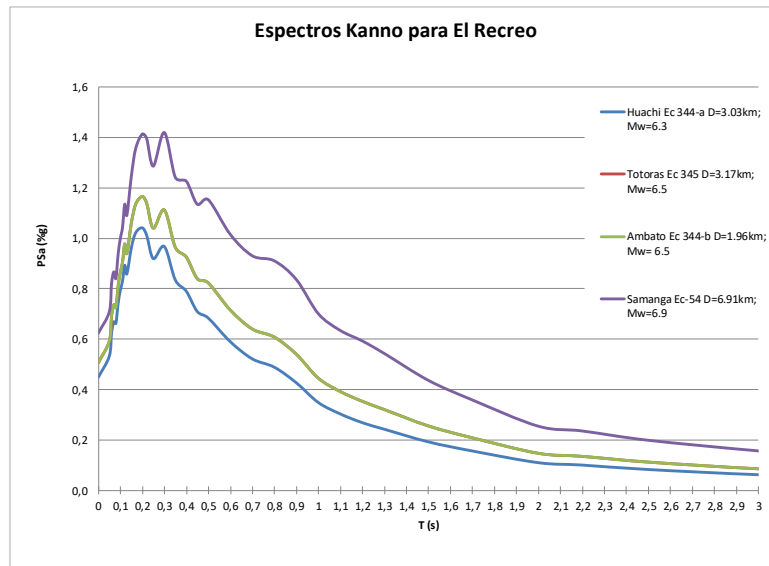


Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.3 Espectros obtenidos mediante Kanoo (2006)

Se utilizó una V_{s30} de 269.39m/s, una profundidad focal de 20km ya que sismos superficiales se producen hasta antes de los 30 km de profundidad y en base a historial sísmico detallado anteriormente se pudo notar que la profundidad promedio en la que se produce los hipocentros de los sismos ocasionados por las fallas corticales analizadas en este estudio es 20km, además se utilizó las magnitudes de momento halladas anteriormente mediante la ecuación de Wells-Coopersmith.

Ilustración 35. Espectros Kanno para fallamiento cortical para El Recreo

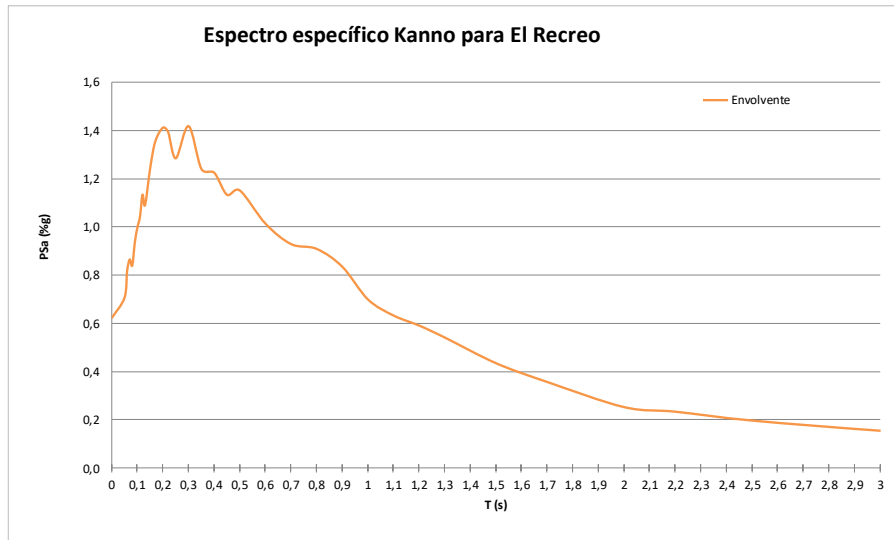


Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar que el espectro Samanga muestra el pico más elevado en un período de 0.20 con una Pseudoaceleración de 1.39%g, comparando esta aceleración máxima en este período con los demás espectros se puede observar que la falla Ambato muestra un decremento del 16.04%, siendo 1.167%g, Totoras muestra un decremento del 16.04% siendo 1.167%g y Samanga un decremento del 25.18% siendo 1.04%g.

El espectro específico obtenido según Boore y Atkinson con las 4 fallas corticales en sus puntos más altos de respuesta en aceleraciones, acorde con el período se muestra a continuación.

Ilustración 36. Espectro envolvente Kanno para el Recreo, fallamiento cortical

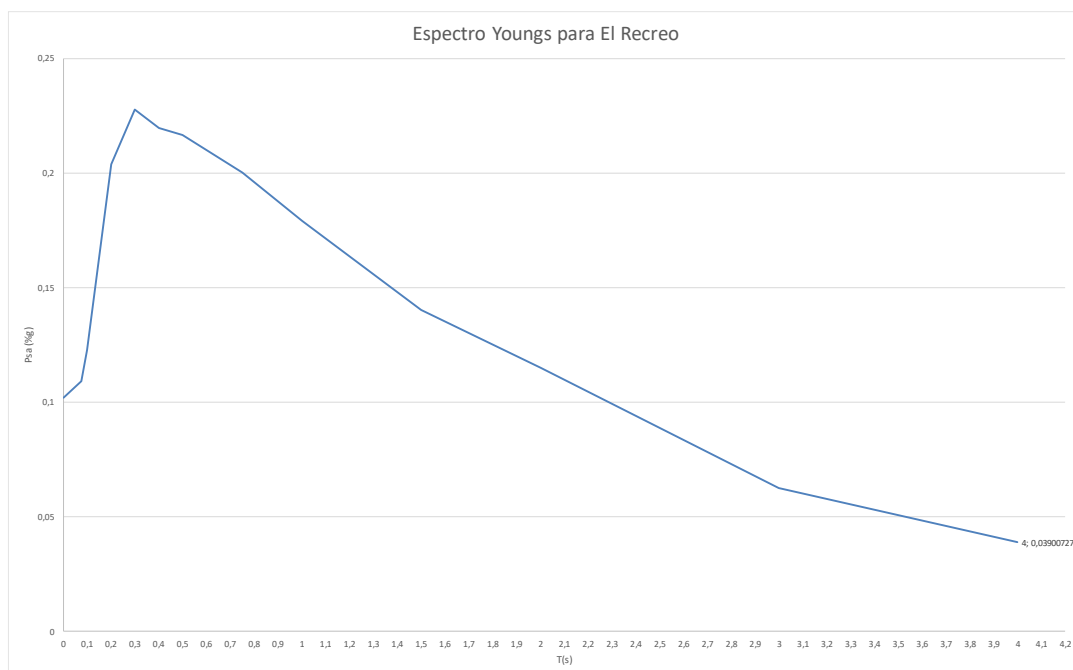


Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.4 Espectro calculado para fallamiento subducción por Youngs

Para este cálculo se estimó una profundidad focal de 50 km, una magnitud de momento de 8.9 determinada mediante Wells y Coopersmith, y una distancia de 293.5 km medida entre el sitio de estudio y el punto más cercano a la falla.

Ilustración 37. Espectro Youngs para fallamiento cortical para El Recreo



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Siendo el período con el pico máximo de 0.3s con una aceleración de 0.223%g

4.2.5 Espectro calculado para fallamiento subducción por Zhao

Se obtuvo el siguiente espectro para fallamiento subducción estimando una profundidad focal de 50 km, una magnitud de momento de 8.9 determinada mediante Wells y Coopersmith y una distancia de 293.5 km medida entre el sitio de estudio y el punto más cercano a la falla.

Ilustración 38. Espectro Zhao para fallamiento cortical para El Recreo



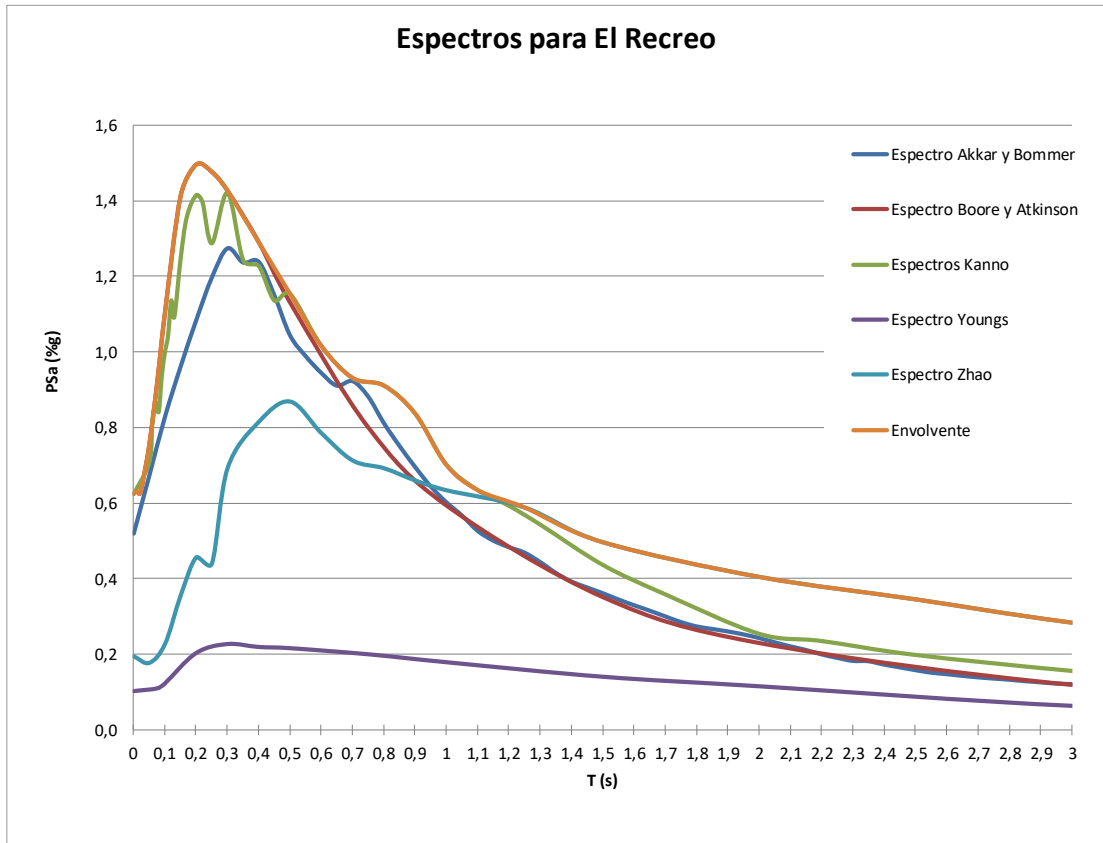
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Siendo el período con el pico máximo de 0.5s con una aceleración de 0.867%g

4.2.6 Espectros hallados mediante ecuaciones de predicción de movimiento de suelo y espectro envolvente del lugar de estudio.

Con los espectros encontrados mediante ecuaciones de atenuación se pudo formar un espectro envolvente mediante, el período como constante y los puntos máximos de la aceleración como variable de acuerdo a los espectros específicos.

Ilustración 39. Espectros de lugar obtenidos mediante ecuaciones de atenuación para el sector El Recreo



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Como resumen de los modelos matemáticos usados en este estudio y con sus respuestas máximas en períodos y aceleraciones se muestra la siguiente tabla.

Tabla 46. Resumen de respuesta espectral

| Modelos matemáticos | Período s | Pseudoaceleración %g | Falla | Regimen |
|-------------------------|-----------|----------------------|---------|------------|
| Espectro Akkar y Bommer | 0,3 | 1,27 | Ambato | Cortical |
| Boore y Atkinson | 0,2 | 1,49 | Ambato | Cortical |
| Kanno | 0,2 | 1,39 | Samanga | Cortical |
| Youngs | 0,3 | 0,223 | Nasca | Subducción |
| Zhao | 0,5 | 0,867 | Nasca | Subducción |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar que para el modelo Akkar y Bommer la mayor respuesta en aceleración se produjo en un período de 0.3s con una respuesta de 1.27%g, esto con la falla cortical Ambato.

Para el modelo Boore y Atkinson la mayor respuesta en aceleración se produjo en un período de 0.2s con una respuesta de 1.49%g, esto con la falla cortical Ambato.

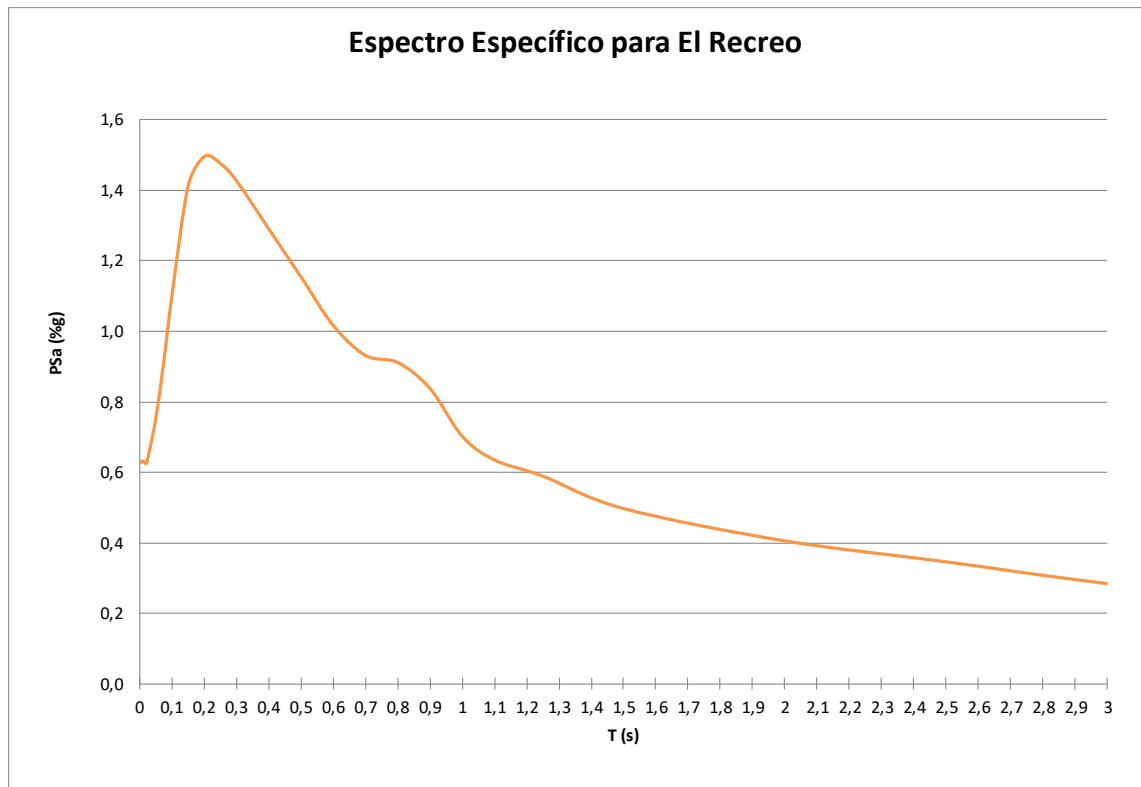
Para el modelo Kanno la mayor respuesta en aceleración se produjo en un período de 0.2s con una respuesta de 1.39%g, esto con la falla cortical Samanga.

Para el modelo Youngs la mayor respuesta en aceleración se produjo en un período de 0.3s con una respuesta de 0.223%g, esto con la falla subducción Nasca.

Para el modelo Zhao la mayor respuesta en aceleración se produjo en un período de 0.3s con una respuesta de 0.867%g, esto con la falla subducción Nasca.

Esto descrito estadísticamente tomando como respuesta máxima Boore y Atkinson en la falla de Ambato, se observa un decremento del 6.71% Kanno para falla Ambato, un decremento del 14.77 % para Akkar y Bommer con la falla cortical Samanga, un 41.81% de decremento con Zhao para subducción Nasca y por último Youngs con un 85.03% de decremento para subducción Nasca.

Ilustración 40. Espectro envolvente específico para el sector El Recreo



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Para este espectro la tabla de datos resultante Período vs. Pseudo-aceleración es la siguiente:

Tabla 47. Espectro envolvente Período vs. Sa%g

| Espectro Específico | |
|----------------------------|----------------|
| T (s) | Sa (%g) |
| 0,0000 | 0,6248 |
| 0,0100 | 0,6304 |
| 0,0200 | 0,6248 |
| 0,0300 | 0,6612 |
| 0,0500 | 0,7544 |
| 0,0750 | 0,9183 |
| 0,1000 | 1,1037 |
| 0,1500 | 1,4118 |
| 0,2000 | 1,4947 |
| 0,2500 | 1,4750 |
| 0,3000 | 1,4255 |
| 0,4000 | 1,2890 |
| 0,5000 | 1,1527 |
| 0,6000 | 1,0151 |
| 0,7000 | 0,9302 |
| 0,8000 | 0,9102 |
| 0,9000 | 0,8361 |
| 1,0000 | 0,7006 |
| 1,1000 | 0,6337 |
| 1,2500 | 0,5879 |
| 1,5000 | 0,4960 |
| 2,0000 | 0,4043 |
| 2,5000 | 0,3449 |
| 3,0000 | 0,2833 |
| 4,0000 | 0,1794 |
| 5,0000 | 0,0956 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.7 Espectro calculado mediante NEC 2015

- Se calculó un espectro para estructuras aporricadas de hormigón armado con vigas descolgadas y un espectro para estructuras aporricadas de hormigón armado con vigas banda.
- Importancia 1 ya que en el lugar de estudio existen estructuras de uso familiar por lo que la NEC las clasifica como otras estructuras.
- F_a , para el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto, para suelo tipo D con un factor Z de 0.4 la NEC 2015 estima un valor de 1,2.
- F_d , para la amplificación de ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, para suelo tipo D con un factor Z de 0.4, NEC 2015 estima un valor de 1,19.
- F_s , para el comportamiento no lineal de los suelos, para un suelo tipo D con un factor Z de 0.4, NEC 2015 estima un valor de 1,28.
- η , Razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1s$) y el PGA para el período de retorno seleccionado, se utilizó el valor de 2.48 establecido por NEC 2015 para la provincia de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.
- r , Factor usado en el espectro de diseño elástico, NEC 2015 establece 1 para todos los suelos excepto E y 1.5 para suelo tipo E, por lo cual se utilizó 1.
- R , factor de reducción de fuerzas sísmicas, se utilizó el valor de 8 establecido por NEC 2015 para pórticos especiales sísmos resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras y 5 para pórticos especiales sísmos resistentes de hormigón armado con vigas banda.
- ϕ_e , irregularidad en elevación, un promedio de las estructuras que se visitó en el sector de estudio no posee mayor irregularidad en elevación por lo cual se utilizó el valor de 1.
- ϕ_p , irregularidad en planta, un promedio de las estructuras que se visitó en el sector de estudio no poseen mayor irregularidad en planta por lo cual se utilizó el valor de 1.
- C_t , Coeficiente dependiente de las estructuras, se utilizó 0.055 y 0.9 para α , ya que NEC 2015 establece este valor para pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras.

4.2.7.1 Espectro NEC 2015 para estructuras del sector El Recreo

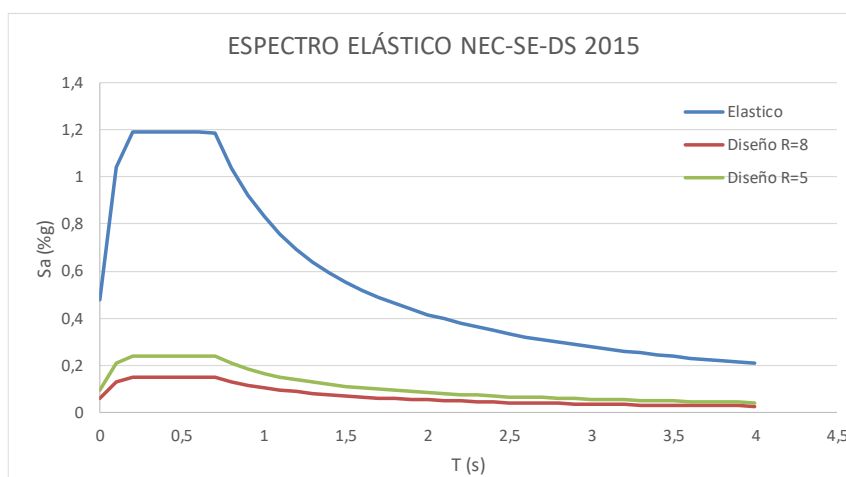
Con las especificaciones anteriores se obtuvo un espectro de respuesta, período vs. aceleración espectral y un espectro de diseño reducido mediante el factor de reducción de resistencia establecido por NEC 2015, este factor depende de variables tales como tipo de estructura, tipo de suelo, período de vibración considerado y factores de ductilidad, resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite. a más de esto se debe tomar en cuenta los factores de irregularidad en planta y elevación, los cuales se optó analizar con 1 ya que en promedio las estructuras analizadas son altamente simétricas en planta y elevación. [6]

Tabla 48. Espectro NEC 2015 para el sector El Recreo

| ESPECTRO ELÁSTICO Y ESPECTRO REDUCIDO DE ACUERDO A NEC-SE-DS | | | |
|---|----------------|-------------------|-------------------|
| T (s) | Sa (%g) | C (%g) R=8 | C (%g) R=5 |
| 0 | 0,48 | 0,06000 | 0,09600 |
| 0,1 | 1,03966387 | 0,12996 | 0,20793 |
| 0,2 | 1,1904 | 0,14880 | 0,23808 |
| 0,3 | 1,1904 | 0,14880 | 0,23808 |
| 0,4 | 1,1904 | 0,14880 | 0,23808 |
| 0,5 | 1,1904 | 0,14880 | 0,23808 |
| 0,6 | 1,1904 | 0,14880 | 0,23808 |
| 0,7 | 1,1872256 | 0,14840 | 0,23745 |
| 0,8 | 1,0388224 | 0,12985 | 0,20776 |
| 0,9 | 0,92339769 | 0,11542 | 0,18468 |
| 1 | 0,83105792 | 0,10388 | 0,16621 |
| 1,1 | 0,7555072 | 0,09444 | 0,15110 |
| 1,2 | 0,69254827 | 0,08657 | 0,13851 |
| 1,3 | 0,63927532 | 0,07991 | 0,12786 |
| 1,4 | 0,5936128 | 0,07420 | 0,11872 |
| 1,5 | 0,55403861 | 0,06925 | 0,11081 |
| 1,6 | 0,5194112 | 0,06493 | 0,10388 |
| 1,7 | 0,4888576 | 0,06111 | 0,09777 |
| 1,8 | 0,46169884 | 0,05771 | 0,09234 |
| 1,9 | 0,43739891 | 0,05467 | 0,08748 |
| 2 | 0,41552896 | 0,05194 | 0,08311 |
| 2,1 | 0,39574187 | 0,04947 | 0,07915 |
| 2,2 | 0,3777536 | 0,04722 | 0,07555 |
| 2,3 | 0,36132953 | 0,04517 | 0,07227 |
| 2,4 | 0,34627413 | 0,04328 | 0,06925 |
| 2,5 | 0,33242317 | 0,04155 | 0,06648 |
| 2,6 | 0,31963766 | 0,03995 | 0,06393 |
| 2,7 | 0,30779923 | 0,03847 | 0,06156 |
| 2,8 | 0,2968064 | 0,03710 | 0,05936 |
| 2,9 | 0,2865717 | 0,03582 | 0,05731 |
| 3 | 0,27701931 | 0,03463 | 0,05540 |
| 3,1 | 0,2680832 | 0,03351 | 0,05362 |
| 3,2 | 0,2597056 | 0,03246 | 0,05194 |
| 3,3 | 0,25183573 | 0,03148 | 0,05037 |
| 3,4 | 0,2444288 | 0,03055 | 0,04889 |
| 3,5 | 0,23744512 | 0,02968 | 0,04749 |
| 3,6 | 0,23084942 | 0,02886 | 0,04617 |
| 3,7 | 0,22461025 | 0,02808 | 0,04492 |
| 3,8 | 0,21869945 | 0,02734 | 0,04374 |
| 3,9 | 0,21309177 | 0,02664 | 0,04262 |
| 4 | 0,20776448 | 0,02597 | 0,04155 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 41. Espectro NEC 2015 para el sector el Recreo

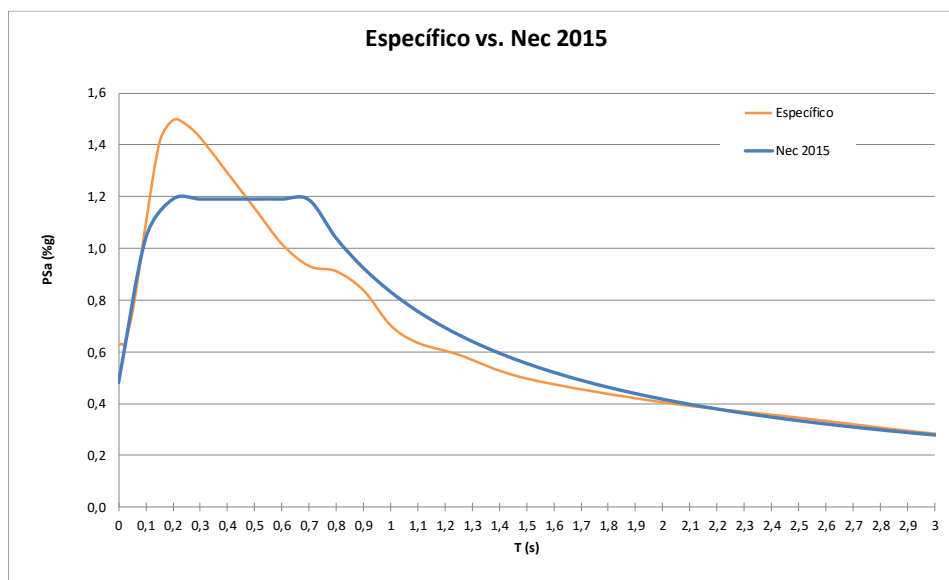


Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.8 Comparación entre el espectro específico y espectro NEC 2015 para estructuras del sector El Recreo.

Cumpliendo con los objetivos planteados en este estudio se comparó el espectro obtenido mediante ecuaciones de atenuación con el que nos ayuda la NEC 2015 mediante cálculos establecidos por la misma.

Ilustración 42. Comparación entre Espectro específico y espectro NEC 2015



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Como se puede observar en la ilustración 43, la NEC 2015 no abastece la respuesta de aceleración del suelo para estructuras de período corto, hasta 0,5s es decir aproximadamente 5 pisos, de ahí en adelante su respuesta es muy aceptable.

Se observa que la NEC en este período tiene un decremento del 20,13% comparado con el espectro específico.

4.2.9 Análisis de resultados

4.2.9.1 Hogar de la señora Beatriz Lascano

4.2.9.1.1 Descripción

La estructura analizada es de Hormigón armado, consta de 2 plantas y terraza accesible. La composición estructural está clasificada de columnas de 35*35, vigas banda de 40*20 y losa de e=20cm con una altura de entrepiso de 2,35cm.

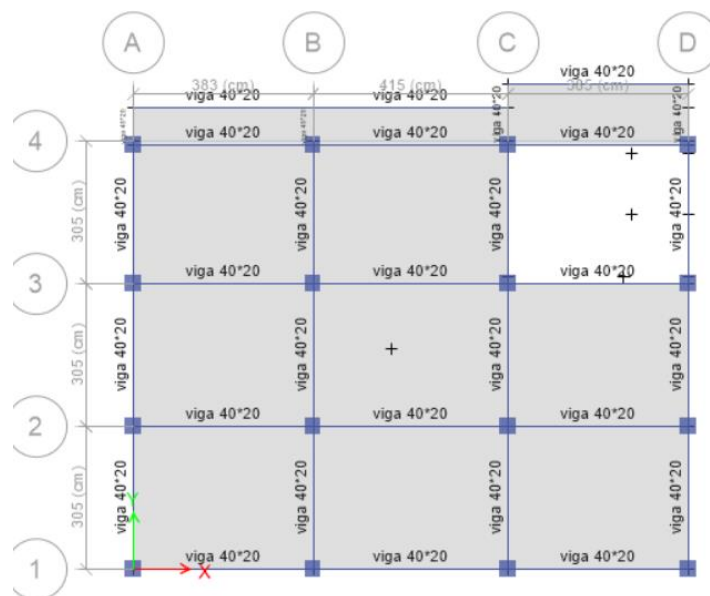
Se ha tomado para este estudio las medidas en planta y elevación, las mismas que han sido llevadas al programa ETABS para su correcto análisis y comparación entre el comportamiento de dicha estructural con el espectro normado por la NEC que le corresponde o su comportamiento con el espectro específico de lugar que en este estudio se ha calculado.

Tabla 49. Áreas en planta de la estructura de la señora Beatriz Lascano

| ÁREAS EN PLANTA | | | | |
|------------------------|----|--------|----------|---------------|
| UBICACION | U | AREA | CANTIDAD | TOTAL |
| LOSA N +2,55 y N +5,10 | m2 | 108,48 | 2 | 216,96 |
| LOSA N +7,65 tapagrada | m2 | 176,58 | 1 | 13,80 |
| Area Total | | | | 230,76 |

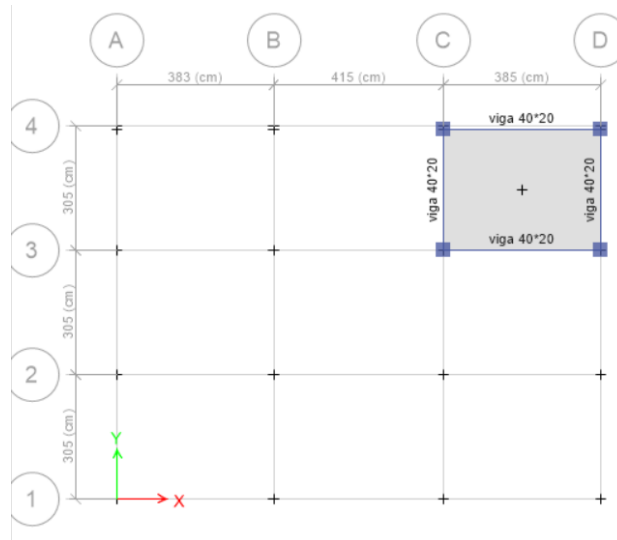
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 43. Vista en planta LOSA N +2.55 y N +5.10



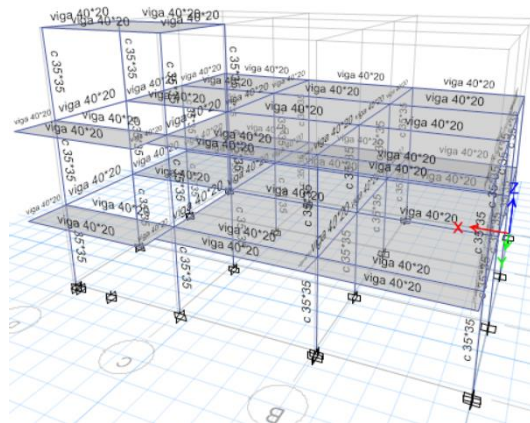
Fuente1. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 47. Vista en planta LOSA N +7.65 Tapagrada



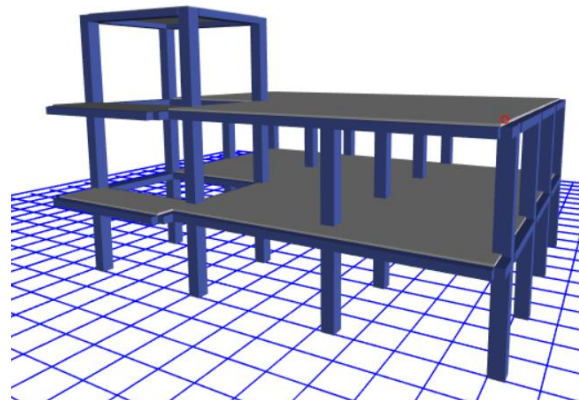
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 51. Distribución estructural vista en 3D



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 52. Vista Render de la estructura



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 57. Domicilio de la señora Beatriz Lascano



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.1.2 Carga

Para el cálculo de las cargas que serán ingresadas a la estructura se ha realizado un análisis del peso de las losas, mamposterías, acabados y carga viva, basados en las cargas establecidas por el código que nos rige, de acuerdo a los planos arquitectónicos.

CARGA MUERTA

La carga muerta será considerada todos los pesos inamovibles de la estructura tales como peso propio de los elementos estructurales, pesos de las mamposterías, acabados e instalaciones.

El peso propio de los elementos los determina el programa automáticamente por la condición de la carga DEAD que tiene el programa ETABs, la cual determina automáticamente esta condición.

Para los pesos de las mamposterías se ha tomado en consideración el 75% del peso de la carga muerta.

Tabla 50. Cálculo del peso total de la carga soportada

| Elemento | Unidad | hm | Espesor (m) | longitud | Peso específico γ kg/cm ³ | Peso /m ² | Unidad |
|--|----------------|--------------------------|------------------------------------|----------|---|----------------------|-------------------|
| Peso propio loseta | | 1 | 0,05 | 1 | 2400 | 120 | |
| Peso Propio nervios | | 0,15 | 0,1 | 3,6 | 2400 | 129,6 | |
| Peso propio alivianamientos | 8 | | | | 8 | 64 | |
| Peso propio alisado superior | | 1 | 0,045 | 1 | 1900 | 85,5 | |
| Peso propio alisado inferior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Peso propio acabados | | 1 | 0,02 | 1 | 1600 | 32 | |
| | | | | | | 431,1 | kg/m ² |
| CARGA MUERTA= 431,1 kg/m ² + 75% (efecto paredes y ventanas) | | | | | | | |
| acm=64 de alivianamientos+85,5 peso alisado y 32 peso de acabados+75%431,1 paredes=504,85kg/m ² | | | | | | | |
| CARGA MUERTA= | 754,425 | kg/m ² | | | | | |
| CARGA VIVA PARA RESIDENCIAL = | 200 | kg/cm² | Según[NEC SE. CG. TABLA 9] | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Tabla 51. Cálculo del peso total de la carga para tapagrada

| CARGA MUERTA CUBIERTA | | |
|------------------------------|------------------|-------------------------|
| Peso Propio de la losa | Programa calcula | kg/m ² |
| Instalaciones | 20 | kg/m ² |
| TOTAL | 164 | kg/m² |
| CARGA VIVA CUBIERTA | | |
| C.V. | 70 | kg/m ² |
| TOTAL | 70 | kg/m² |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.1.3 Período estimado con la NEC 15 $T = Ct * hn^{\alpha}$

Donde:

Ct, para estructuras con pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras es 0,055.

hn, altura máxima del edificio es 7,65m.

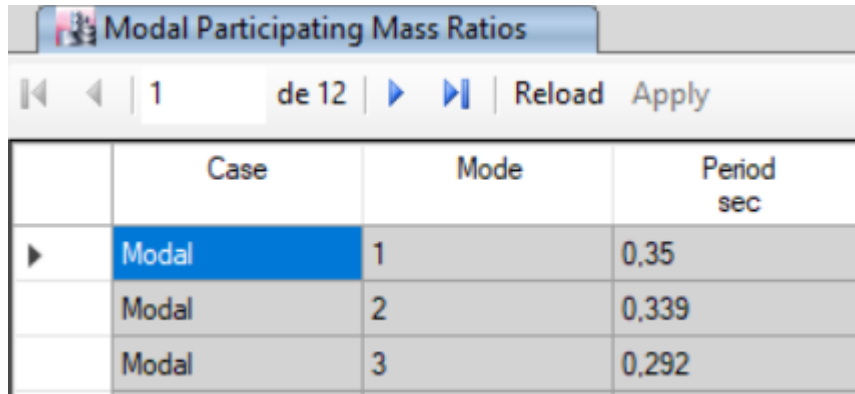
α , para estructuras con pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras es 0,9.

$$T=0,055*7,65^{0,9}$$

$$T=0,343$$

4.2.9.1.4 Período calculado por el software con el análisis modal

Ilustración 61. Períodos calculados por el software con análisis modal



| | Case | Mode | Period sec |
|---|-------|------|---------------|
| ▶ | Modal | 1 | 0,35 |
| | Modal | 2 | 0,339 |
| | Modal | 3 | 0,292 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.1.5 Verificación del rango admisible en el período

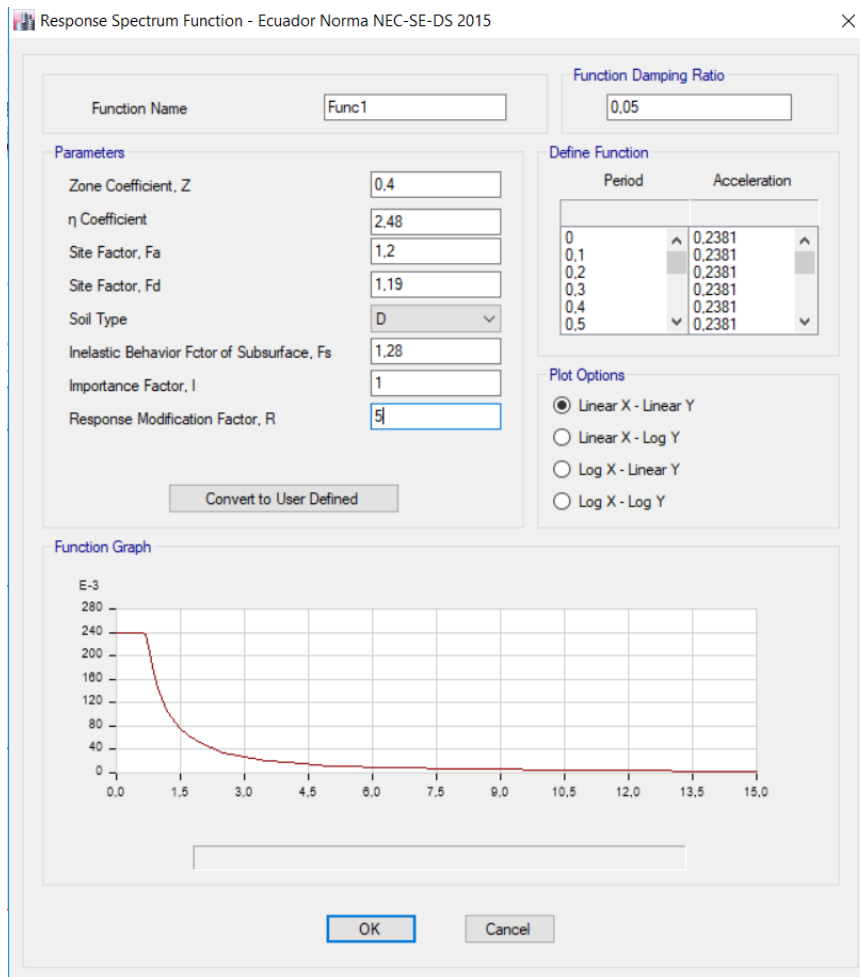
$$T_{\text{estimado}}(s) < T_{\text{ETABS}}(S) < 1.3T_{\text{estimado}}(s)$$

$$0.333 < 0.35 < 0.433$$

Se puede observar que el período real de la estructura se encuentra en el rango admisible que considera la NEC15.

4.2.9.1.6 Espectro NEC15 ingresado al ETABS

Ilustración 65. Espectro NEC 15 para el sector el Recreo suelo tipo D vigas banda, R=5



Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

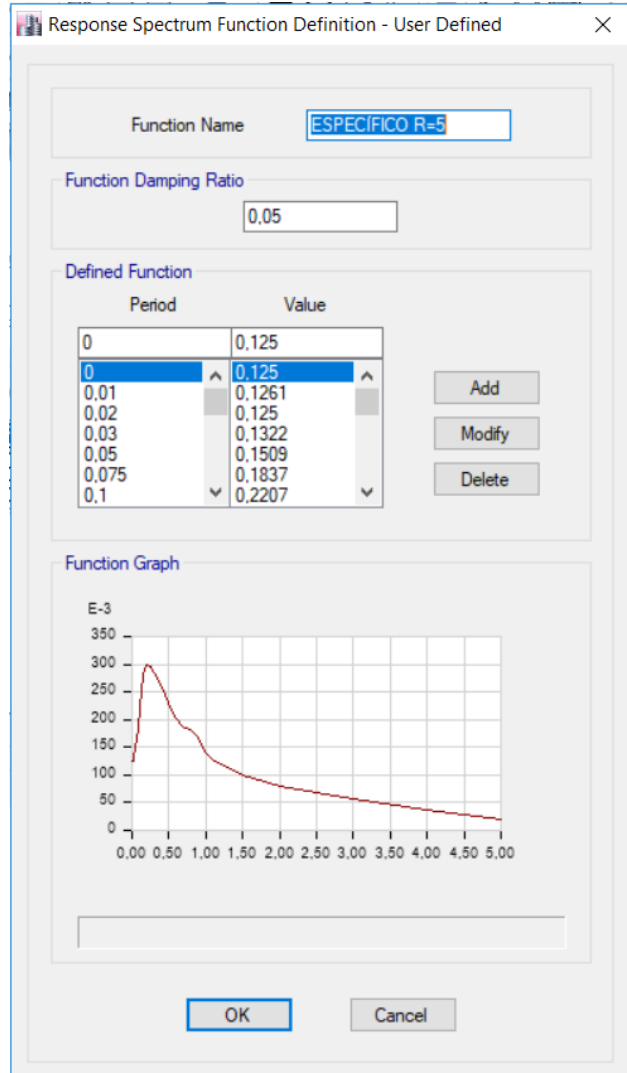
4.2.9.1.7 Espectro específico hallado en este estudio.

Tabla 52. Espectro específico reducido R=5 para estructuras con vigas banda

| T (s) | C (%g) |
|-------|------------|
| 0 | 0,12495431 |
| 0,01 | 0,12607727 |
| 0,02 | 0,12496678 |
| 0,03 | 0,13224178 |
| 0,05 | 0,15087453 |
| 0,075 | 0,18365287 |
| 0,1 | 0,22073082 |
| 0,15 | 0,28235723 |
| 0,2 | 0,29894322 |
| 0,25 | 0,29499229 |
| 0,3 | 0,28510116 |
| 0,4 | 0,25780457 |
| 0,5 | 0,23053574 |
| 0,6 | 0,20301778 |
| 0,7 | 0,18604551 |
| 0,8 | 0,18203498 |
| 0,9 | 0,16722708 |
| 1 | 0,14011377 |
| 1,1 | 0,12674803 |
| 1,25 | 0,11757133 |
| 1,5 | 0,09920921 |
| 2 | 0,08086182 |
| 2,5 | 0,06898304 |
| 3 | 0,05665813 |
| 4 | 0,03588894 |
| 5 | 0,01912582 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

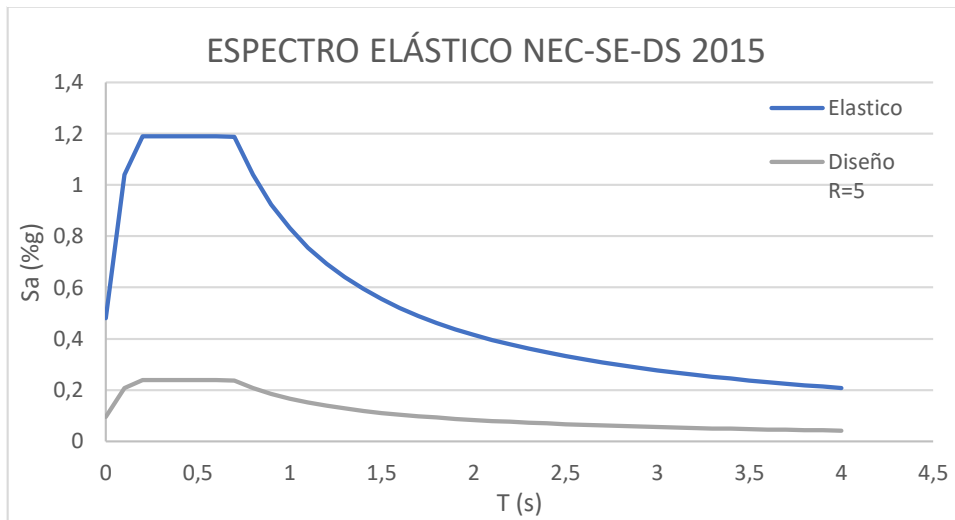
Ilustración 66. Espectro específico reducido R=5



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

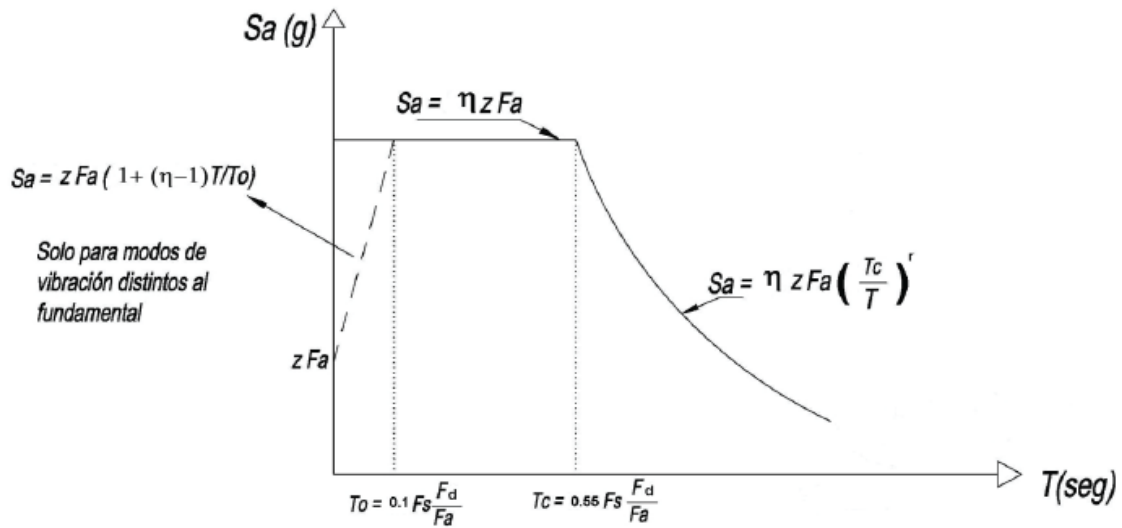
4.2.9.1.8 Cálculo de CORTANTE BASAL para el primer período con el espectro NEC 2015

Ilustración 67. Espectro NEC 2015



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 68. Fórmulas para calcular Sa según el período.



Fuente. NEC 2015

Tabla 53. Fórmulas para calcular el coeficiente k que depende del período

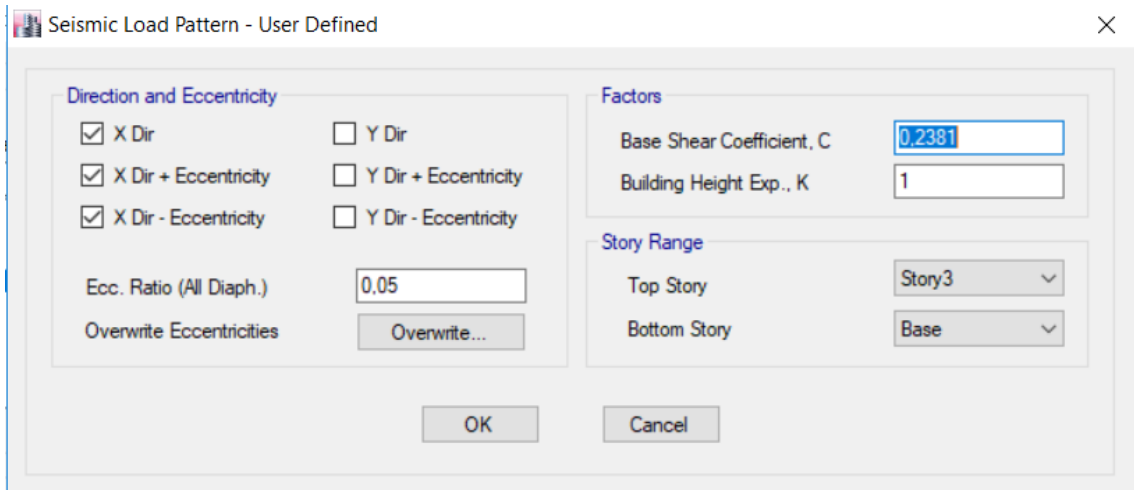
| Valores de T(s) | K |
|--------------------|----------------|
| $\leq 0,5$ | 1 |
| $0,5 < T \leq 2,5$ | $0,75 + 0,50T$ |
| $> 2,5$ | 2 |

Fuente. NEC 2015

Dando como resultado con $T = 0,35$ un $C(\%g) = 0,2381$ y $K = 1,00$

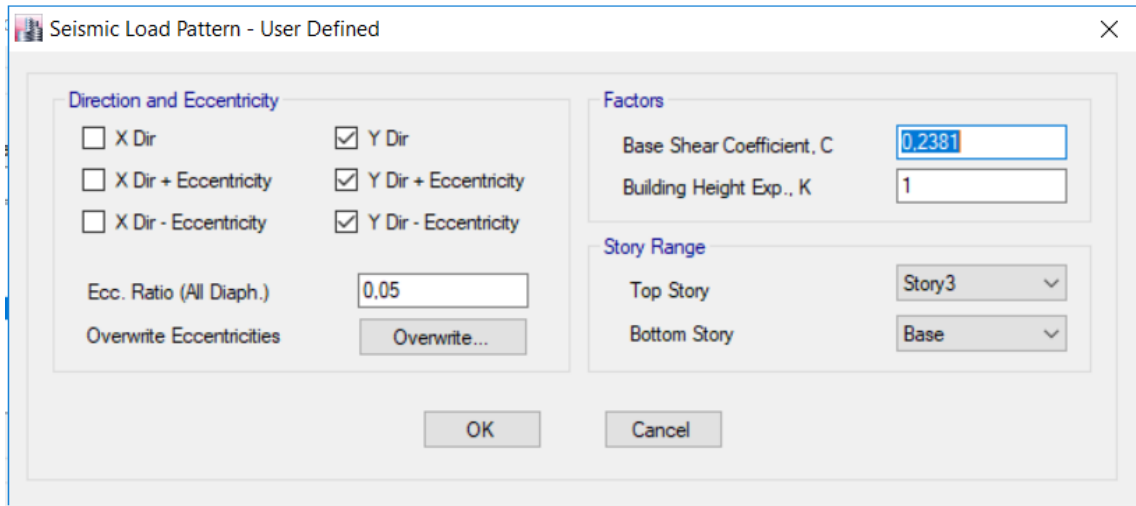
Estos valores se colocarán en la fuerza sísmica como se muestra a continuación.

Ilustración 69. Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido x



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

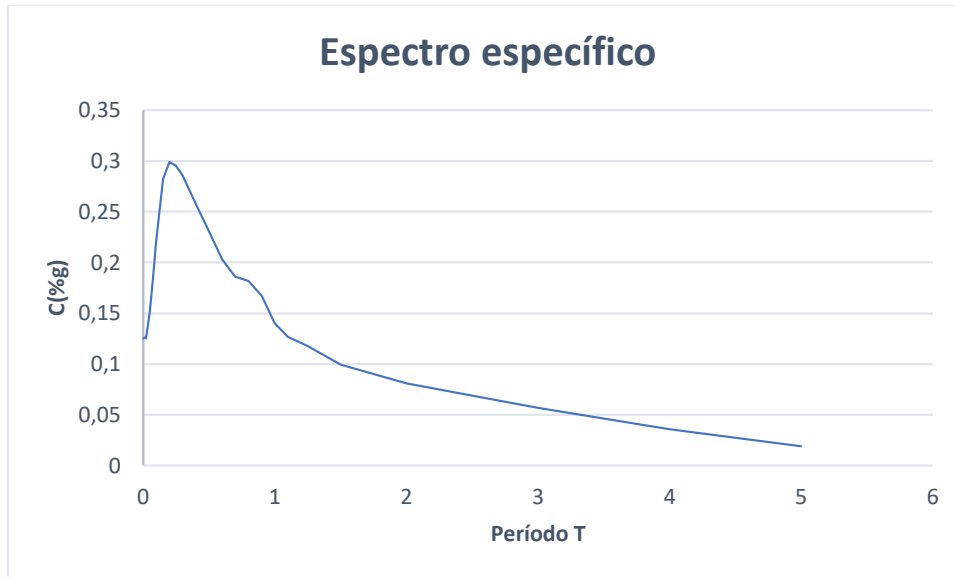
Ilustración 70. Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido y



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.1.9 Cálculo de CORTANTE BASAL para el primer período con el espectro Específico

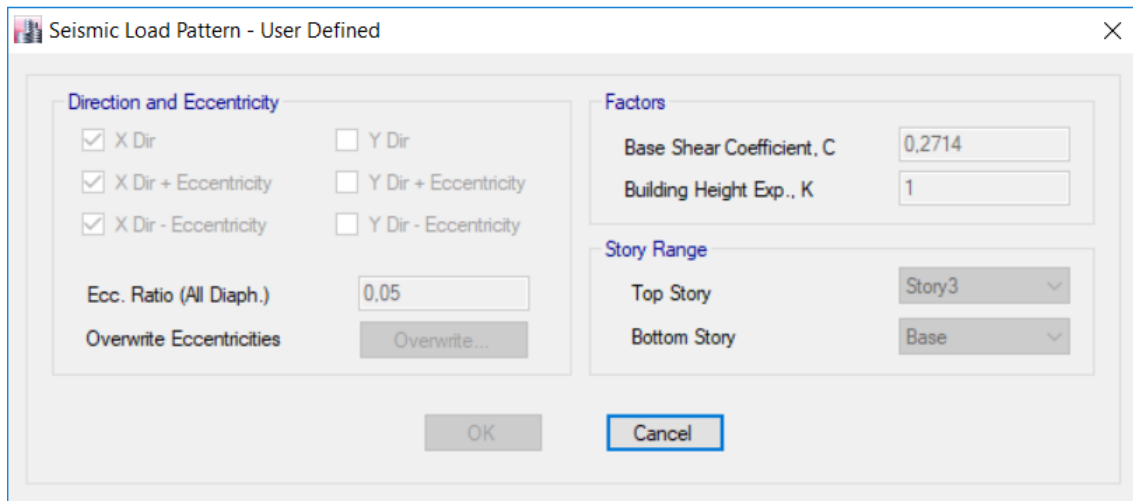
Ilustración 71. Espectro específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

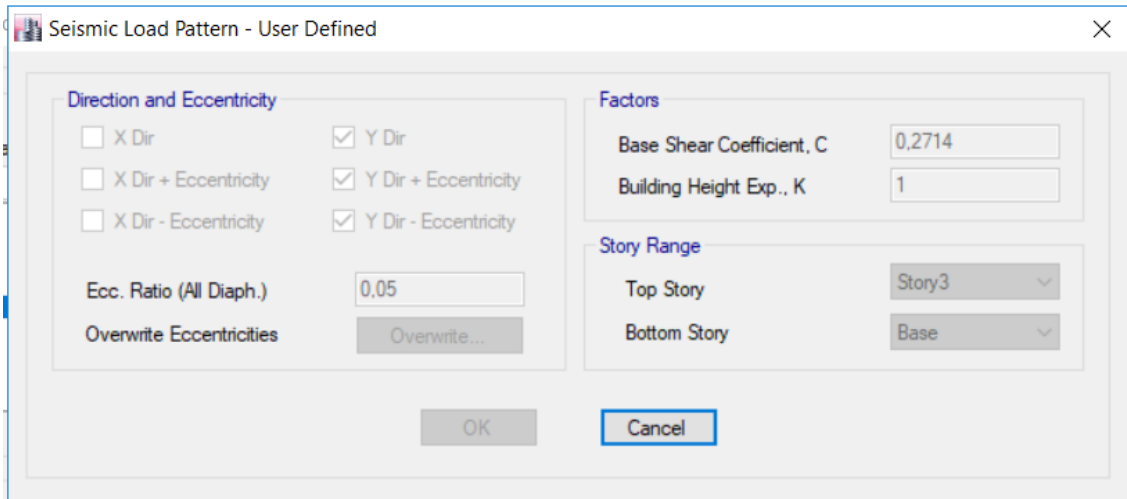
Con un período de $T=0,35$ la curva nos muestra un $C(\%g) = 0,2714$ y $K=1$

Ilustración 72. Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico.



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 73. Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico.



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.1.10 Verificación de movimientos traslacionales en los 2 primeros modos de vibrar con un análisis modal.

Ilustración 74. Verificación de torsión con un análisis modal

| | UX | UY | RZ | VERIFICACIÓN | CHECK |
|---|--------|--------|--------|--------------|---------|
| 1 | 0.8199 | 0.0123 | 0.039 | 4.76% | BIEN |
| 2 | 0.0187 | 0.8438 | 0.0114 | 1,35%, | BIEN |
| 3 | 0.0334 | 0.0204 | 0.8181 | 2449,40% | TORSIÓN |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Esta tabla muestra que la estructura cumple favorablemente con el chequeo de torsión accidental o torsión en planta que la norma recomienda sea trasnacional en los dos primeros modos de vibrar y rotacional en el tercero para que sea capaz de disipar energía.

4.2.9.1.11 Verificación de derivas estáticas con el espectro NEC 15

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$

| NEC 2015 | |
|--|---|
| <p><i>Ilustración 75. Deriva sentido x espectro NEC15</i></p> <p>Case/Combo: The load case or load combination for which the res...</p> <p>Max: (0,003923, Story3); Min: (0, Base)</p> | <p><i>Ilustración 76. Deriva sentido y espectro NEC 15</i></p> <p>Case/Combo: The load case or load combination for which the res...</p> <p>Max: (0,003748, Story3); Min: (0, Base)</p> |
| <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> | <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> |
| <p>Dmax sx=0,003923</p> | <p>Dmax sy=0,003748</p> |
| <p>D inelástica= 0,003923*0,75*5=1,47%</p> | <p>D inelástica= 0,003748*0,75*5=1,4055%</p> |

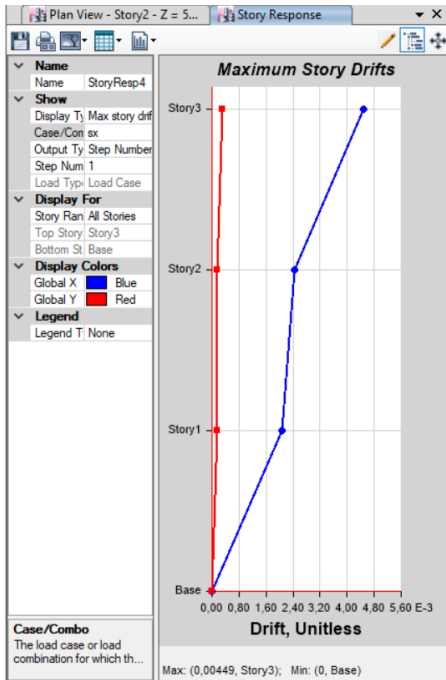
Se puede observar que las derivas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

4.2.9.1.12 Verificación de derivas estáticas con el espectro Específico

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$

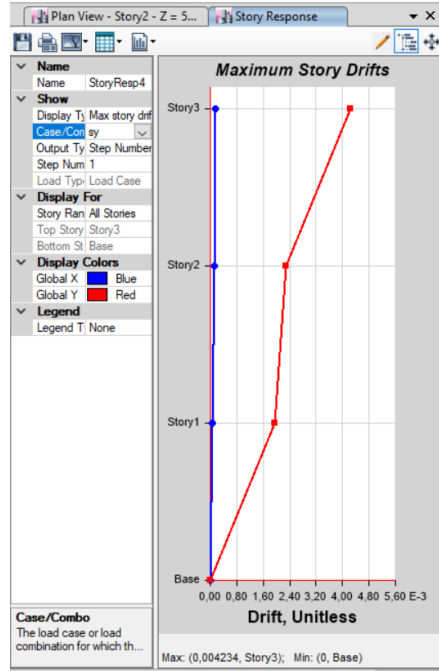
ESPECTRO ESPECÍFICO SECTOR EL RECREO

Ilustración 77. Deriva sentido x espectro Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 78. Deriva sentido y espectro Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Dmax sx=0,00449

Dmax sy=0,004234

D inelástica= 0,00449*0,75*5=1,68%

D inelástica= 0,004234*0,75*5=1,59%

Se puede observar que las derivas estáticas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

Como se puede observar el resultado de las derivas estáticas muestra un porcentaje más elevado en ambos sentidos con el espectro específico hallado en este estudio.

Cabe recalcar que para este período de T=0.35 la comparación entre espectros ha mostrado que la estructura debe ser diseñada para soportar una carga sísmica más elevada de acuerdo al espectro específico hallado en este estudio.

4.2.9.1.13 Verificación de derivas dinámicas con el espectro NEC 15

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$

| NEC 2015 | |
|---|--|
| <p><i>Ilustración 79. Deriva sentido x espectro NEC15</i></p> <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> | <p><i>Ilustración 80. Deriva sentido y espectro NEC 15</i></p> <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> |
| Dmax sx=0,003816 | Dmax sy=0,003783 |
| D inelástica= 0,003816*0,75*5=1,43% | D inelástica= 0,003783*0,75*5=1,418% |

Se puede observar que las derivas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

4.2.9.1.14 Verificación de derivas dinámicas con el espectro Específico

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$

| ESPECTRO ESPECÍFICO SECTOR EL RECREO | |
|--|---|
| <p><i>Ilustración 81. Deriva sentido x espectro Específico</i></p> <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> | <p><i>Ilustración 82 Deriva sentido y espectro Específico</i></p> <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> |
| Dmax sx=0,00435 | Dmax sy=0,00435 |
| D inelástica= 0,00435*0,75*5=1,63% | D inelástica= 0,00435*0,75*5=1,63% |

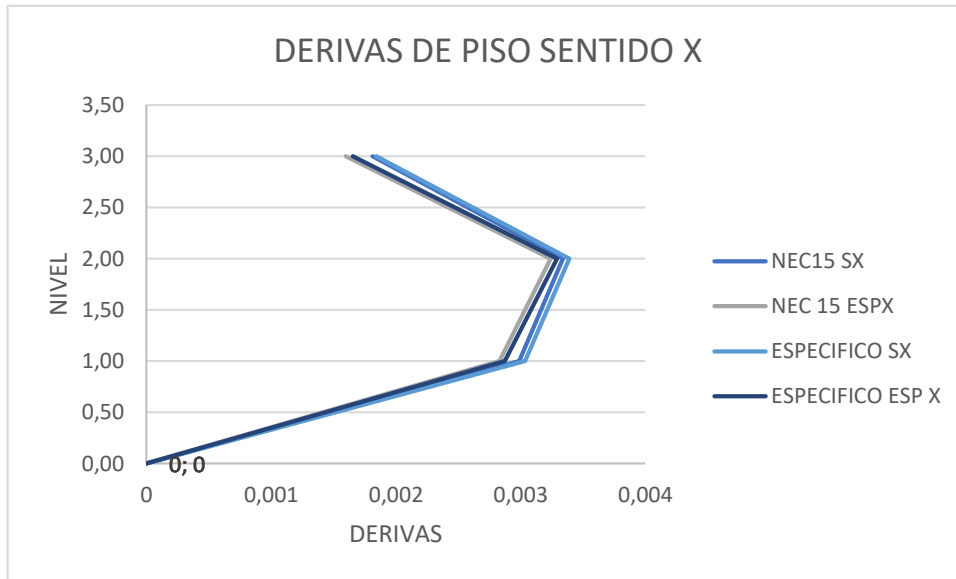
Se puede observar que las derivas dinámicas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

Como se puede observar el resultado de las derivas dinámicas muestra un porcentaje más elevado en ambos sentidos con el espectro específico hallado en este estudio.

Cabe recalcar que para este período de T=0.35 la comparación entre espectros ha mostrado que la estructura debe ser diseñada para soportar una carga sísmica más elevada de acuerdo al espectro específico hallado en este estudio.

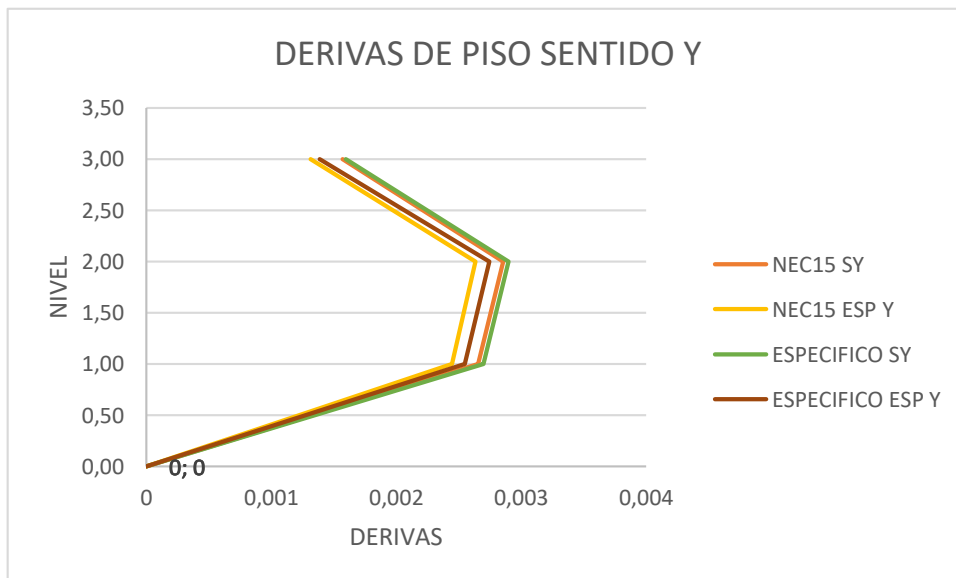
4.2.9.1.15 Comparación entre derivas de piso

Ilustración 83 Comparación entre derivas sentido x



Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 84 Comparación de derivas sentido y

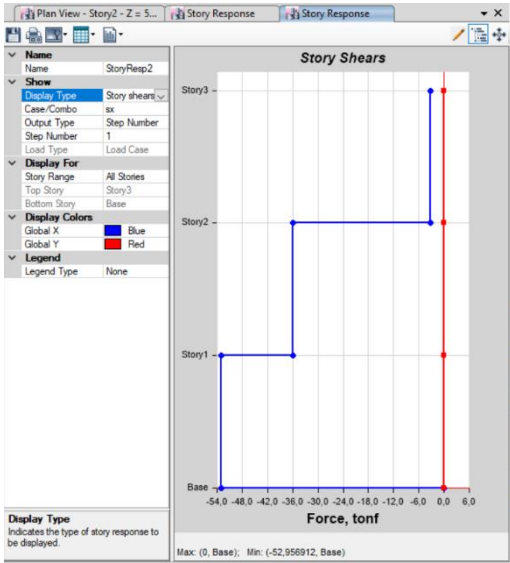
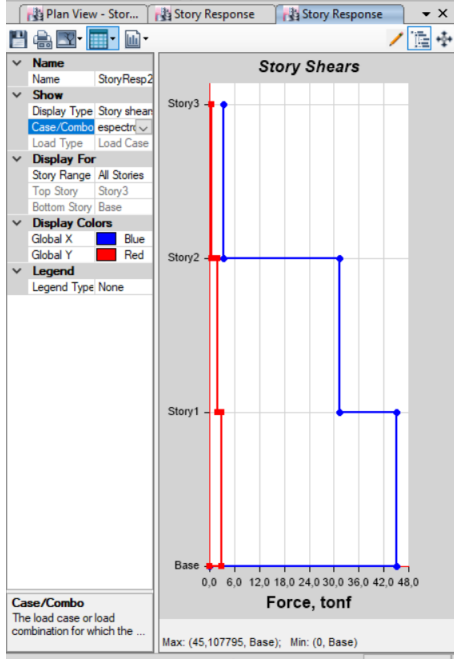


Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar que la mayor deriva es producida por espectro específico sx.

Se puede observar que no son muy distantes los valores entre las derivas de la NEC15 y el espectro específico.

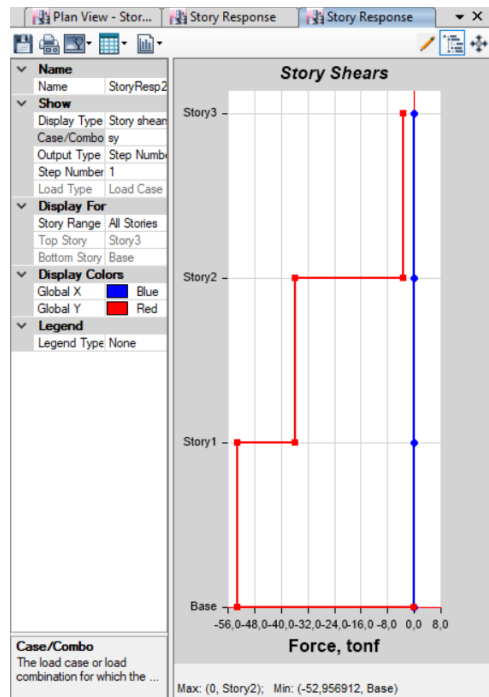
4.2.9.1.16 Verificación de cortantes con NEC 15

| CORTANTE X NEC 15 | |
|---|--|
| <p><i>Ilustración 85 Cortante estático X NEC15</i></p>  <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> | <p><i>Ilustración 86 Cortante dinámico X NEC15</i></p>  <p><i>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> |
| Cortante Estático (VE) X=52,9569 | Cortante Dinámico (VD) X=45,1077 |
| Se debe verificar que VD sea al menos 80% VE | |
| $52,9569 * 0,8 = 42,36$ $45,1077 > 42,36$ OK | |

Se puede observar que el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático.

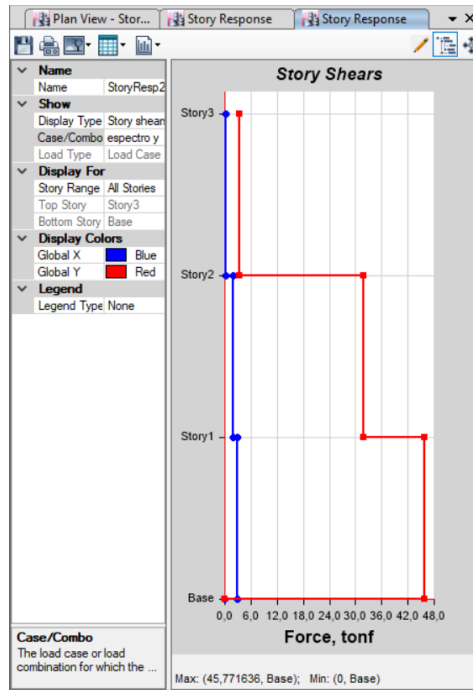
CORTANTE Y NEC 15

Ilustración 87 Cortante estático Y NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 88 Cortante dinámico Y NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático (VE) Y=52,9569

Cortante Dinámico (VD) Y=45,771636

Se debe verificar que VD sea al menos 80% VE

$$52,9569 * 0,8 = 42,36$$

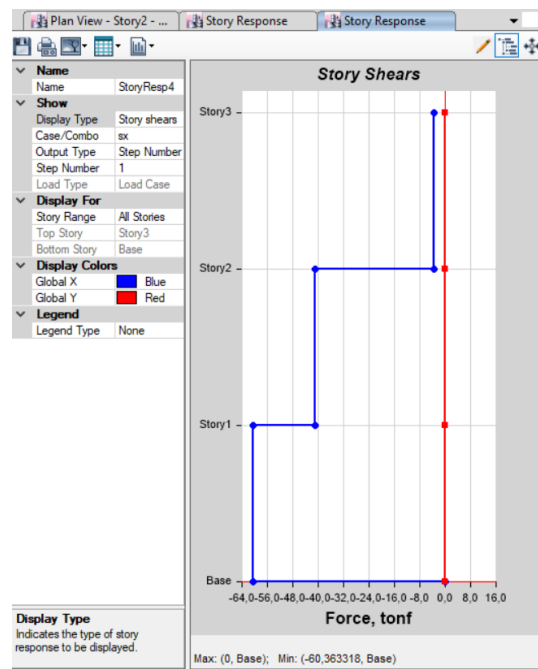
$$45,771636 > 42,36 \text{ OK}$$

Se puede observar que el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático.

4.2.9.1.17 Verificación de cortantes con Espectro específico

CORTANTE X Específico El Recreo

Ilustración 89 Cortante estático X Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 90 Cortante dinámico X Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático (VE) X=60,363

Cortante Dinámico (VD) X=51,3842

Se debe verificar que VD sea al menos 80% VE

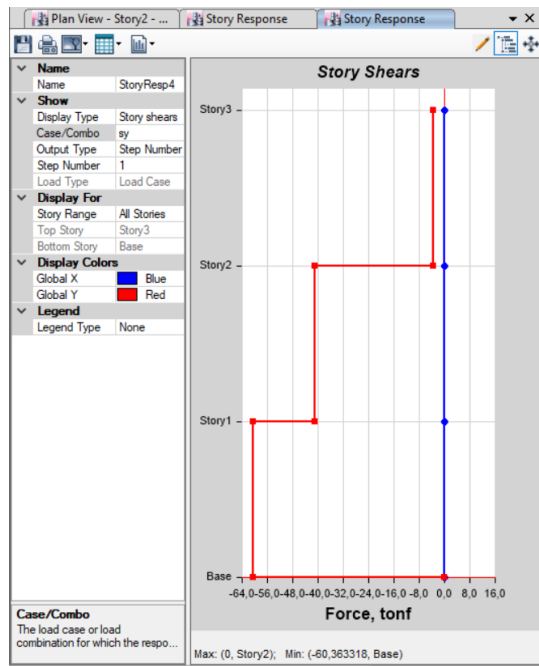
$$60,363 * 0,8 = 48,29$$

$$51,38 > 48,29 \text{ OK}$$

Se puede observar que el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático.

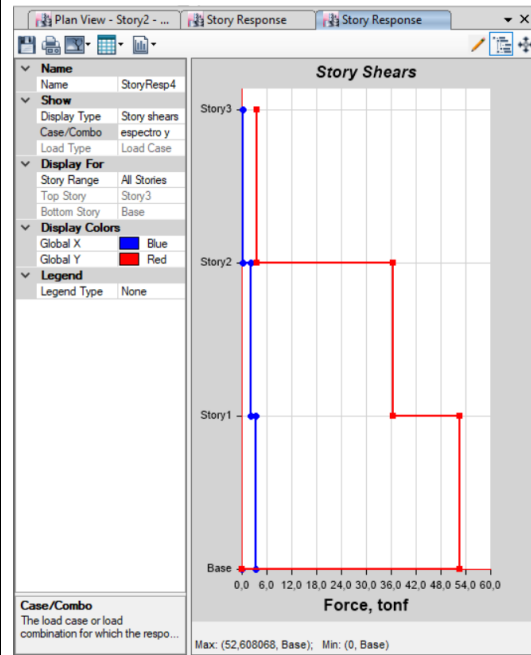
CORTANTE Y Específico El Recreo

Ilustración 91 Cortante estático Y Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 92 Cortante dinámico Y Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático (VE) X=60,363

Cortante Dinámico (VD) X=52,608

Se debe verificar que VD sea al menos 80% VE

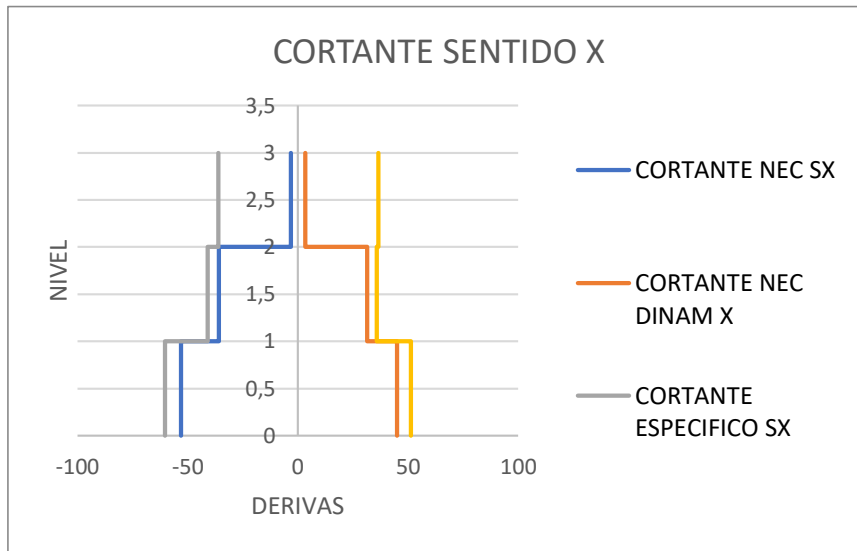
$$60,363 * 0,8 = 48,29$$

$$52,61 > 48,29 \text{ OK}$$

Se puede observar que el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático.

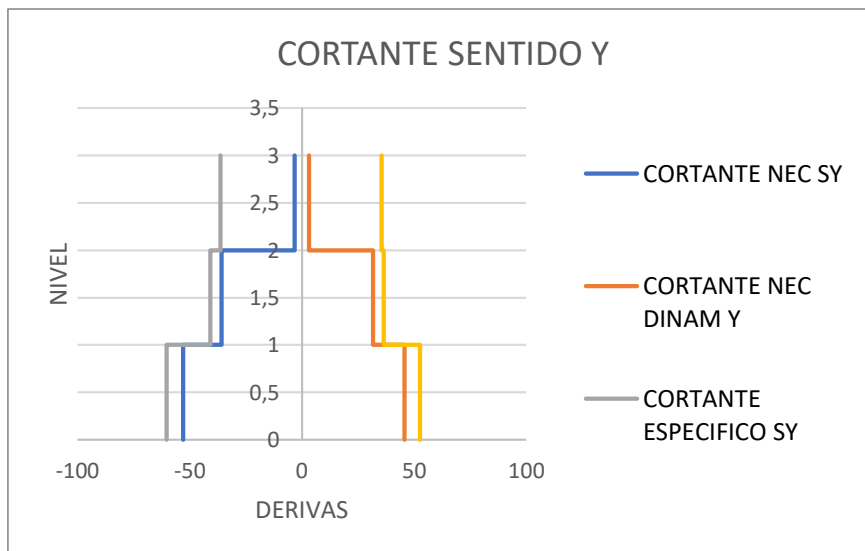
4.2.9.1.18 Comparación de cortantes

Ilustración 93 Comparación de cortantes x



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 94 Comparación de cortantes sentido y



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar en ambos sentidos que los cortantes mayores son producidos por el espectro específico.

4.2.9.2 Hotel Titánic

4.2.9.2.1 Descripción

La estructura analizada es de Hormigón armado, consta de 3 plantas y terraza accesible. La composición estructural está clasificada de columnas de 35*35, vigas peraltadas de 30*35 y losa de e=20cm con una altura de entrepiso de 3,20cm.

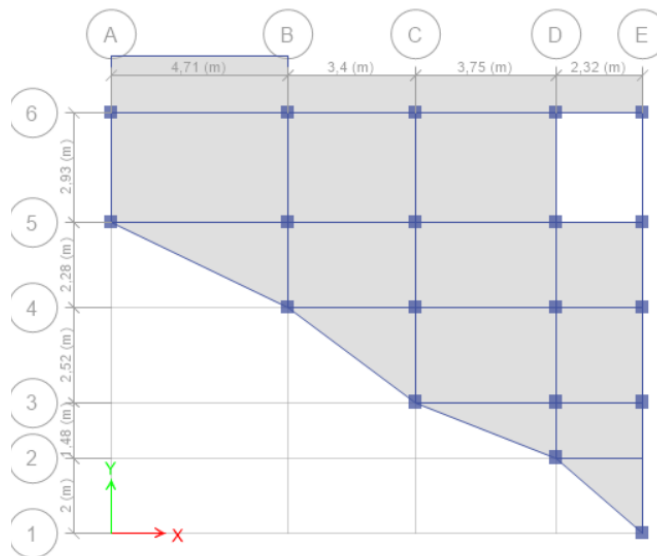
Se ha tomado para este estudio las medidas en planta y elevación, las mismas que han sido llevadas al programa ETAB's para su correcto análisis y comparación entre el comportamiento de dicha estructural con el espectro normado por la NEC que le corresponde o su comportamiento con el espectro específico de lugar que en este estudio se ha calculado.

Tabla 54. Áreas en planta de la estructura del Hotel Titánic

| ÁREAS EN PLANTA | | | | |
|---------------------------------|----|--------|----------|---------------|
| UBICACION | U | AREA | CANTIDAD | TOTAL |
| LOSA N +3,20; N +6,40; N +9,60. | m2 | 113,15 | 3 | 339,45 |
| LOSA N +12,80 tapagrada | m2 | 176,58 | 1 | 6,80 |
| Area Total | | | | 346,25 |

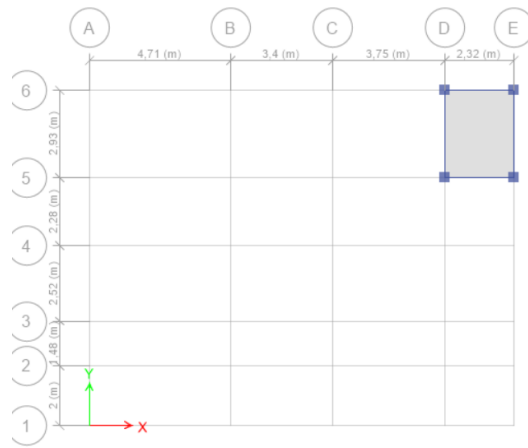
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 95 Vista en planta LOSA N +3,20; N +6,40; N +9,60.



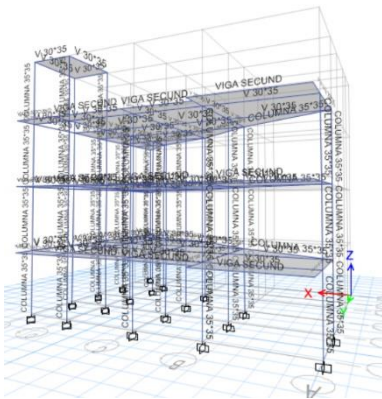
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 96 Vista en planta LOSA N +12,80 Tapagrada,



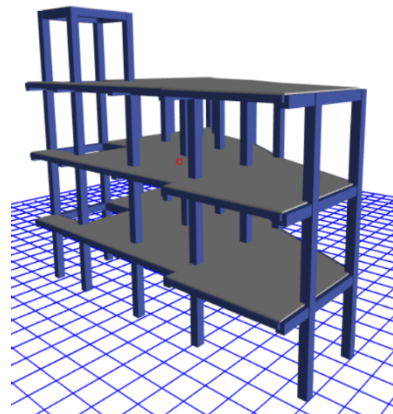
Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 97 Distribución estructural vista en 3D



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 98 Vista Render de la estructura



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 99 Hotel Titánic



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.2.2 Carga

Para el cálculo de las cargas que serán ingresadas a la estructura se ha realizado un análisis del peso de las losas, mamposterías, acabados y carga viva, basados en las cargas establecidas por el código que nos rige, de acuerdo a los planos arquitectónicos.

CARGA MUERTA

La carga muerta será considerada todos los pesos inamovibles de la estructura tales como peso propio de los elementos estructurales, pesos de las mamposterías, acabados e instalaciones.

El peso propio de los elementos los determina el programa automáticamente por la condición de la carga DEAD que tiene el programa ETABs, la cual determina automáticamente esta condición.

Para los pesos de las mamposterías se ha tomado en consideración el 75% del peso de la carga muerta.

Tabla 55. Cálculo del peso total de la carga soportada

| Elemento | Unidad | hm | Espesor (m) | longitud | Peso específico γ kg/cm ³ | Peso /m ² | Unidad |
|---|----------------|--------------------------|-----------------------------------|----------|---|----------------------|-------------------|
| Peso propio loseta | | 1 | 0,05 | 1 | 2400 | 120 | |
| Peso Propio nervios | | 0,15 | 0,1 | 3,6 | 2400 | 129,6 | |
| Peso propio alivianamientos | 8 | | | | 8 | 64 | |
| Peso propio alisado superior | | 1 | 0,045 | 1 | 1900 | 85,5 | |
| Peso propio alisado inferior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Peso propio acabados | | 1 | 0,02 | 1 | 1600 | 32 | |
| | | | | | | 431,1 | kg/m ² |
| CARGA MUERTA= 431,1 kg/m ² + 75% (efecto paredes y ventanas) | | | | | | | |
| acm=64 de alivianamientos+85,5peso alisado y 32 peso de acabados+75%431,1 paredes=504,85kg/m ² | | | | | | | |
| CARGA MUERTA= | 754,425 | kg/m ² | | | | | |
| CARGA VIVA PARA HOTEL = | 200 | kg/cm² | Según [NEC SE_CG. TABLA 9] | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 100. IMAGEN DE CARGA VIVA PARA HOTEL NEC15

| Residencias | | |
|--|--|------|
| Viviendas (unifamiliares y bifamiliares) | | 2.00 |
| Hoteles y residencias multifamiliares | | 2.00 |
| Habitaciones | | 4.80 |
| Salones de uso público y sus corredores | | |

Fuente NEC15

Tabla 56. Cálculo del peso total de la carga para tapagrada

| CARGA MUERTA CUBIERTA | | |
|------------------------|------------------|--------------|
| Peso Propio de la losa | Programa calcula | kg/m2 |
| Instalaciones | 20 | kg/m2 |
| TOTAL | 164 | kg/m2 |
| CARGA VIVA CUBIERTA | | |
| C.V. | 70 | kg/m2 |
| TOTAL | 70 | kg/m2 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.2.3 Período estimado con la NEC 15 $T = Ct * hn^{\alpha}$

Donde:

Ct, para estructuras con pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras es 0,055.

hn, altura máxima del edificio es 12,80m.

α , para estructuras con pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras es 0,9.

$$T=0,055*12,80^{0,9}$$

$$T=0,5455$$

4.2.9.2.4 Período calculado por el software con el análisis modal

Ilustración 101 Períodos calculados por el software con análisis modal

| Modal Participating Mass Ratios | | |
|---------------------------------|------|------------|
| 1 de 12 ▶▶ Reload Apply | | |
| Case | Mode | Period sec |
| Modal | 1 | 0,443 |
| Modal | 2 | 0,399 |
| Modal | 3 | 0,375 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.2.5 Verificación del rango admisible en el período

$$T_{\text{estimado}}(s) < T_{\text{ETABS}}(S) < 1.3T_{\text{estimado}}(s)$$

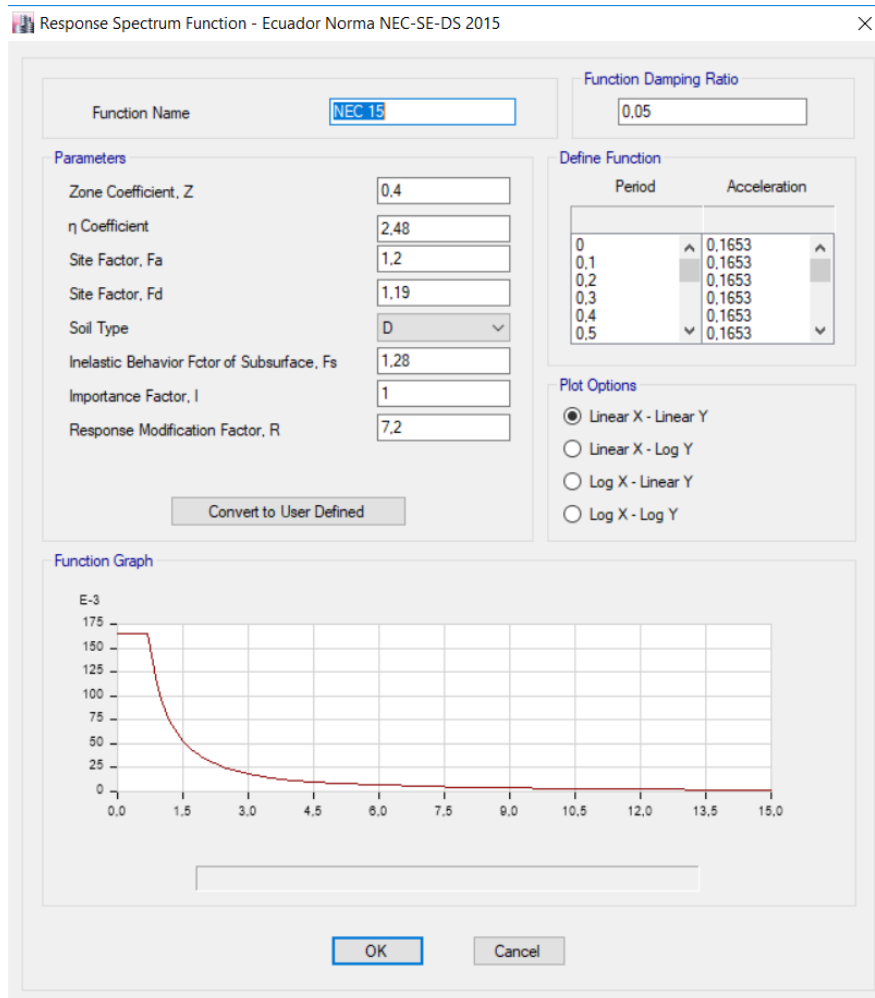
$$0.5455 > 0.443 < 0.709$$

Se puede observar que el período real de la estructura NO se encuentra en el rango admisible que considera la NEC15.

Esto muestra que la estructura es muy rígida.

4.2.9.2.6 Espectro NEC15 ingresado al programa

Ilustración 102 Espectro NEC 15 para el sector el Recreo suelo tipo D vigas peraltadas, R=8 e irregularidad en planta 0,9



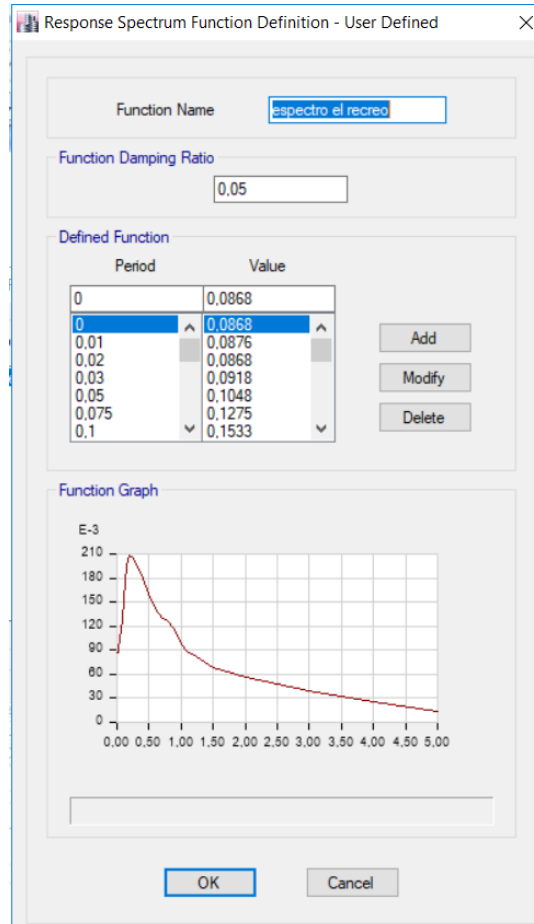
Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.2.7 Espectro específico hallado en este estudio.

Tabla 57. Espectro específico reducido $R=8$ para estructuras con vigas peraltadas

| T (s) | C (%g) |
|-------|------------|
| 0 | 0,08677383 |
| 0,01 | 0,08755366 |
| 0,02 | 0,08678248 |
| 0,03 | 0,09183457 |
| 0,05 | 0,10477398 |
| 0,075 | 0,12753672 |
| 0,1 | 0,15328529 |
| 0,15 | 0,19608141 |
| 0,2 | 0,20759946 |
| 0,25 | 0,20485575 |
| 0,3 | 0,19798692 |
| 0,4 | 0,17903095 |
| 0,5 | 0,16009427 |
| 0,6 | 0,14098457 |
| 0,7 | 0,12919827 |
| 0,8 | 0,12641318 |
| 0,9 | 0,11612991 |
| 1 | 0,09730123 |
| 1,1 | 0,08801947 |
| 1,25 | 0,08164676 |
| 1,5 | 0,06889528 |
| 2 | 0,05615404 |
| 2,5 | 0,04790489 |
| 3 | 0,03934592 |
| 4 | 0,02492287 |
| 5 | 0,01328182 |

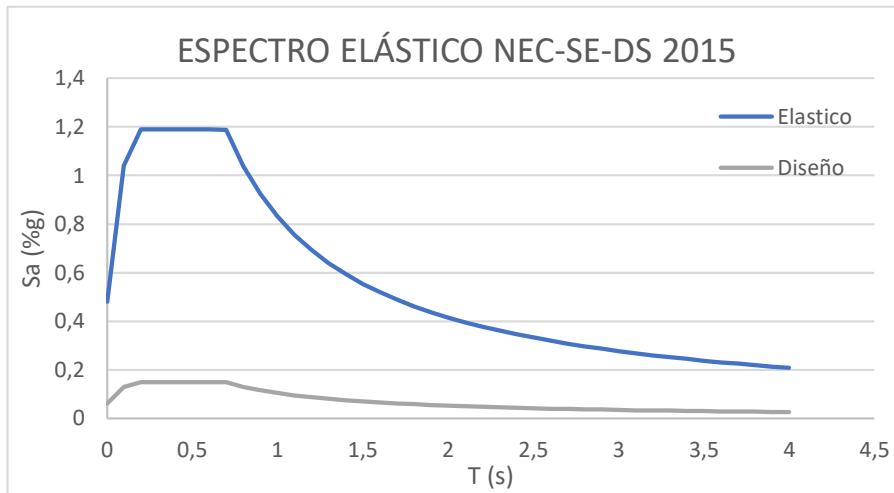
Ilustración 103 Espectro específico reducido $R=8$



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

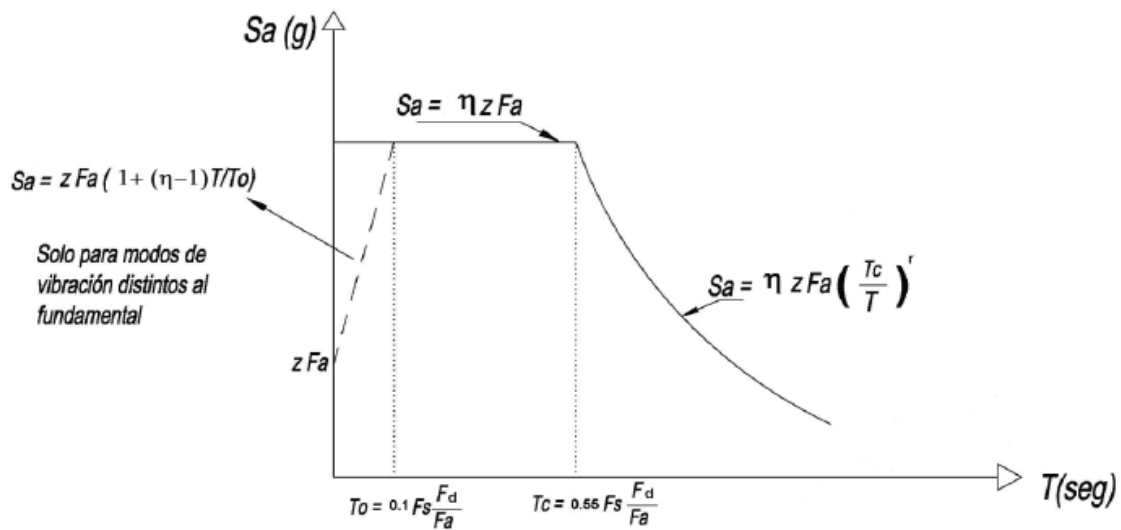
4.2.9.2.8 Cálculo de CORTANTE BASAL para el primer período con el espectro NEC 2015

Ilustración 104. Espectro NEC 2015 R=8



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 105 Fórmulas para calcular Sa según el período.



Fuente. NEC 2015

Tabla 58. Fórmulas para calcular el coeficiente k que depende del período

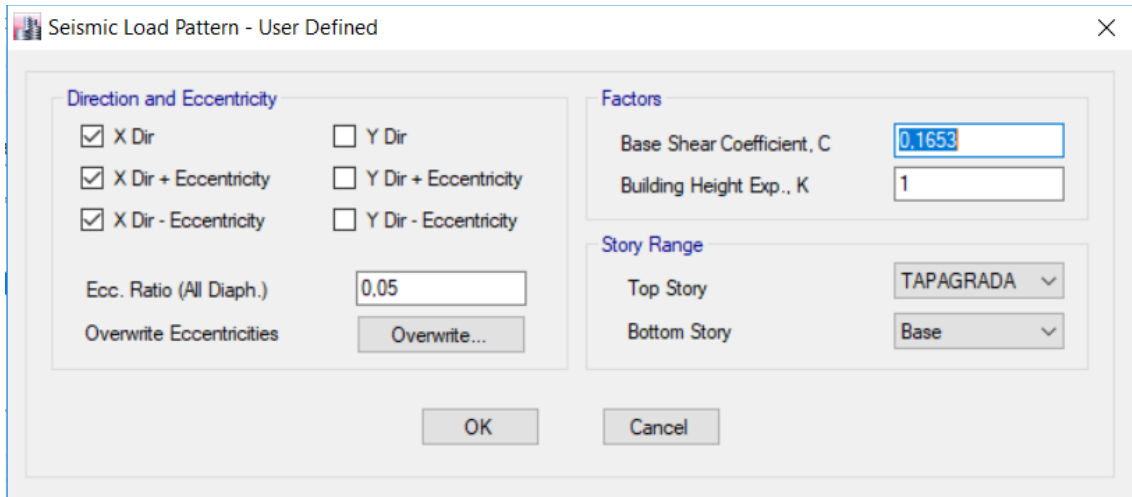
| Valores de T(s) | K |
|--------------------|----------------|
| $\leq 0,5$ | 1 |
| $0,5 < T \leq 2,5$ | $0,75 + 0,50T$ |
| $> 2,5$ | 2 |

Fuente. NEC 2015

Dando como resultado con $T = 0,443$ un $C(\%g) = 0,1653$ y $K = 1,00$

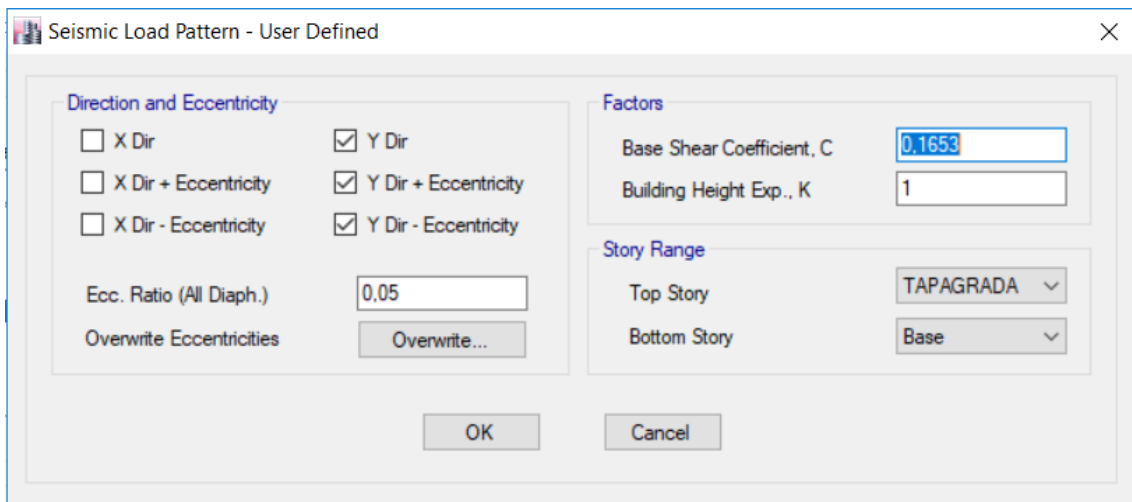
Estos valores se colocarán en la fuerza sísmica como se muestra a continuación.

Ilustración 106 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido x



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

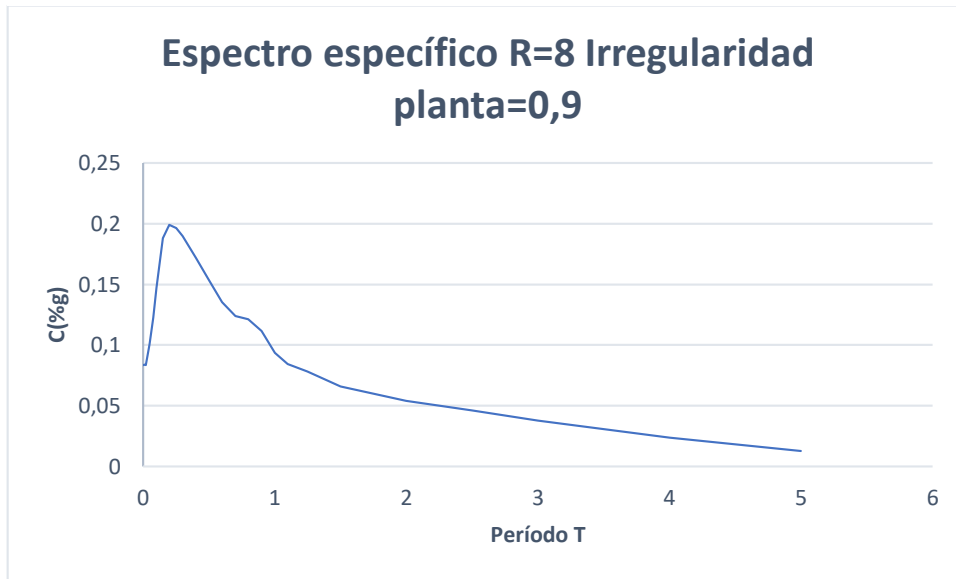
Ilustración 107 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido y



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.2.9 Cálculo de CORTANTE BASAL para el primer período con el espectro Específico

Ilustración 108 Espectro específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Con un período de $T = 0,443$ la curva nos muestra un $C(\%g) = 0,1645$ y $K=1$

Ilustración 109 Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico.

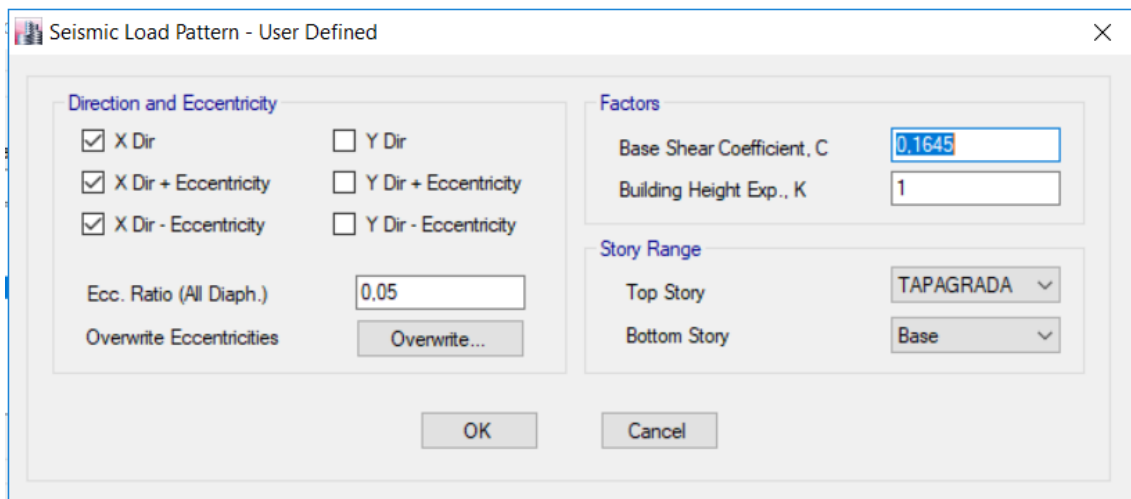


Ilustración 110. Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico.

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.2.10 Verificación de movimientos traslacionales en los 2 primeros modos de vibrar para un análisis modal

Tabla 59. Verificación de torsión con un análisis modal

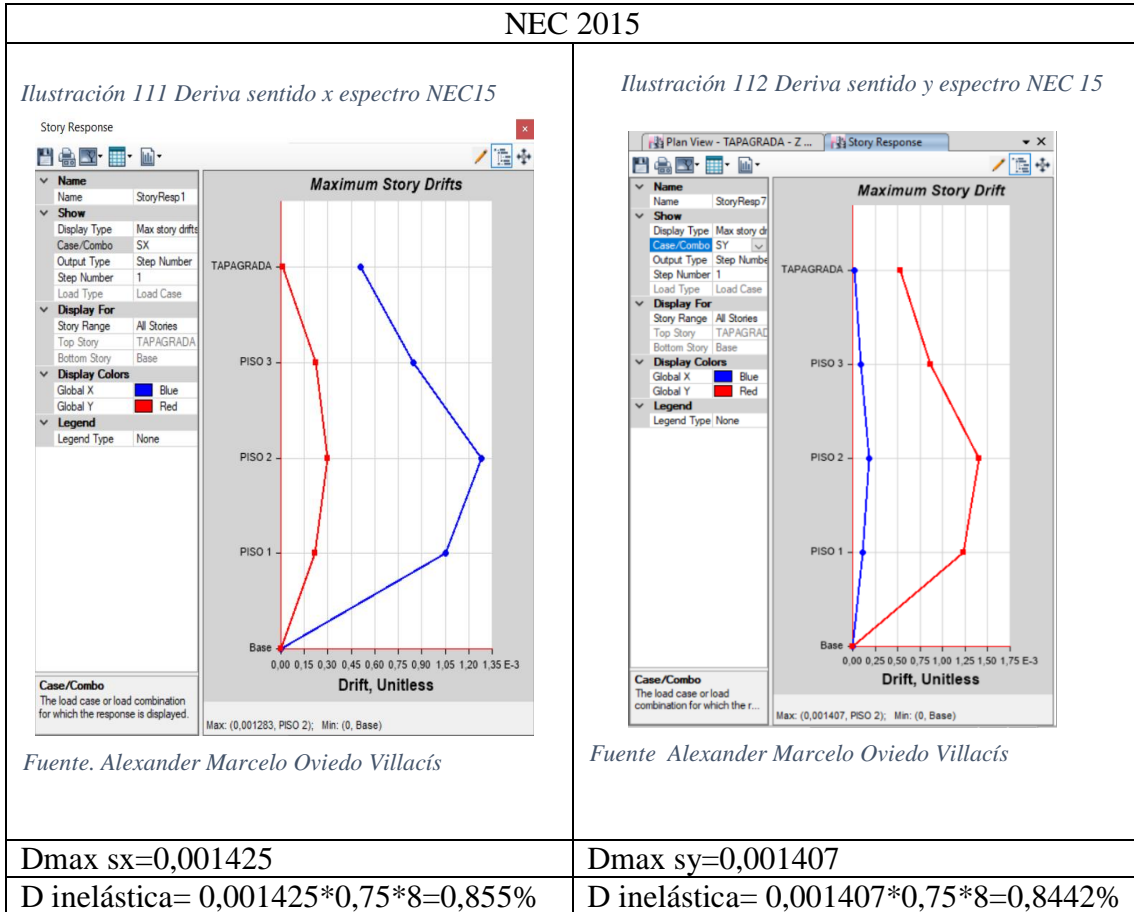
| | UX | UY | RZ | VERIFICACIÓN | CHECK |
|---|--------|--------|--------|--------------|---------|
| 1 | 0.3608 | 0.2181 | 0.292 | 80.93% | TORSIÓN |
| 2 | 0.3587 | 0.509 | 0.0032 | 0.628% | BIEN |
| 3 | 0.1467 | 0.1412 | 0.5684 | 387.45% | TORSIÓN |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar que no cumple con la verificación ya que en el primer período muestra torsión y esto es admisible a partir del tercer período.

4.2.9.2.11 Verificación de derivas estáticas con el espectro NEC 15

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$



Se puede observar que las derivas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

4.2.9.2.12 Verificación de derivas estáticas con el espectro Específico

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$

Espectro específico para el sector El Recreo

| Ilustración 113 Deriva sentido y espectro NEC 15 | Ilustración 114 Deriva sentido y espectro Específico |
|--|--|
| <p>Case/Combo The load case or load combination for which the res... Max: (0,001418, PISO 2); Min: (0, Base)</p> | <p>Case/Combo The load case or load combination for which the res... Max: (0,0014, PISO 2); Min: (0, Base)</p> |
| <p>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</p> | <p>Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís</p> |
| <p>Dmax sx=0,001418 D inelástica= 0,001418*0,75*8=0,85%</p> | <p>Dmax sy=0,0014 D inelástica= 0,0014*0,75*8=0,84%</p> |

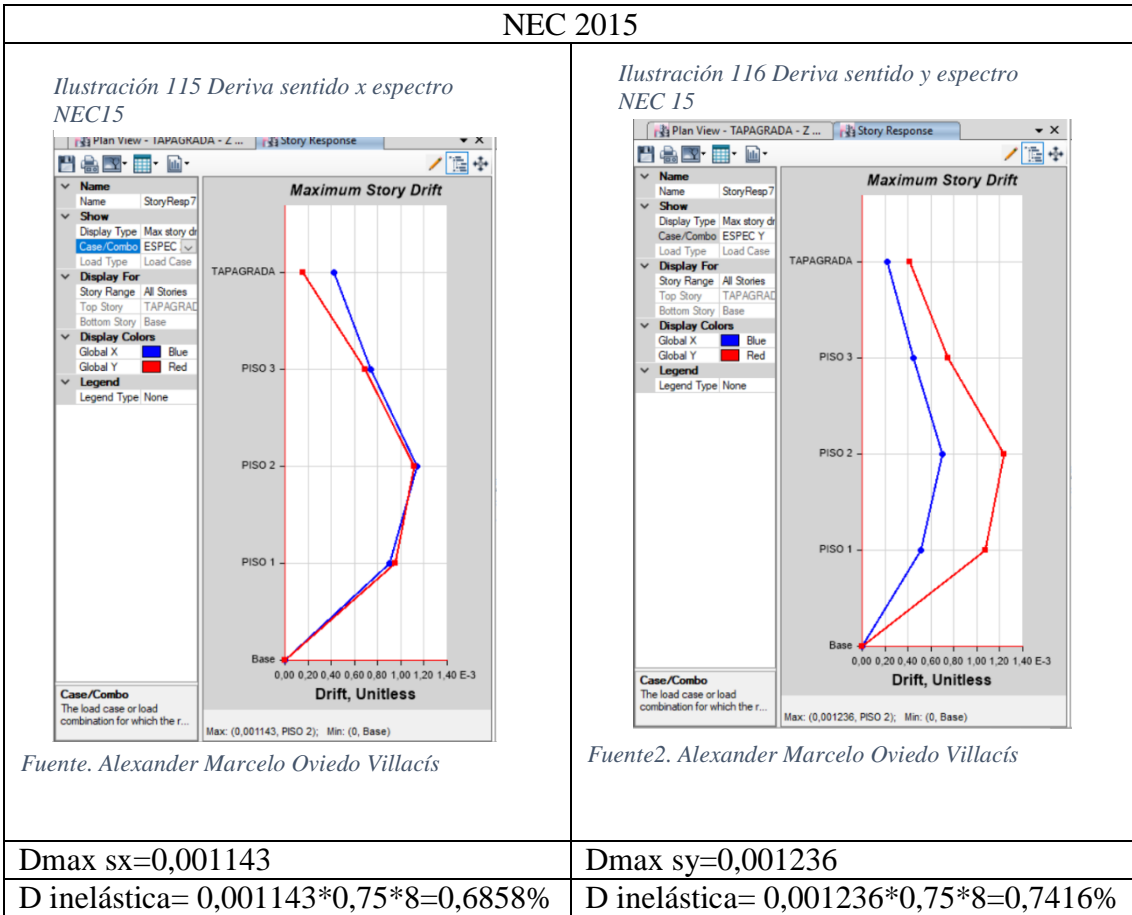
Se puede observar que las derivas estáticas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

Como se puede observar el resultado de las derivas estáticas muestra un porcentaje similar para este período

Cabe recalcar que para este período de T=0.443 la comparación entre espectros ha mostrado un comportamiento similar en ambos espectros.

4.2.9.2.13 Verificación de derivas dinámicas con el espectro NEC 15

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$



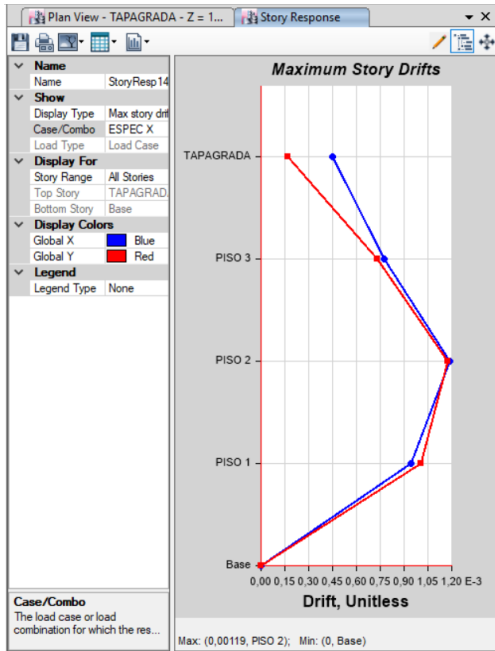
Se puede observar que las derivas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

4.2.9.2.14 Verificación de derivas dinámicas con el espectro Específico

$$\Delta ine = 0.75 * R * \Delta e$$

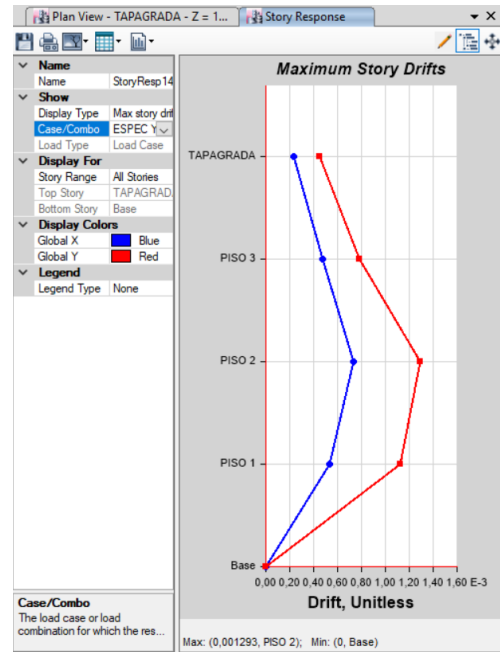
Espectro específico para el sector El Recreo

Ilustración 117 Deriva sentido x espectro Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 118 Deriva sentido y espectro Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Dmax sx=0,00119

Dmax sy=0,001293

D inelástica= 0,00119*0,75*8=0,714%

D inelástica= 0,001293*0,75*8=0,7758%

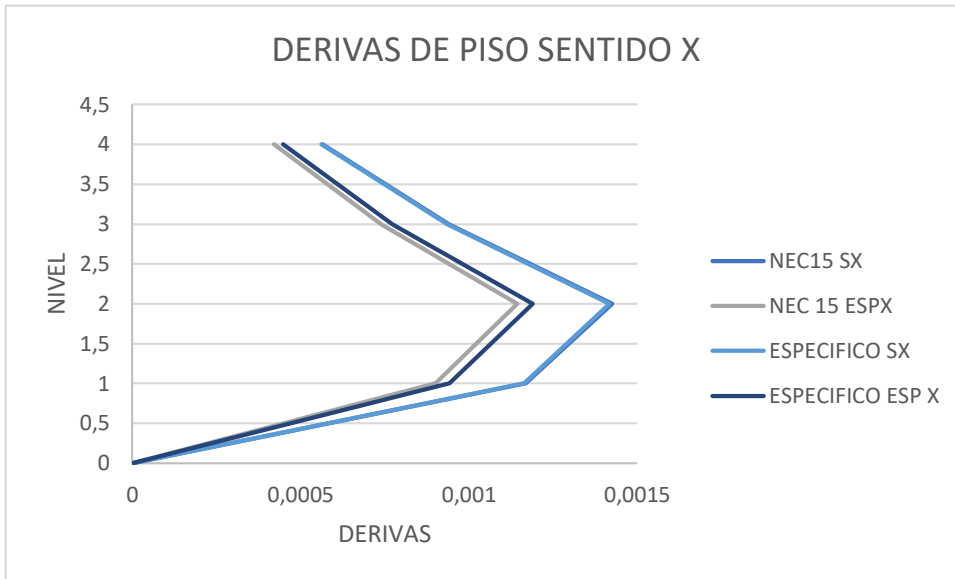
Se puede observar que las derivas dinámicas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

Como se puede observar el resultado de las derivas dinámicas muestra un porcentaje más elevado en ambos sentidos con el espectro específico hallado en este estudio.

Cabe recalcar que para este período de T=0.443 la comparación entre espectros ha mostrado que la estructura debe ser diseñada para soportar una carga sísmica más elevada de acuerdo al espectro específico hallado en este estudio.

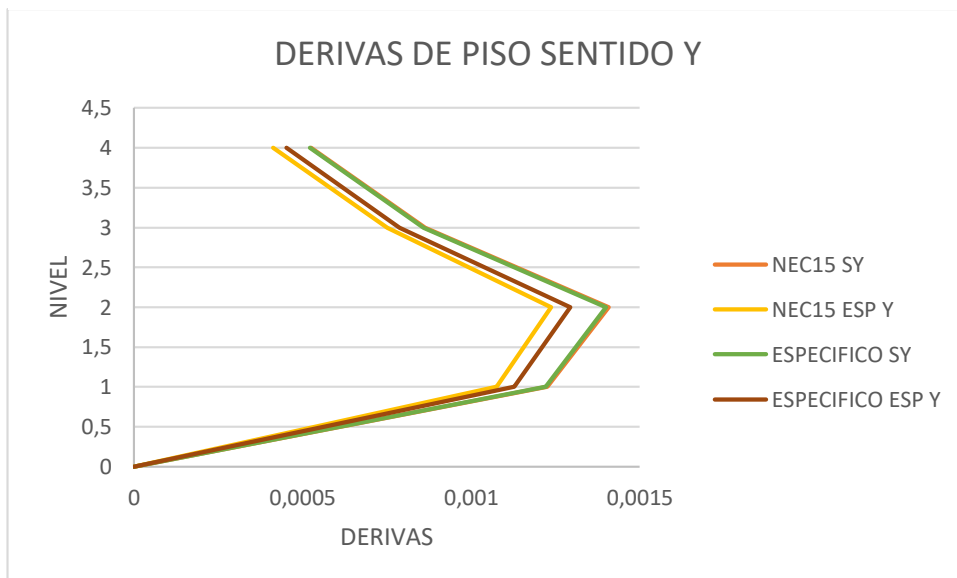
4.2.9.2.15 Comparación entre derivas de piso

Ilustración 119. Comparación entre derivas sentido x



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 120 Comparación de derivas sentido y



Fuente 3. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

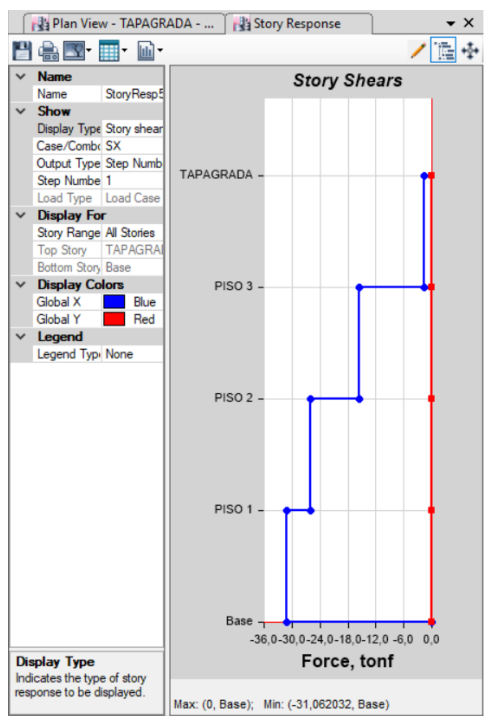
Se puede observar que la mayor deriva es producida por espectro específico sx.

Se puede observar que no son muy distantes los valores entre las derivas de la NEC15 y el espectro específico.

4.2.9.2.16 Verificación de cortantes con NEC 15

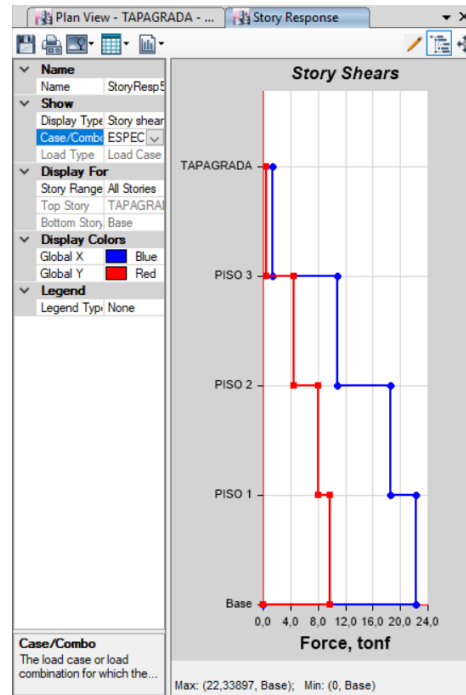
CORTANTE X NEC 15

Ilustración 121 Cortante estático X NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 122 Cortante dinámico X NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático (VE) X=31,062

Cortante Dinámico (VD) X=22,33897

Se debe verificar que VD sea al menos 85% VE

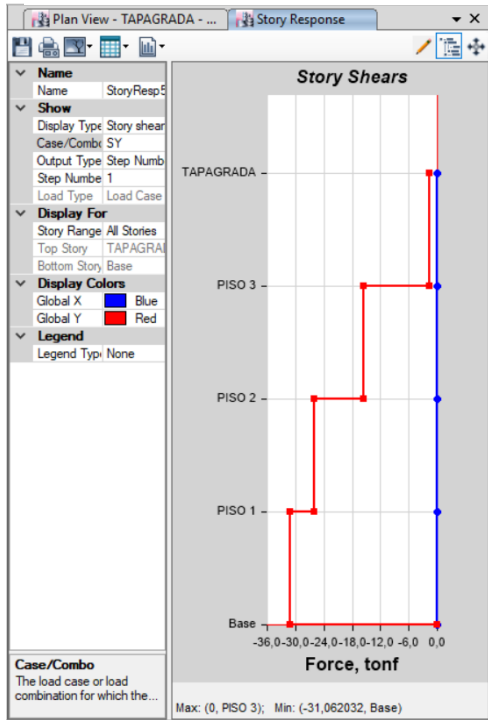
$$31,062 * 0,85 = 26,40$$

$$22,33897 > 26,40 \text{ no cumple}$$

Se puede observar que el cortante dinámico no es mayor al 85% del cortante estático.

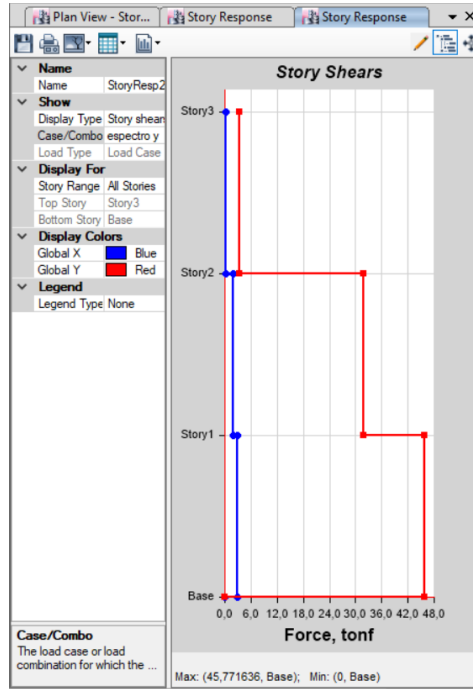
CORTANTE Y NEC 15

Ilustración 123 Cortante estático Y NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 124 Cortante dinámico Y NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático (VE) Y=31,062

Cortante Dinámico (VD) Y=23,31

Se debe verificar que VD sea al menos 85% VE

$$31,062 * 0,85 = 26,40$$

$$23,31 < 26,40 \text{ no cumple}$$

Se puede observar que el cortante dinámico no es mayor al 85% del cortante estático.

4.2.9.2.17 Verificación de cortantes con Espectro específico

CORTANTE X Específico El Recreo

Ilustración 125. Cortante estático X Específico

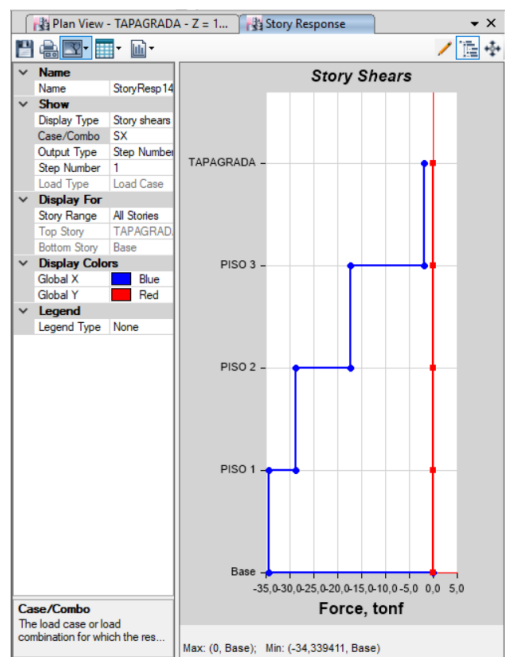
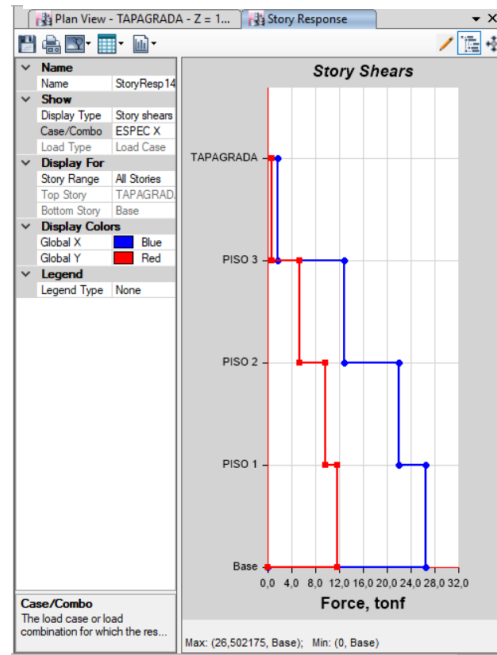


Ilustración 126 Cortante dinámico X Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático (VE) X=34,33

Cortante Dinámico (VD) X=26,50

Se debe verificar que VD sea al menos 85% VE

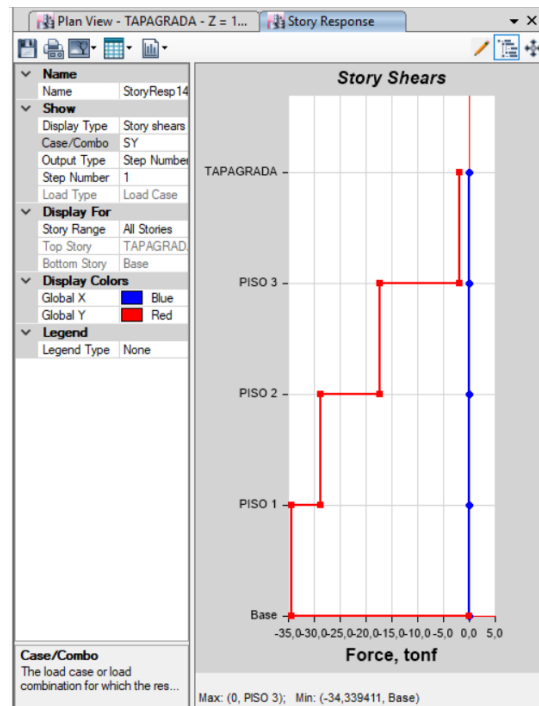
$$34,33 \cdot 0,85 = 29,18$$

$$26,50 < 29,18 \text{ no cumple}$$

Se puede observar que el cortante dinámico no es mayor al 85% del cortante estático.

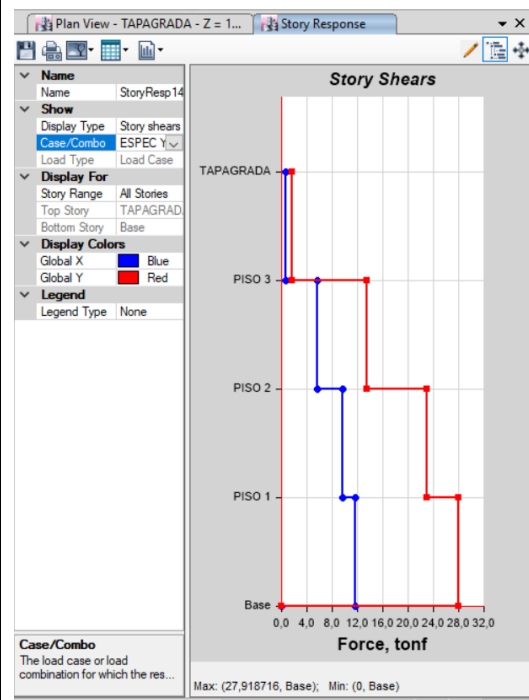
CORTANTE Y Específico El Recreo

Ilustración 127 Cortante estático Y Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 128. Cortante dinámico Y Específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático (VE) X=34,33

Cortante Dinámico (VD) X=27,91

Se debe verificar que VD sea al menos 85% VE

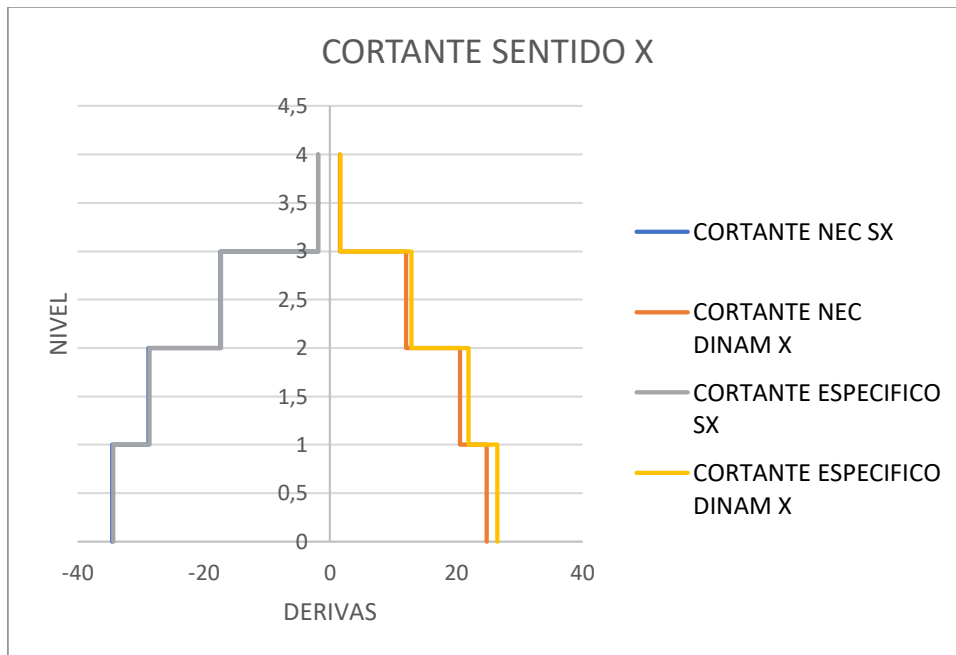
$$34,33 * 0,85 = 29,18$$

$$27,91 < 29,18 \text{ no cumple}$$

Se puede observar que el cortante dinámico no es mayor al 85% del cortante estático.

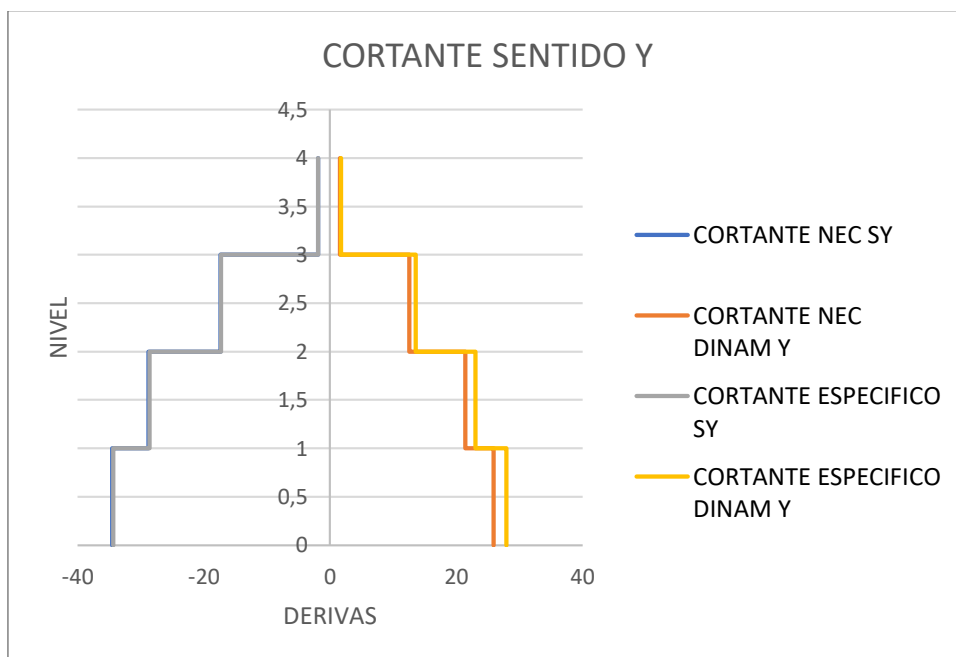
4.2.9.2.18 Comparación entre cortantes

Ilustración 129 Comparación de cortantes sentido x



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 130 Comparación de cortantes sentido y



Fuente 4. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar en ambos sentidos que los cortantes mayores son producidos por el espectro específico.

4.2.9.3 Hogar de la señora Wilma Molina

4.2.9.3.1 Descripción

La estructura analizada es de Hormigón armado, consta de 2 plantas y terraza accesible. La composición estructural está clasificada de columnas de 30*30, vigas banda de 35*20 y losa de e=20cm con una altura de entrepiso de 2,70cm.

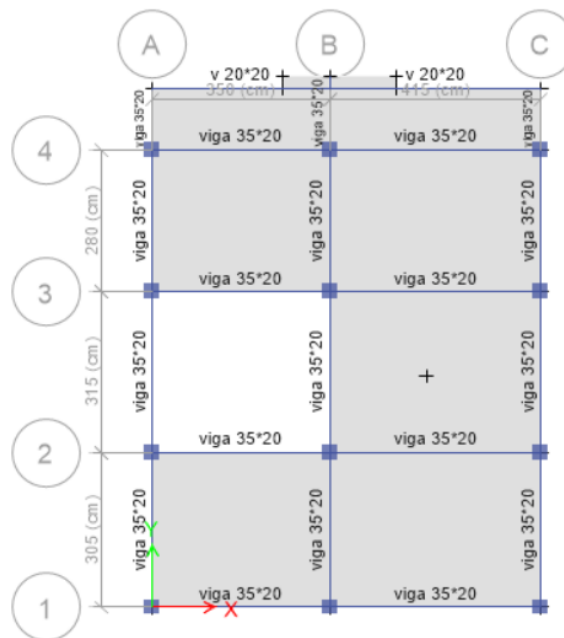
Se ha tomado para este estudio las medidas en planta y elevación, las mismas que han sido llevadas al programa ETAB's para su correcto análisis y comparación entre el comportamiento de dicha estructural con el espectro normado por la NEC que le corresponde o su comportamiento con el espectro específico de lugar que en este estudio se ha calculado.

Tabla 60. Áreas en planta de la estructura de la señora Beatriz Lascano

| ÁREAS EN PLANTA | | | | |
|------------------------|----|-------|-------------------|---------------|
| UBICACION | U | AREA | CANTIDAD | TOTAL |
| LOSA N +2,70 y N +5,40 | m2 | 78,63 | 2 | 157,26 |
| LOSA N +8,10 tapagrada | m2 | 11,03 | 1 | 11,03 |
| | | | Area Total | 168,29 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 131. Vista en planta LOSA N +2.70 y N +5.40



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 132 Vista en planta LOSA N +8,10 Tapagrada

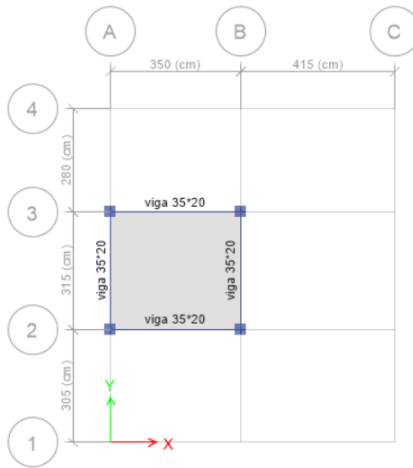
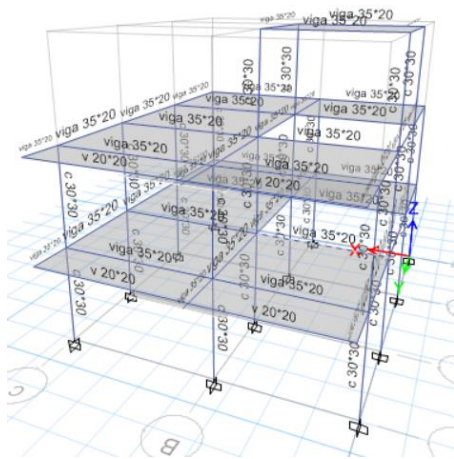
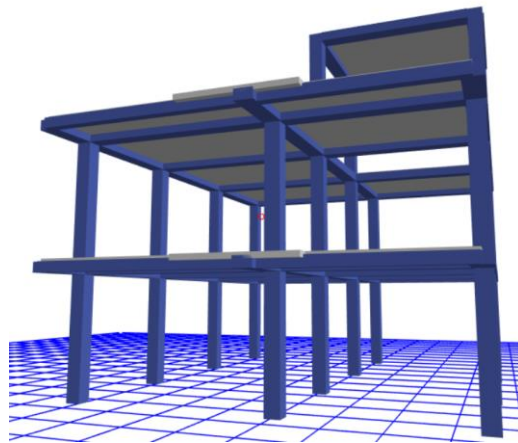


Ilustración 133 Vista Render de la estructura

Ilustración 134 . Distribución estructural vista en 3D



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 135 Domicilio de la señora Beatriz Lascano



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.3.2 Carga

Para el cálculo de las cargas que serán ingresadas a la estructura se ha realizado un análisis del peso de las losas, mamposterías, acabados y carga viva, basados en las cargas establecidas por el código que nos rige, de acuerdo a los planos arquitectónicos.

CARGA MUERTA

La carga muerta será considerada todos los pesos inamovibles de la estructura tales como peso propio de los elementos estructurales, pesos de las mamposterías, acabados e instalaciones.

El peso propio de los elementos los determina el programa automáticamente por la condición de la carga DEAD que tiene el programa ETABs, la cual determina automáticamente esta condición.

Para los pesos de las mamposterías se ha tomado en consideración el 75% del peso de la carga muerta.

Tabla 61. Cálculo del peso total de la carga soportada

| Elemento | Unidad | hm | Espesor (m) | longitud | Peso específico γ kg/cm ³ | Peso /m ² | Unidad |
|---|----------------|--------------------|-----------------------------------|----------|---|----------------------|-------------------|
| Peso propio loseta | | 1 | 0,05 | 1 | 2400 | 120 | |
| Peso Propio nervios | | 0,15 | 0,1 | 3,6 | 2400 | 129,6 | |
| Peso propio alivianamientos | 8 | | | | 8 | 64 | |
| Peso propio alisado superior | | 1 | 0,045 | 1 | 1900 | 85,5 | |
| Peso propio alisado inferior | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Peso propio acabados | | 1 | 0,02 | 1 | 1600 | 32 | |
| | | | | | | 431,1 | kg/m ² |
| CARGA MUERTA= 431,1 kg/m ² + 75% (efecto paredes y ventanas) | | | | | | | |
| acm=64 de alivianamientos+85,5peso alisado y 32 peso de acabados+75%431,1 paredes=504,85kg/m ² | | | | | | | |
| CARGA MUERTA= | 754,425 | kg/m ² | | | | | |
| CARGA VIVA PARA RESIDENCIAL = | 200 | kg/cm ² | Según [NEC SE_CG. TABLA 9] | | | | |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Tabla 62. Cálculo del peso total de la carga para tapagrada

| CARGA MUERTA CUBIERTA | | |
|------------------------------|------------------|-------------------------|
| Peso Propio de la losa | Programa calcula | kg/m ² |
| Instalaciones | 20 | kg/m ² |
| TOTAL | 164 | kg/m² |
| CARGA VIVA CUBIERTA | | |
| C.V. | 70 | kg/m ² |
| TOTAL | 70 | kg/m² |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.3.3 Período estimado con la NEC 15 $T = Ct * hn^\alpha$

Donde:

Ct, para estructuras con pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras es 0,055.

hn, altura máxima del edificio es 8,10m.

α , para estructuras con pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras es 0,9.

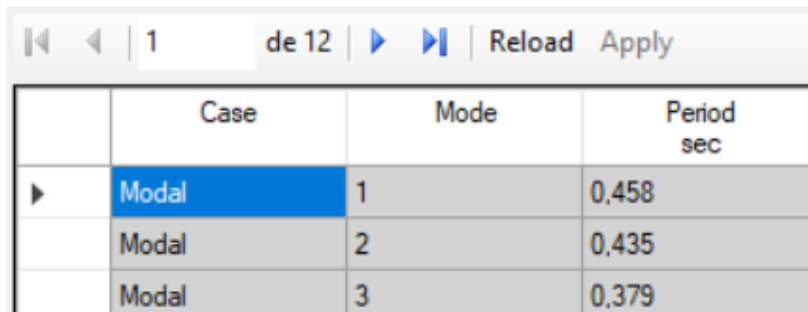
$$T=0,055*8,10^{0,9}$$

$$T=0,3614$$

4.2.9.3.4 Período calculado por el software con el análisis modal

Ilustración 136 Períodos calculados por el software con análisis modal

Modal Participating Mass Ratios



| | Case | Mode | Period sec |
|---|-------|------|------------|
| ▶ | Modal | 1 | 0,458 |
| | Modal | 2 | 0,435 |
| | Modal | 3 | 0,379 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.3.5 Verificación del rango admisible en el período

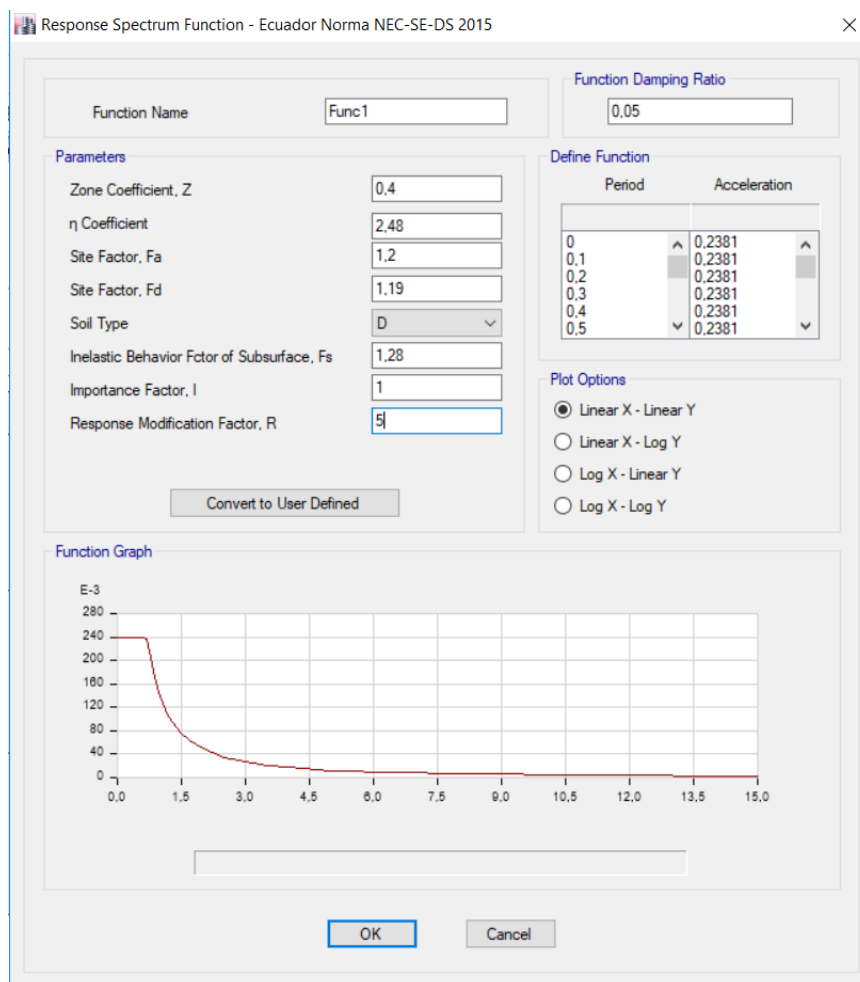
$$T_{\text{estimado}}(s) < T_{\text{ETABS}}(S) < 1.3T_{\text{estimado}}(s)$$

$$0.3614 < 0.458 < 0.4698$$

Se puede observar que el período real de la estructura se encuentra en el rango admisible que considera la NEC15.

4.2.9.3.6 Espectro NEC15 ingresado al ETABS

Ilustración 137. Espectro NEC 15 para el sector el Recreo suelo tipo D vigas banda, $R=5$



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

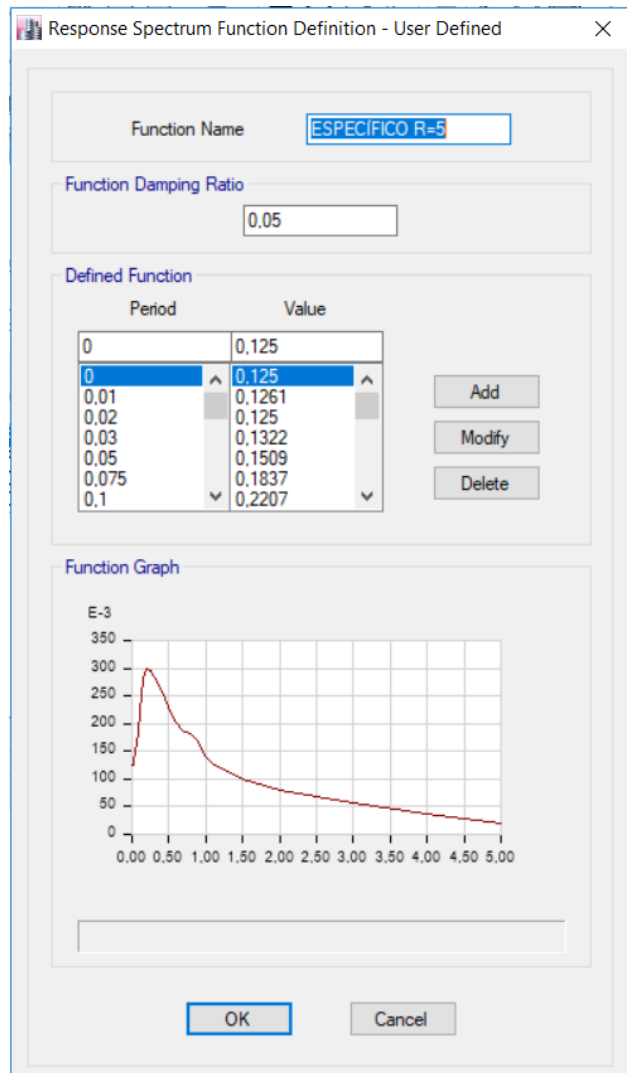
4.2.9.3.7 Período calculado por el software con el espectro específico hallado en este estudio.

Tabla 63. Espectro específico reducido R=5 para estructuras con vigas banda

| T (s) | C (%g) |
|-------|------------|
| 0 | 0,12495431 |
| 0,01 | 0,12607727 |
| 0,02 | 0,12496678 |
| 0,03 | 0,13224178 |
| 0,05 | 0,15087453 |
| 0,075 | 0,18365287 |
| 0,1 | 0,22073082 |
| 0,15 | 0,28235723 |
| 0,2 | 0,29894322 |
| 0,25 | 0,29499229 |
| 0,3 | 0,28510116 |
| 0,4 | 0,25780457 |
| 0,5 | 0,23053574 |
| 0,6 | 0,20301778 |
| 0,7 | 0,18604551 |
| 0,8 | 0,18203498 |
| 0,9 | 0,16722708 |
| 1 | 0,14011377 |
| 1,1 | 0,12674803 |
| 1,25 | 0,11757133 |
| 1,5 | 0,09920921 |
| 2 | 0,08086182 |
| 2,5 | 0,06898304 |
| 3 | 0,05665813 |
| 4 | 0,03588894 |
| 5 | 0,01912582 |

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

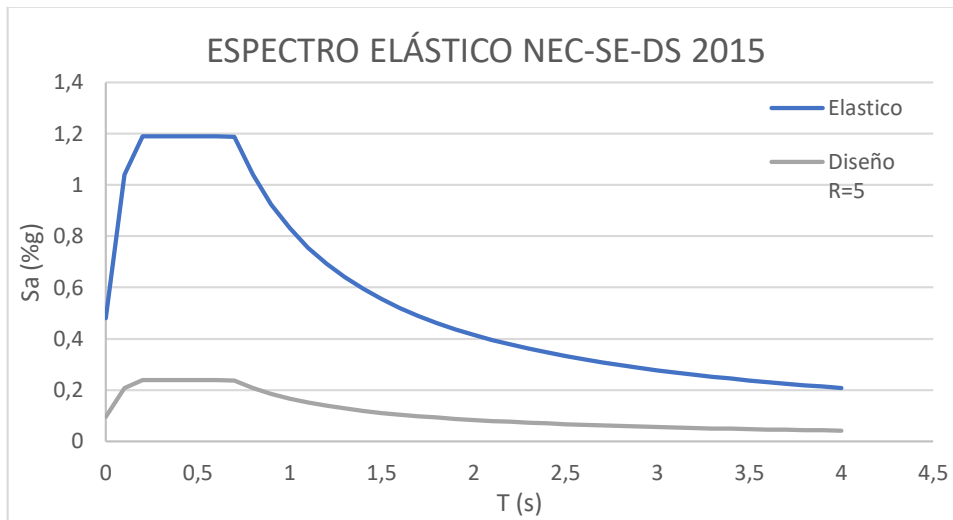
Ilustración 138 Espectro específico reducido R=5



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

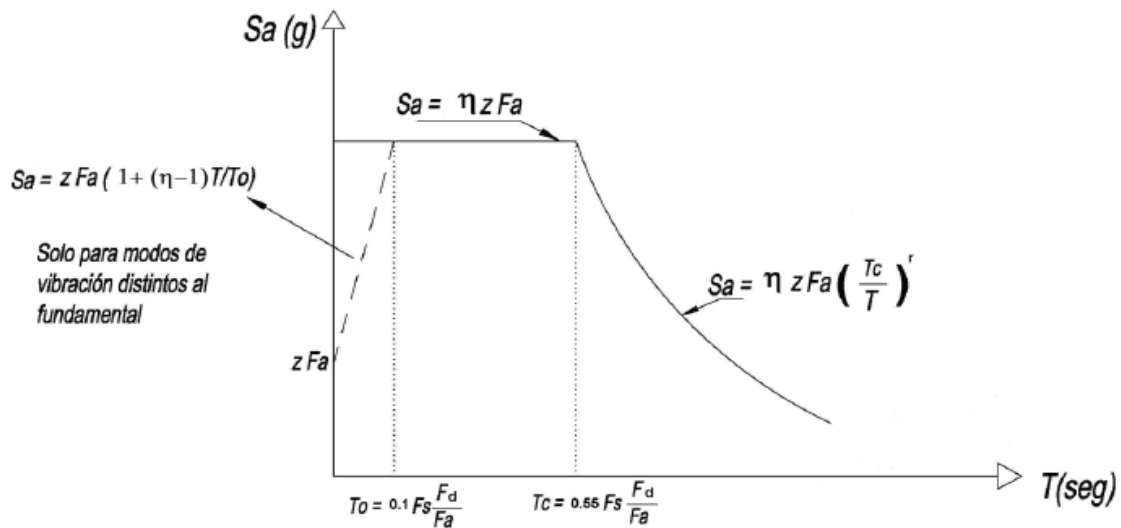
4.2.9.3.8 Cálculo de CORTANTE BASAL para el primer período con el espectro NEC 2015

Ilustración 139. Espectro NEC 2015 R=5



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 140 Fórmulas para calcular Sa según el período.



Fuente: NEC 15

Tabla 64. Fórmulas para calcular el coeficiente k que depende del período

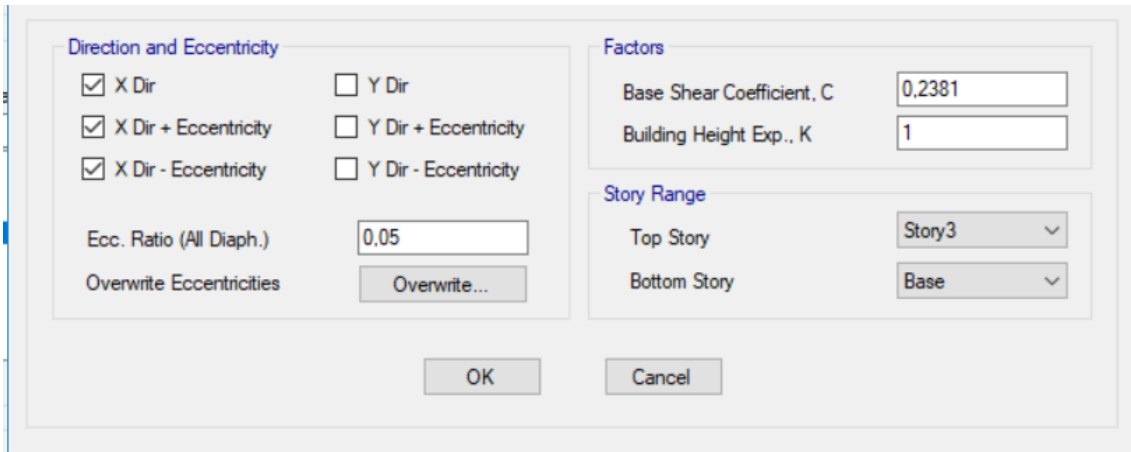
| Valores de T(s) | K |
|--------------------|----------------|
| $\leq 0,5$ | 1 |
| $0,5 < T \leq 2,5$ | $0,75 + 0,50T$ |
| $> 2,5$ | 2 |

Fuente: NEC15

Dando como resultado con $T = 0,458$ un $C(\%g) = 0,2381$ y $K = 1,00$

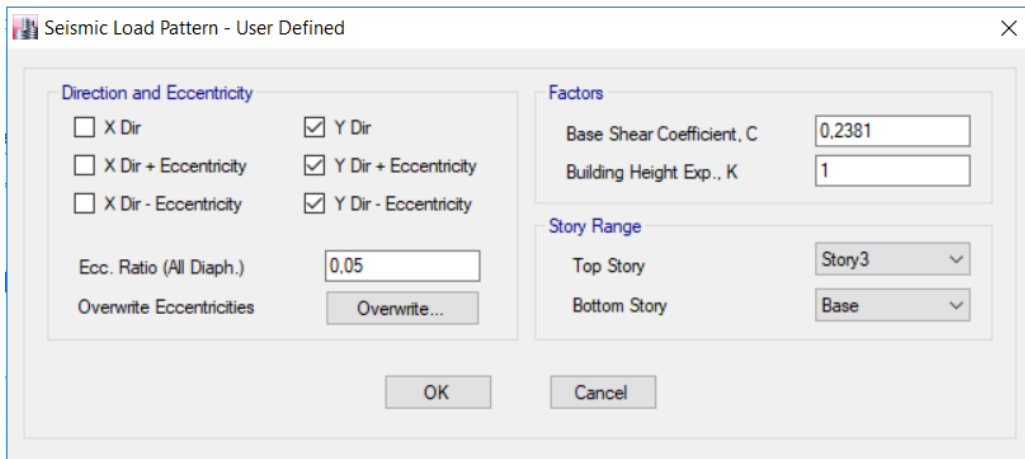
Estos valores se colocarán en la fuerza sísmica como se muestra a continuación.

Ilustración 141 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido x



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

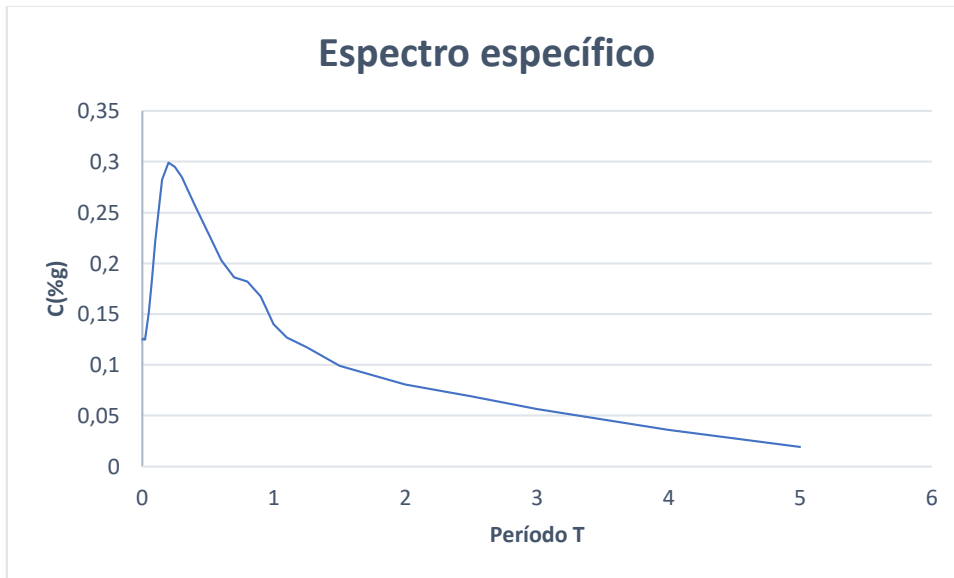
Ilustración 142 Corrección del coeficiente C y k con el período en sentido y



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

4.2.9.3.9 Cálculo de CORTANTE BASAL para el primer período con el espectro Específico

Ilustración 143 Espectro específico



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Con un período de $T=0,458$ la curva nos muestra un $C(\%g) = 0,2419$ y $K=1$

Ilustración 144 . Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico.

Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity

- X Dir
- Y Dir
- X Dir + Eccentricity
- Y Dir + Eccentricity
- X Dir - Eccentricity
- Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

Factors

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

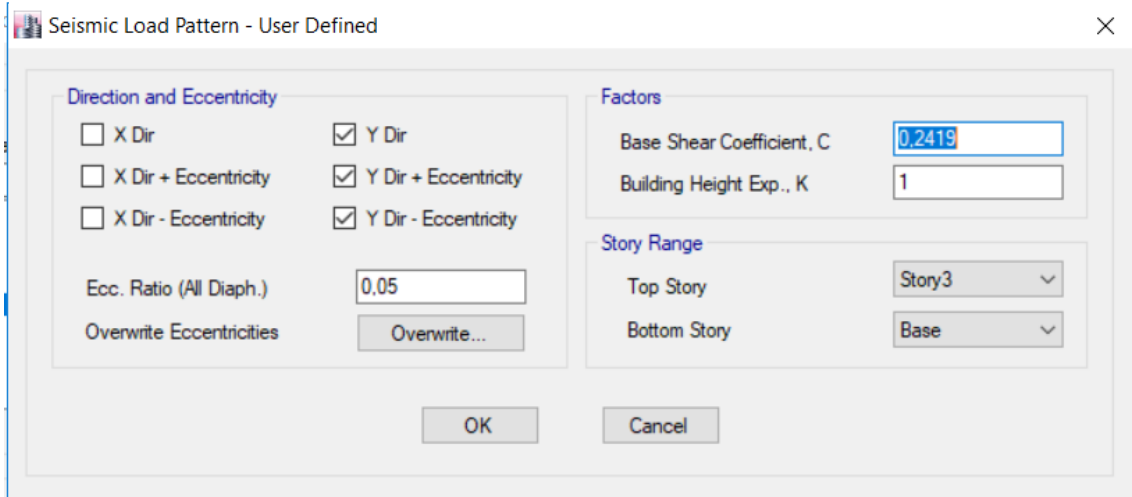
Story Range

Top Story

Bottom Story

Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 145 . Corrección del cortante basal y el coeficiente k de acuerdo al período y la curva del espectro específico.



Verificación de movimientos traslacionales en los 2 primeros modos de vibrar para un análisis modal

Tabla 65. Verificación de torsión con un análisis modal

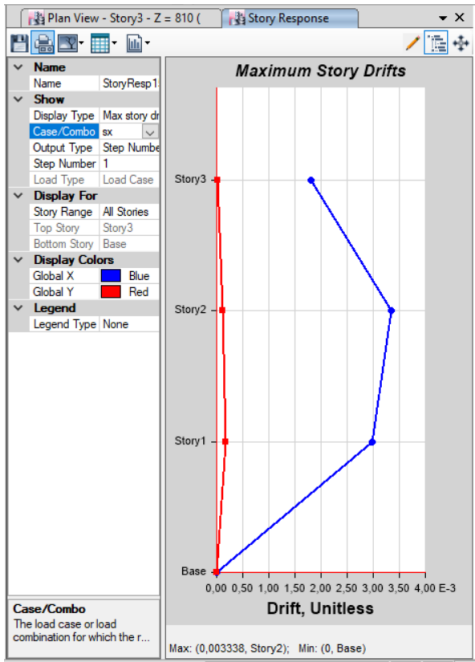
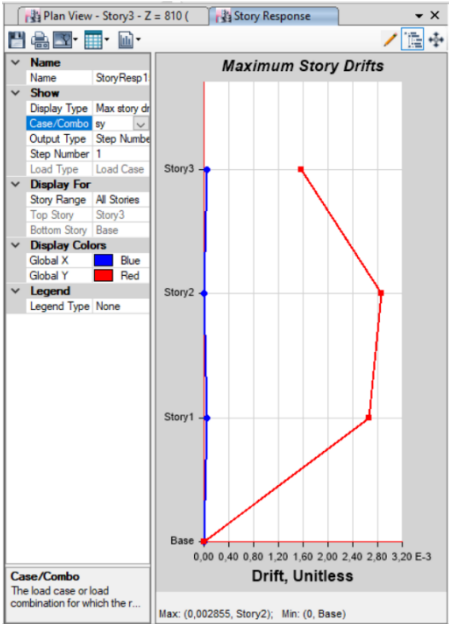
| | UX | UY | RZ | VERIFICACIÓN | CHECK |
|---|--------|--------|--------|--------------|---------|
| 1 | 0.8533 | 0.0015 | 0.0238 | 2.79% | BIEN |
| 2 | 0.002 | 0.8795 | 0.0016 | 0.18%, | BIEN |
| 3 | 0.0202 | 0.0015 | 0.8551 | 4233.17% | TORSIÓN |

Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Esta tabla muestra que la estructura cumple favorablemente con el chequeo de torsión accidental o torsión en planta que la norma recomienda sea traslacional en los dos primeros modos de vibrar y rotacional en el tercero para que sea capaz de disipar energía.

4.2.9.3.10 Verificación de derivas estáticas con el espectro NEC 15

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$

| NEC 2015 | |
|--|--|
| <p><i>Ilustración 146 Deriva sentido x espectro NEC15</i></p>  <p><i>Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> | <p><i>Ilustración 147 Deriva sentido y espectro NEC 15</i></p>  <p><i>Fuente: Alexander Marcelo Oviedo Villacís</i></p> |
| Dmax sx=0,003338 | Dmax sy=0,002855 |
| D inelástica= 0,003338*0,75*5=1,25% | D inelástica= 0,002855*0,75*5=1,07% |

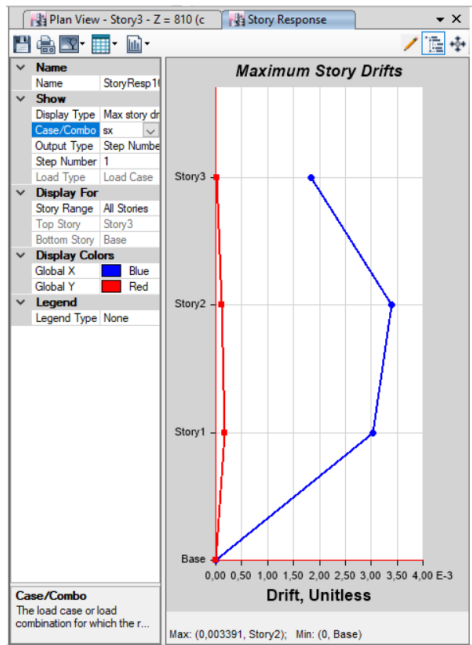
Se puede observar que las derivas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

4.2.9.3.11 Verificación de derivas estáticas con el espectro Específico

$$\Delta ine = 0.75 * R * \Delta e$$

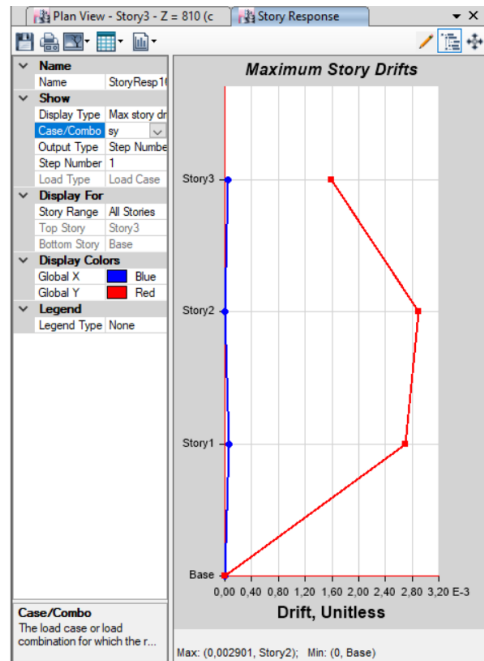
Espectro específico para el sector El Recreo

Ilustración 148 . Deriva sentido x espectro Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Ilustración 149 Deriva sentido y espectro Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Dmax sx=0,003391

Dmax sy=0,002901

D inelástica= 0,003391*0,75*5=1,27%

D inelástica= 0,002901*0,75*5=1,08%

Se puede observar que las derivas estáticas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

Como se puede observar el resultado de las derivas estáticas muestra un porcentaje mayor con el espectro específico.

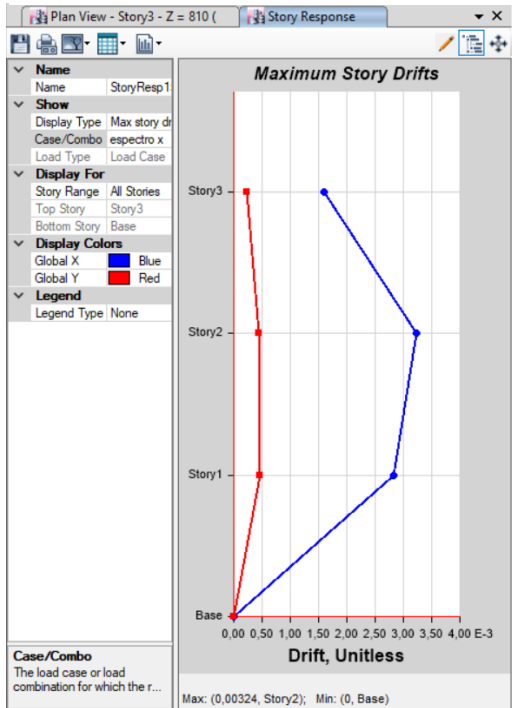
Cabe recalcar que para este período de T=0.458 la comparación entre espectros ha mostrado que sería recomendable diseñar con el espectro específico.

4.2.9.3.12 Verificación de derivas dinámicas con el espectro NEC 15

$$\Delta_{ine} = 0.75 * R * \Delta e$$

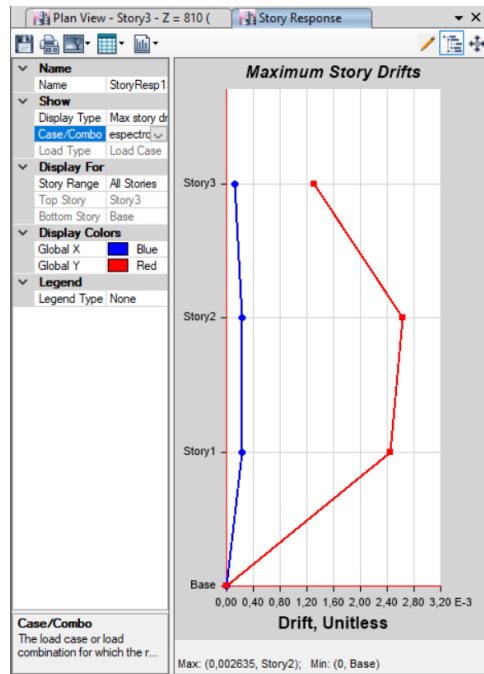
Espectro específico para el sector El Recreo

Ilustración 150 Deriva sentido x espectro Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Ilustración 151 Deriva sentido y espectro Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Dmax sx=0,00324

Dmax sy=0,002635

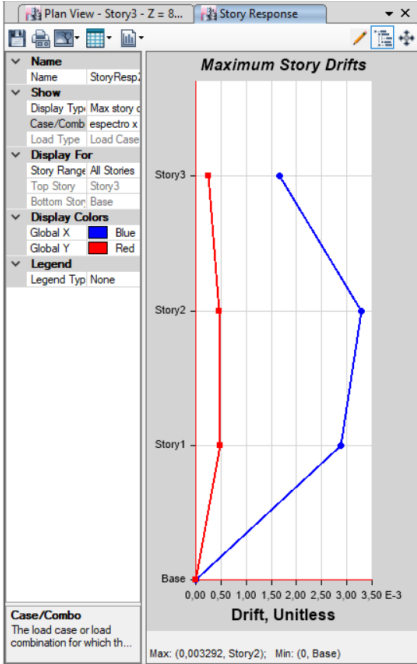

D inelástica= 0,00324*0,75*5=1,215%

D inelástica= 0,002635*0,75*5=0,98%

Se puede observar que las derivas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

4.2.9.3.13 Verificación de derivas dinámicas con el espectro Específico

$$\Delta ine = 0.75 * R * \Delta e$$

| Espectro específico para el sector El Recreo | |
|---|--|
| <p><i>Ilustración 152 Deriva sentido x espectro Específico</i></p>  <p style="text-align: center;">Fuente: Alexander Oviedo</p> | <p><i>Ilustración 153 Deriva sentido y espectro Específico</i></p>  <p style="text-align: center;">Fuente: Alexander Oviedo</p> |
| Dmax sx=0,003292 | Dmax sy=0,002746 |
| D inelástica= 0,003292*0,75*5=1,23 | D inelástica= 0,002746*0,75*5=1,03% |

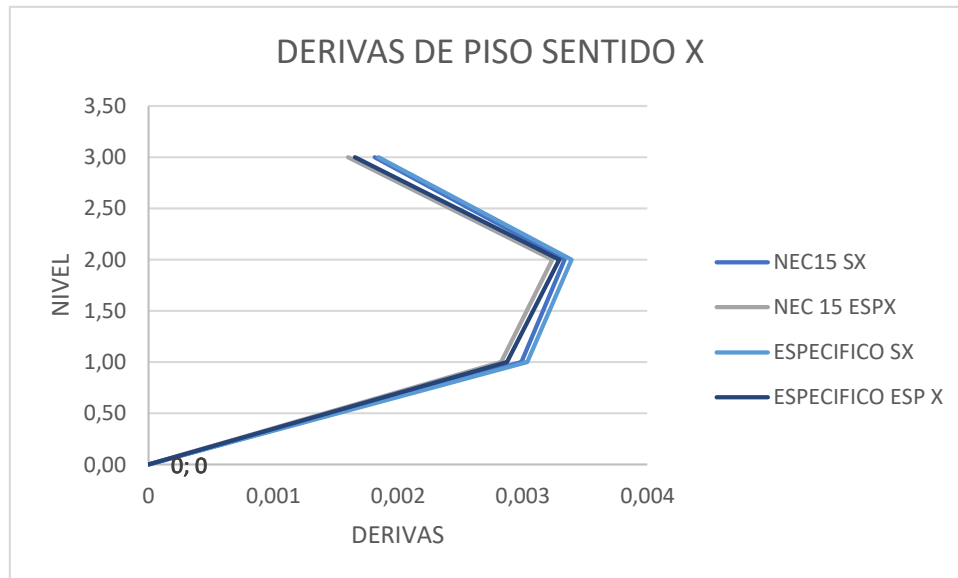
Se puede observar que las derivas dinámicas en ambos sentidos son menores al 2% como estipula la normativa NEC2015.

Como se puede observar el resultado de las derivas dinámicas muestra mayor respuesta con el espectro específico.

Cabe recalcar que para este período de T=0.458 la comparación entre espectros ha mostrado que la estructura puede ser diseñada con el espectro específico.

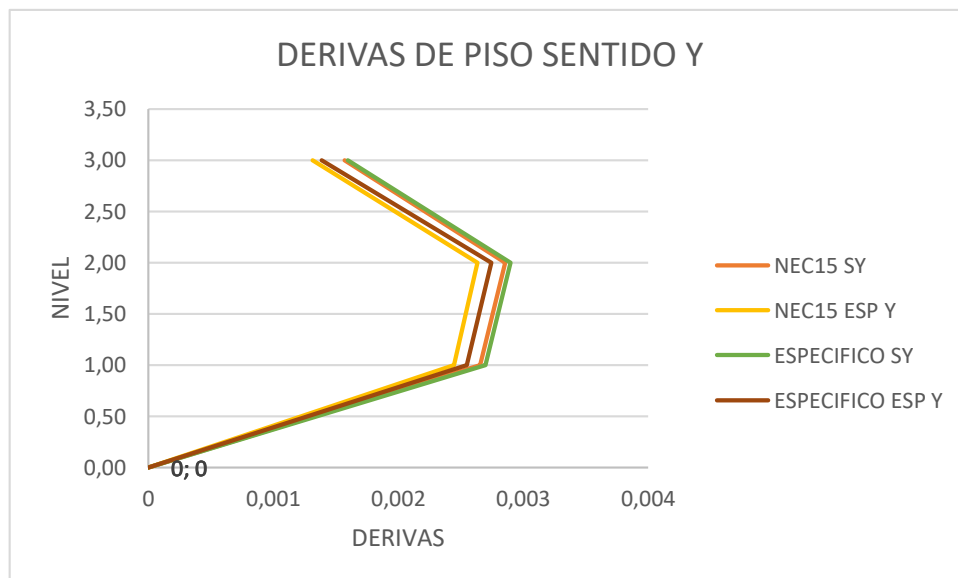
4.2.9.3.14 Comparación entre derivas de piso

Ilustración 154 Comparación entre derivas de piso sentido x



Fuente: Alexander Oviedo

Ilustración 155 Comparación entre derivas de piso sentido y

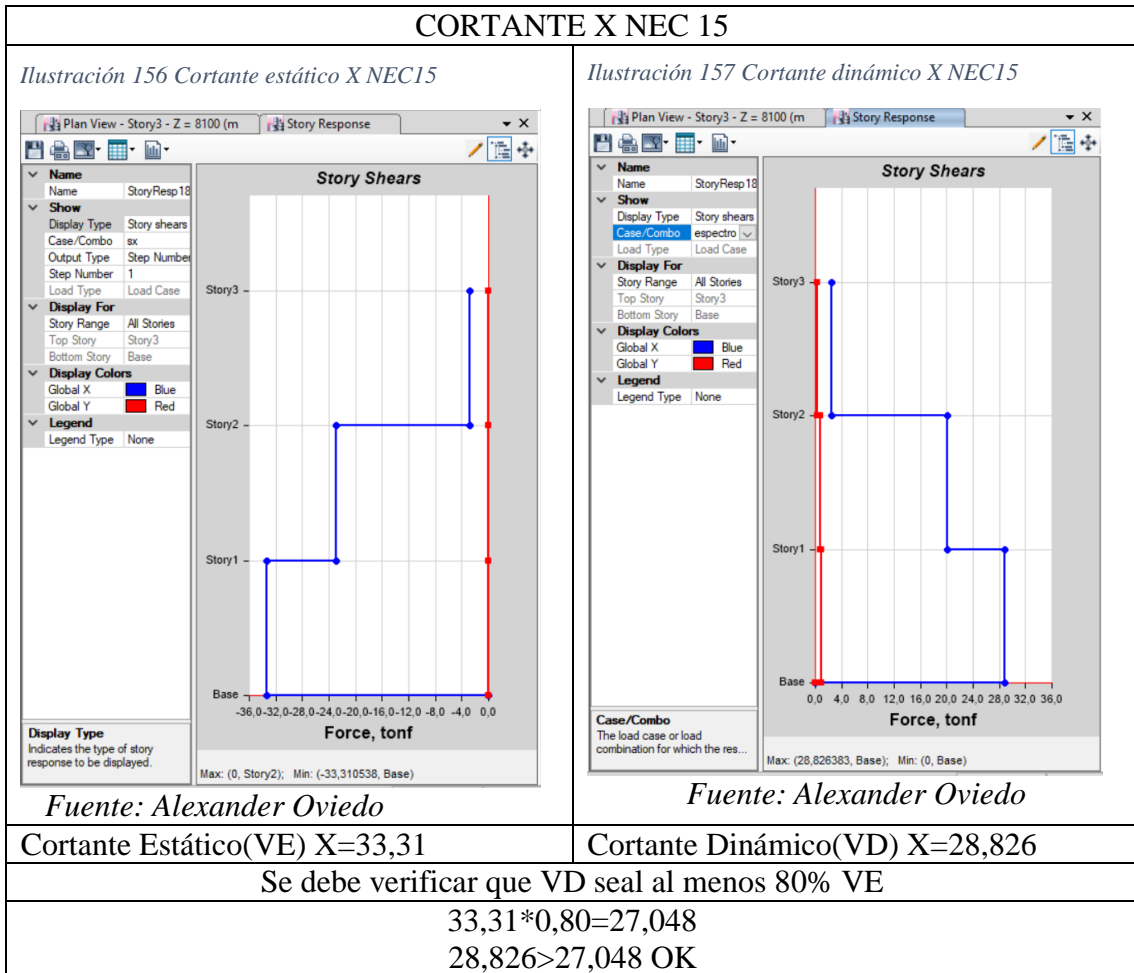


Fuente: Alexander Oviedo

Se puede observar que la mayor deriva es producida por espectro específico sx.

Se puede observar que no son muy distantes los valores entre las derivas de la NEC15 y el espectro específico.

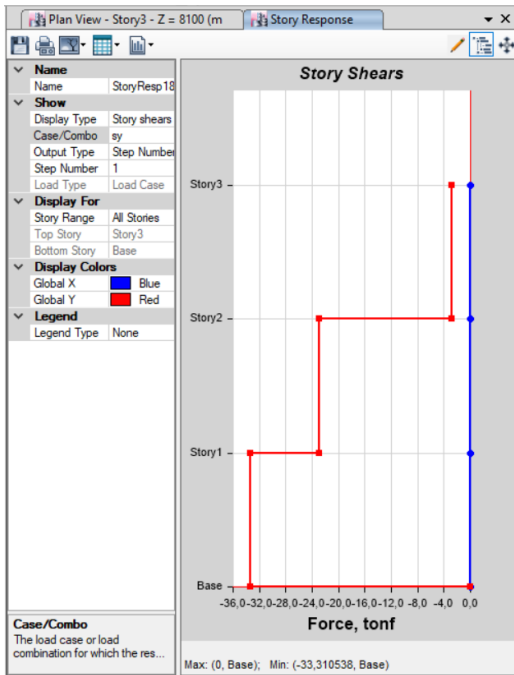
4.2.9.3.15 Verificación de cortantes con NEC 15



Se puede observar que el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático.

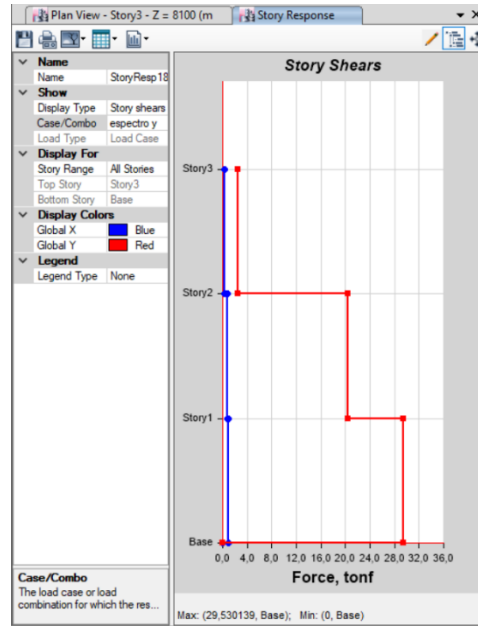
CORTANTE Y NEC 15

Ilustración 158 Cortante estático Y NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Ilustración 159 Cortante dinámico Y NEC15



Fuente. Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Cortante Estático(VE) Y=33,31

Cortante Dinámico(VD) Y=29,53

Se debe verificar que VD sea al menos 80% VE

$$33,31 * 0,80 = 26,648$$

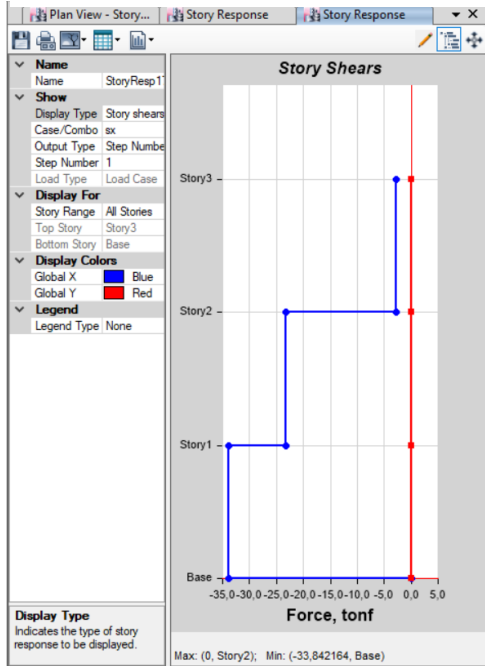
$$29,53 < 26,648 \text{ OK}$$

Se puede observar que el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático.

4.2.9.3.16 Verificación de cortantes con Espectro específico

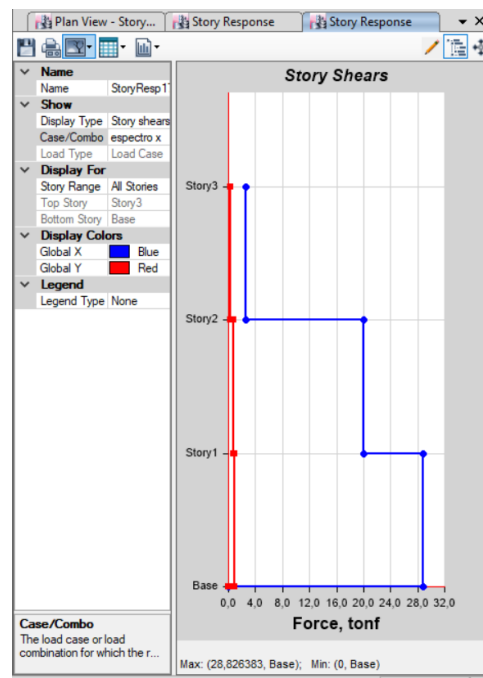
CORTANTE X Específico El Recreo

Ilustración 160. Cortante estático X Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Ilustración 161 Cortante dinámico X Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Cortante Estático(VE) X=34,84

Cortante Dinámico(VD) X=28,82

Se debe verificar que VD sea al menos 80% VE

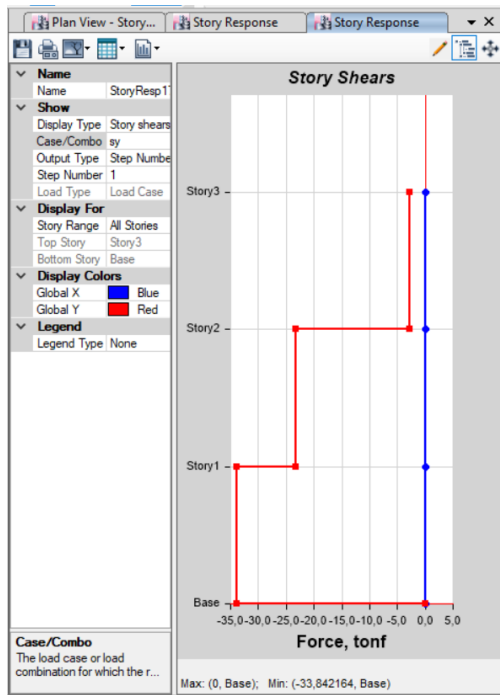
$$34,84 * 0,80 = 27,87$$

$$28,82 > 27,87 \text{ OK}$$

Se puede observar que el cortante dinámico es mayor al 80% del cortante estático.

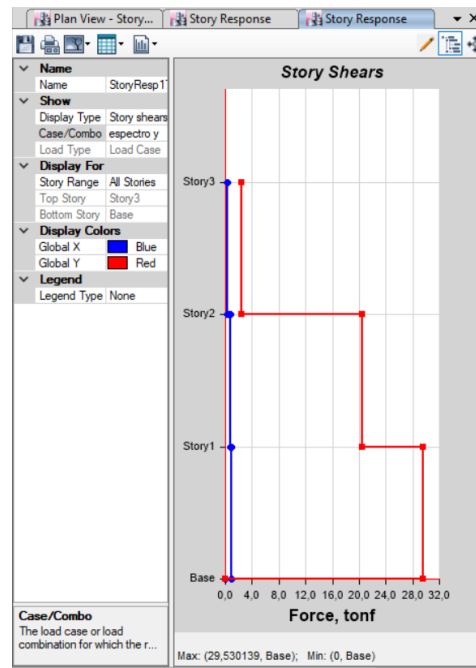
CORTANTE Y Específico El Recreo

Ilustración 162 Cortante estático Y Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Ilustración 163 Cortante dinámico Y Específico



Fuente: Alexander Oviedo

Cortante Estático(VE) X=33,84

Cortante Dinámico(VD) X=29,53

Se debe verificar que VD sea al menos 85% VE

$$33,84 * 0,80 = 27,07$$

$$29,53 > 27,07 \text{ OK}$$

Se puede observar que el cortante dinámico no es mayor al 80% del cortante estático.

4.2.9.3.17 Comparación de cortantes

Ilustración 164 Comparación de cortantes sentido x

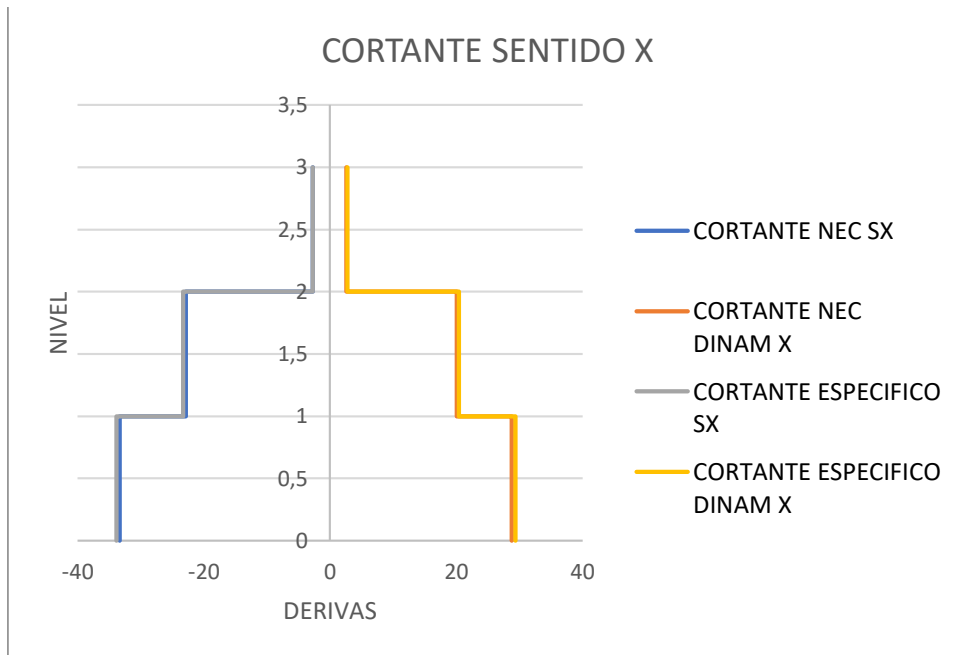
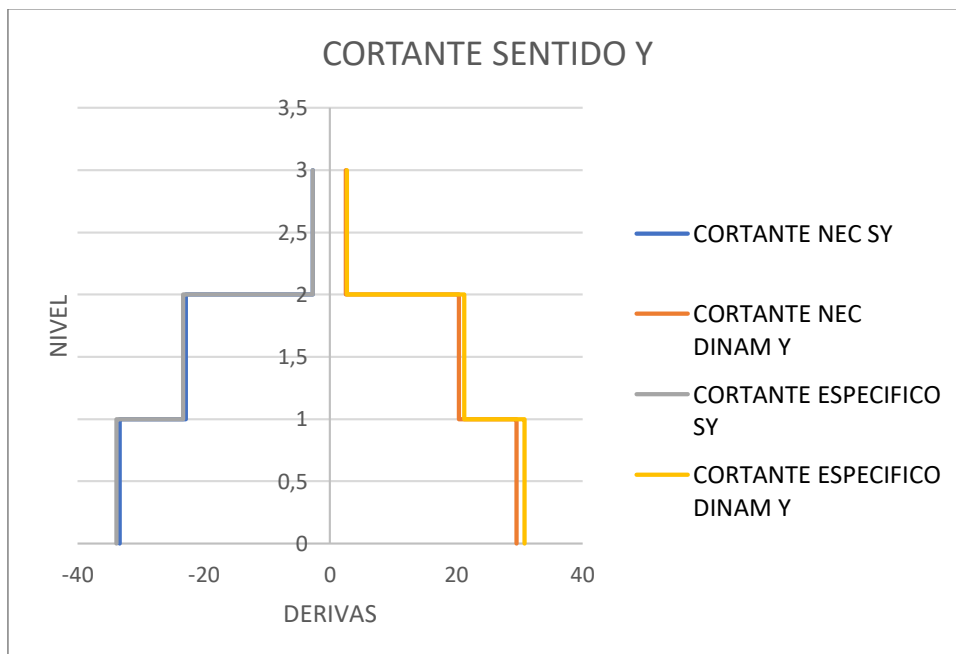


Ilustración 165 Comparación de cortantes sentido y



Fuente Alexander Marcelo Oviedo Villacís

Se puede observar en ambos sentidos que los cortantes mayores son producidos por el espectro específico.

4.3 Verificación de hipótesis

De acuerdo a la hipótesis planteada en este estudio DSHA, “Estudio de peligro sísmico determinista para las estructuras del sector El Recreo de la Parroquia Huachi Loreto de la ciudad de Ambato provincia Tungurahua”, se determinó que el espectro específico envolvente mediante ecuaciones de atenuación, para estructuras de período corto hasta 0.5s, es decir aproximadamente estructuras de hasta 5 pisos, genera mayores aceleraciones que superan la NEC 2015, pero a su vez es menor desde 0.5s hasta 2s ya que la norma posee una mayor respuesta en aceleraciones en dicho rango.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó que el sitio de estudio posee un suelo tipo SM (Mezclas de arena y limo bien graduado - de granulometría variable) según la clasificación S.U.C.S.
- Se determinó que el suelo de estudio no posee nivel freático cercano a las profundidades estudiadas.
- Se concluye gracias a las curvas granulométricas que el suelo es uniforme en su mayoría y bien graduado.
- Mediante el cálculo de velocidad media de onda de corte y bajo los parámetros de la NEC2015 se concluyó que el sitio de estudio posee un suelo tipo D con un V_s de 269.39m/s.
- Con la ayuda del estudio de Wells y Coopersmith se pudo obtener las magnitudes de momento de las fallas estudiadas, con esto se concluye que como es de esperar la falla de subducción posee una mayor magnitud frente a las otras fallas en estudio, dando un valor de 8.9, a este valor le sigue la falla de régimen cortical llamada Samanga con una magnitud de 6.9, detrás esta Ambato y Totoras con 6.5 ambas y Huachi con 6.3.
- Mediante los espectros obtenidos con la ecuación de Akkar y Bommer que Ambato posee una mayor respuesta en aceleraciones con respecto a las demás fallas corticales.
- Mediante los espectros obtenidos con la ecuación de Boore y Atkinson que Ambato posee una mayor respuesta en aceleraciones con respecto a las demás fallas corticales.
- Mediante los espectros obtenidos con la ecuación de Kanno que Ambato posee una mayor respuesta en aceleraciones con respecto a las demás fallas corticales.
- Se concluye que el espectro proporcionado por la NEC 2015 no abastece la respuesta de aceleración del suelo para estructuras de período corto, hasta 0.5s es decir aproximadamente 5 pisos, de ahí en adelante su respuesta es muy aceptable para el lugar de estudio.
- Se concluye mediante este estudio que la comparación entre los espectros mostró que el espectro de lugar específico para el sector El Recreo muestra mayor aceleración sísmica hasta un período de 0,5 y de allí en adelante NEC15 muestra mayor respuesta en aceleraciones.
- Se concluye mediante las tres estructuras analizadas que para los períodos analizados como fueron menores a 0.50 dio como resultado una mayor carga sísmica producida por el espectro específico.
- Se concluye que en fallamiento cortical el régimen tectónico que mayor daño puede causar es el cortical hasta un período de 1,25, de allí en adelante el régimen que muestra mayor aceleración es el de subducción.

- Se concluye que hasta un período de 0,5 el espectro específico muestra mayor respuesta en derivas en comparación al espectro NEC15.
- Mediante este estudio se concluye que las estructuras analizadas de períodos cortos cumplieron las verificaciones que dictamina la NEC 15 a pesar de que se mostró una mayor respuesta con el espectro específico.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda efectuar este tipo de estudio en caso de ser factible para todas las ciudades del país y con mayor número de fallas ya que como se pudo observar el resultado varía de acuerdo a la distancia fuente-sitio y más aún al tipo de falla, dicho esto la NEC 2015 nos brinda la posibilidad de trabajar con espectros cercanos a la realidad en caso de no tener espectros específicos para diseñar.
- Se recomienda analizar las ecuaciones de predicción de movimiento de suelos que se va a utilizar ya que estas mediante registros históricos se denota que van cambiando gracias a nuevas investigaciones.
- Se recomienda este estudio para obtener espectros de lugar y esto brindará un mejor diseño sismo resistente.
- Se recomienda mediante este tipo de estudio evaluar estructuras existentes con el espectro específico.
- Se recomienda efectuar una comparación al momento del diseño estructural en nuevas estructuras entre los efectos que produce el espectro NEC 15 y los que produce el espectro específico.

6 Bibliografía

| | |
|------|--|
| [1] | O. A. Guzmán, 27 06 2011. [En línea]. Available: http://www.araosguzman.org/2011/06/cinturon-fuego-pacifico-oscar-araos.html . |
| [2] | F. V. Sánchez, «Los Terremotos y sus Causas,» Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, [En línea]. Available: http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/\$File/ETA-C1.pdf . |
| [3] | Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, «MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE QUITO». |
| [4] | Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, «NEC_SE_RE_(Riesgo Sísmico),» 2015, p. 54. |
| [5] | Municipio del distrito Metropolitano de Quito, Microzonificación sísmica de los suelos del distrito metropolitano de Quito, Quito. |
| [6] | Ministerio de desarrollo urbano y vivienda., NEC Pelígro Sísmico Diseño sismoresistente, Ambato, 2015. |
| [7] | D. Quizanga, «Espectros específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas.,» Escuela Politécnica Nacional del Ecuador., [En línea]. Available: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved . [Último acceso: 2015]. |
| [8] | O. A. Guzman, «Cinturón de Fuego del Pacífico,» 2011. [En línea]. Available: http://www.araosguzman.org/2011/06/cinturon-fuego-pacifico-oscar-araos.html . |
| [9] | R. F. Pérez, «Volcanpedia, Anillo de fuego del Pacífico,» Volcanes. Enciclopedia especializada, 2012. [En línea]. Available: http://www.volcanpedia.com/anillo-de-fuego-del-pacifico/ . [Último acceso: 2012]. |
| [10] | M. Ruiz, «El Herald,» 22 Mayo 2016]. [En línea]. Available: http://www.elheraldo.com.ec/index.php?fecha=2016-05-22&seccion=Ciudad&noticia=69560 . |
| [11] | Editorial Vicencs Vives, «Teoría de la Tectónica de Placas,» Portal de los siete mares, 08 07 2015. [En línea]. Available: http://www.mardechile.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=66 . |

| | |
|------|--|
| [12] | F. B. Ponzo, «Geología Estructural,» Facultad de Ingeniería, Merida, [En línea]. Available: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/frabon/Presentaciones/Tema%208%20Regimenes%20Tectonicos.pdf . |
| [13] | C. I. C. Miranda, «Clase de ciencias de la Tierra Unam,» [En línea]. Available: http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/21-TectoC2.pdf . |
| [14] | Congreso Geológico Chileno, «Potencial Sismogénico de las Fallas Corticales en los Andes chilenos,» La Sirena, Octubre 2015. [En línea]. Available: http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905_v1_pp_352_354.pdf . |
| [15] | W. Griem, «Geología Estructural Virtual,» 2017. [En línea]. Available: http://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/gestr04a.htm#Antetetica . |
| [16] | I. A. M. Bolaños, «Espectro de Peligro Sísmico uniforme,» [En línea]. Available: http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/bitstream/handle/123456789/1331/BOLANOS_ANA_Y_MONROY_OMAR_ESPECTROS_PELIGRO_SISMICO.pdf?sequence=1 . |
| [17] | C. C. Miranda, «Sismos y Terremotos,» Instituto de Geofísica UNAM, [En línea]. Available: http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/22-sismo.pdf . |
| [18] | Ministerio del medio ambiente y recursos naturales El Salvador, «Escalas de magnitud,» [En línea]. Available: http://www.snet.gob.sv/ver/seccion+educativa/sismologia/escalas+de+magnitud/ . |
| [19] | W. y. Coppersmith, «New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement,» Agosto 1994. [En línea]. Available: http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf . |
| [20] | J. Douglas, «Ground motion prediction equations,» 1964-2017. [En línea]. Available: http://www.gmpe.org.uk/gmpereport2014.html . |
| [21] | D. M. Q. Martinez, «Espectros Específicos para la ciudad de Quito en función de fallas ciegas inversas.,» La Escuela Politécnica Nacional., Octubre 2015. [En línea]. Available: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjSoKeD4cvYAhXiQd8KHda9A8YQFggrMAE&url=http%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15000%2F11856%2F1%2FFCD-6563.pdf&usq=AOvVaw1te34ylDvDINz0En8oJrPM . |
| [22] | GAD Municipalidad Ambato, «Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Ambato,» [En línea]. Available: http://www.ambato.gob.ec/wp-content/uploads/2016/09/PDOT-Ambato-07-06-2016.pdf . |

| | |
|------|---|
| [23] | Secretaría de gestion de Riesgos, «Histórico de desastres,» [En línea]. Available: http://gestionriesgosec.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=2b5223562fb74e2ea7285e7f6e3f0fa5 . |
| [24] | Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, «Informes de los sismos,» [En línea]. Available: http://www.igepn.edu.ec/ultimos-sismos . [Último acceso: 05 Marzo 2018]. |
| [25] | Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento, «Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica,» [En línea]. Available: www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion.../2.../E5LADS_1.doc . |
| [26] | Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, «Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (Vs) y otros parámetros geotécnicos para los suelos de Madrid,» Universidad Complutense de Madrid, [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Alfonso_Munoz-Martin/publication/233810663_Correlaciones_empiricas_entre_la_velocidad_de_propagacion_de_las_ondas_s_Vs_y_otros_parametros_geotecnicos_para_los_suelos_de_Madrid/links/00b4951ee9d22d77b8000000/Correlacion . [Último acceso: 2012]. |
| [27] | D. M. B. a. G. M. Atkinson, «Boore-Atkinson NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters,» 2008. [En línea]. Available: http://www.daveboore.com/pubs_online/peer701_booreatkinson_appendices.pdf . |
| [28] | J. J. Bommer, «Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East,» Middle East Technical University, Abril 2010. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/250075340_Empirical_Equations_for_the_Prediction_of_PGA_PGV_and_Spectral_Accelerations_in_Europe_the_Mediterranean_Region_and_the_Middle_East . |

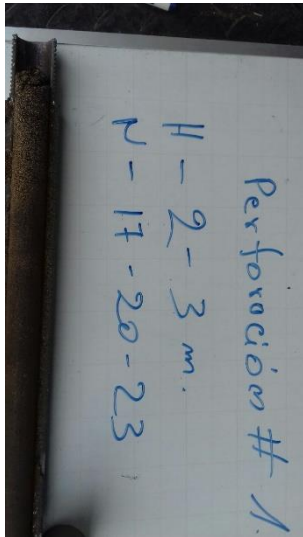
7 ANEXOS

7.1 MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS

Fotografía. Perforación 1 (SPT)



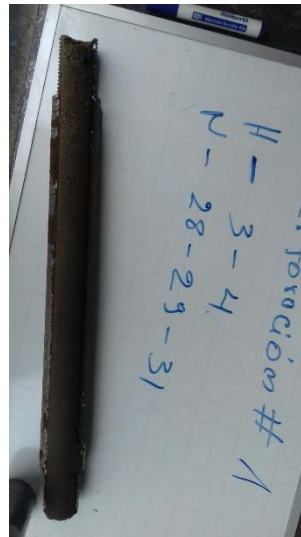
Fotografía. Muestra perforación 1



Fotografía. Equipo SPT



Fotografía. Muestra 3-4 perforación 1



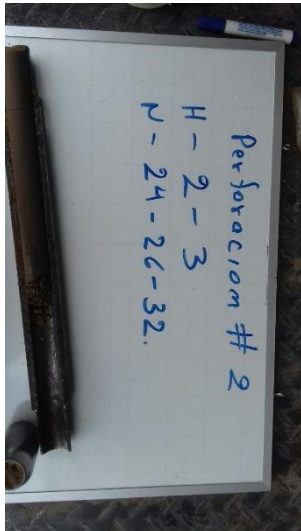
Fotografía. Perforación 2



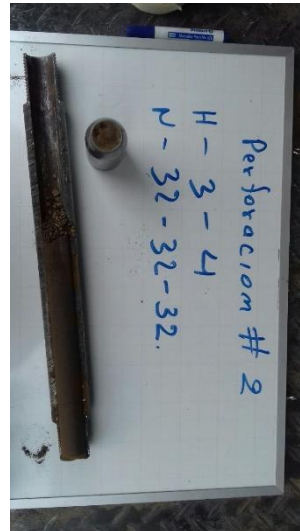
Fotografía. Perforación 2 de 1-2m



Fotografía. Perforación 2 de 2-3m



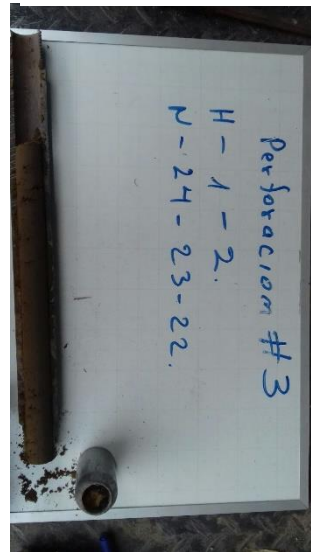
Fotografía. Perforación 2 de 3-4m



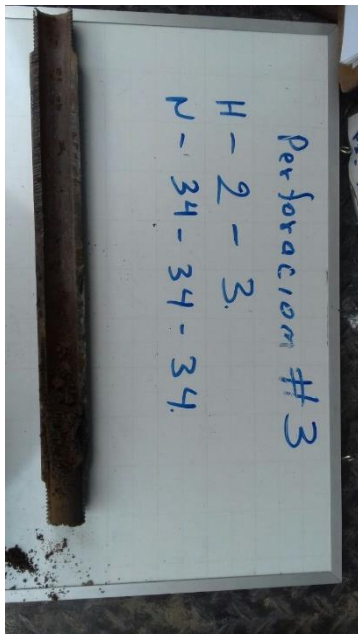
Fotografía. Perforación 3



Fotografía. Perforación 3 de 1-2m



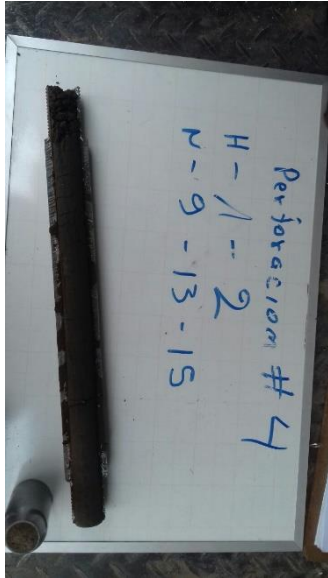
Fotografía. Perforación 3 de 2-3m



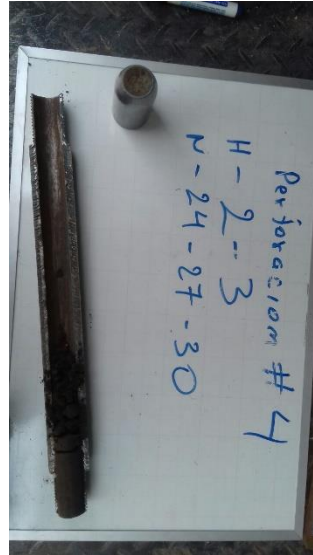
Fotografía. Perforación 4



Fotografía. Perforación 4 de 1-2m



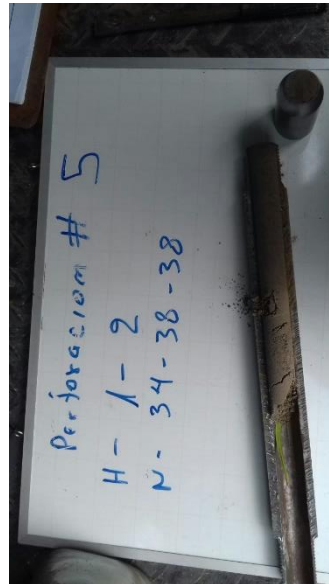
Fotografía. Perforación 4 de 2-3m



Fotografía. Perforación 5



Fotografía. Muestra de Tierra perforación 5



Fotografía. Tamices para ensayo granulométrico



Fotografía. Ensayo de granulometría según S.U.C.S.



Fotografía. Recipientes metálicos



Fotografía. Balanza electrónica



Fotografía. Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato



Fotografía. Levantamiento estructural



Fotografía. Evidencia fotográfica Hogar de la señora Beatriz Lascano



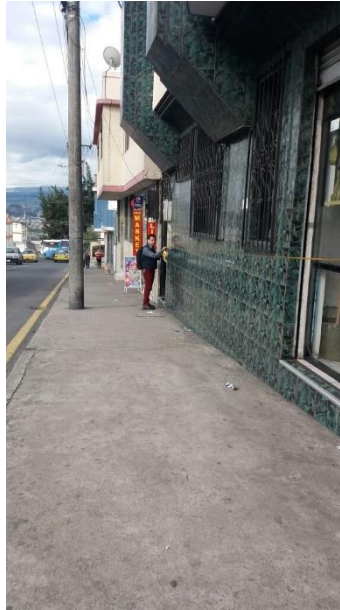
Fotografía. Hogar de la señora Beatriz Lascano



Fotografía6. Evidencia fotográfica del levantamiento estructural



Fotografía. Evidencia fotográfica levantamiento estructural Hotel Titánic



Fotografía. Hotel Titánic



Fotografía. Evidencia fotográfica del levantamiento estructural



Fotografía. Residencia de la señora Wilma Molina



Fotografía. Evidencia fotográfica del levantamiento estructural



Fotografía. Levantamiento estructural



Fotografía. Medición de ejes.



Tabla 69. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento del suelo según Akkar y Bommer 2010

| Periodo T(s) | b1 | b2 | b3 | b4 | b5 | b6 | b7 | b8 | b9 | b10 | σ_1 | σ_2 |
|-----------------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|------------|------------|
| 0 | 1,0416 | 0,9133 | -0,0814 | -2,9273 | 0,2812 | 7,8664 | 0,0875 | 0,0153 | -0,0419 | 0,0802 | 0,261 | 0,0994 |
| 0,05 | 2,1153 | 0,7257 | -0,0735 | -3,332 | 0,3353 | 7,7473 | 0,0471 | -0,0243 | -0,0426 | 0,0865 | 0,272 | 0,1142 |
| 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 |
| 0,15 | 1,6449 | 0,8368 | -0,0754 | -2,7585 | 0,2549 | 8,3179 | 0,0258 | 0,017 | -0,0418 | 0,0784 | 0,2788 | 0,1192 |
| 0,2 | 0,9207 | 0,9682 | -0,079 | -2,4926 | 0,2179 | 8,2191 | 0,0656 | 0,0211 | -0,021 | 0,0844 | 0,2821 | 0,1081 |
| 0,25 | 0,1398 | 1,1307 | -0,0876 | -2,3382 | 0,2009 | 7,2069 | 0,0981 | 0,0392 | -0,0485 | 0,0858 | 0,2871 | 0,099 |
| 0,3 | -0,8401 | 1,3744 | -0,1035 | -2,1912 | 0,1814 | 6,543 | 0,1285 | 0,0434 | -0,0555 | 0,0922 | 0,2902 | 0,0976 |
| 0,35 | -1,3221 | 1,4706 | -0,1087 | -2,1299 | 0,1749 | 6,2475 | 0,1621 | 0,067 | -0,0472 | 0,09 | 0,2983 | 0,1054 |
| 0,4 | -1,7032 | 1,5593 | -0,1139 | -2,1272 | 0,1714 | 6,5717 | 0,2122 | 0,092 | -0,0515 | 0,099 | 0,2998 | 0,1101 |
| 0,45 | -1,972 | 1,6165 | -0,1174 | -2,1662 | 0,177 | 6,7808 | 0,2412 | 0,1168 | -0,052 | 0,0994 | 0,3037 | 0,1123 |
| 0,5 | -2,7693 | 1,8327 | -0,132 | -2,1297 | 0,1688 | 7,1742 | 0,2594 | 0,1356 | -0,0428 | 0,0858 | 0,3078 | 0,1163 |
| 0,55 | -3,5167 | 2,0252 | -0,145 | -2,0421 | 0,1562 | 6,7617 | 0,265 | 0,1445 | -0,0426 | 0,0695 | 0,307 | 0,1274 |
| 0,6 | -3,9276 | 2,0847 | -0,1465 | -1,8814 | 0,1362 | 6,101 | 0,2772 | 0,1516 | -0,0385 | 0,0593 | 0,3007 | 0,143 |
| 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 |
| 0,7 | -4,6293 | 2,2176 | -0,1549 | -1,798 | 0,135 | 4,4632 | 0,3035 | 0,1565 | -0,0415 | 0,0466 | 0,2978 | 0,1626 |
| 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 |
| 0,8 | -5,3286 | 2,3839 | -0,1657 | -1,7727 | 0,1327 | 4,3701 | 0,3215 | 0,1737 | -0,0395 | 0,0337 | 0,2927 | 0,1584 |
| 0,85 | -5,758 | 2,5064 | -0,1748 | -1,7707 | 0,131 | 4,6219 | 0,3352 | 0,1848 | -0,0379 | 0,0287 | 0,2917 | 0,1543 |
| 0,9 | -5,8269 | 2,5029 | -0,1737 | -1,763 | 0,1306 | 4,6539 | 0,3485 | 0,1906 | -0,0288 | 0,0248 | 0,2915 | 0,1521 |
| 0,95 | -5,9059 | 2,5141 | -0,1742 | -1,7985 | 0,1354 | 4,8454 | 0,3592 | 0,1941 | -0,0221 | 0,025 | 0,2912 | 0,1484 |
| 1 | -6,1707 | 2,5856 | -0,1794 | -1,8072 | 0,136 | 4,976 | 0,3662 | 0,1952 | -0,0227 | 0,0212 | 0,2895 | 0,1483 |
| 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 |
| 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 |
| 1,15 | -6,9618 | 2,7586 | -0,1889 | -1,6659 | 0,1145 | 5,089 | 0,3815 | 0,194 | -0,0209 | 0,0015 | 0,2871 | 0,1435 |
| 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 |
| 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 |
| 1,3 | -6,5172 | 2,5187 | -0,1633 | -1,4653 | 0,0801 | 5,1442 | 0,3886 | 0,1927 | -0,019 | -0,0037 | 0,2869 | 0,1427 |
| 1,35 | -6,5582 | 2,5224 | -0,1631 | -1,4822 | 0,0817 | 5,2901 | 0,3868 | 0,1908 | -0,0184 | -0,009 | 0,2885 | 0,1428 |
| 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 |
| 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 |
| 1,5 | -6,7179 | 2,4949 | -0,1569 | -1,353 | 0,0638 | 5,1575 | 0,3787 | 0,1881 | -0,0121 | -0,0022 | 0,2839 | 0,1468 |
| 1,55 | -6,8078 | 2,5029 | -0,1563 | -1,3123 | 0,057 | 5,2744 | 0,3727 | 0,1857 | -0,0085 | -0,0005 | 0,2845 | 0,145 |
| 1,6 | -6,8363 | 2,5101 | -0,1568 | -1,3326 | 0,0587 | 5,5454 | 0,3695 | 0,1815 | -0,0053 | -6E-05 | 0,2844 | 0,1457 |
| 1,65 | -6,8868 | 2,5405 | -0,16 | -1,4093 | 0,0686 | 5,9383 | 0,3653 | 0,1762 | -0,0085 | -0,003 | 0,2841 | 0,1503 |
| 1,7 | -6,946 | 2,5715 | -0,1629 | -1,4768 | 0,0767 | 6,366 | 0,3594 | 0,173 | -0,012 | -0,0074 | 0,284 | 0,1537 |
| 1,75 | -7,0917 | 2,6294 | -0,1679 | -1,5404 | 0,0843 | 6,8229 | 0,3528 | 0,1695 | -0,0139 | -0,0139 | 0,284 | 0,1558 |
| 1,8 | -7,2282 | 2,6682 | -0,1706 | -1,5427 | 0,0833 | 7,116 | 0,3478 | 0,1674 | -0,014 | -0,0149 | 0,2834 | 0,1582 |
| 1,85 | -7,2977 | 2,6757 | -0,17 | -1,5094 | 0,0766 | 7,3193 | 0,3456 | 0,1673 | -0,0153 | -0,0119 | 0,2828 | 0,1592 |
| 1,9 | -7,3552 | 2,6775 | -0,1693 | -1,4699 | 0,0707 | 7,2599 | 0,3414 | 0,1633 | -0,0156 | -0,007 | 0,2826 | 0,1611 |
| 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 |
| 2 | -7,504 | 2,71 | -0,1713 | -1,444 | 0,066 | 7,2606 | 0,333 | 0,1584 | -0,0226 | -0,0049 | 0,2835 | 0,1657 |
| 2,05 | -7,556 | 2,7274 | -0,1729 | -1,4579 | 0,0677 | 7,4032 | 0,3301 | 0,155 | -0,0263 | -0,0073 | 0,2836 | 0,1665 |
| 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 |
| 2,15 | -7,5081 | 2,7104 | -0,1721 | -1,4968 | 0,0743 | 7,5127 | 0,3244 | 0,1526 | -0,0348 | -0,0123 | 0,283 | 0,1661 |
| 2,2 | -8,0917 | 2,9116 | -0,1892 | -1,5564 | 0,0843 | 7,7706 | 0,3135 | 0,1443 | -0,0399 | -0,0193 | 0,283 | 0,1627 |
| 2,25 | -8,1106 | 2,9209 | -0,1904 | -1,5954 | 0,0905 | 7,877 | 0,31 | 0,1443 | -0,0416 | -0,0232 | 0,283 | 0,1627 |
| 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 |
| 2,35 | -7,947 | 2,8533 | -0,1854 | -1,5743 | 0,0908 | 7,6196 | 0,3207 | 0,1432 | -0,0496 | -0,0234 | 0,2815 | 0,1632 |
| 2,4 | -7,9668 | 2,8536 | -0,1856 | -1,5783 | 0,0929 | 7,5964 | 0,318 | 0,143 | -0,0491 | -0,0257 | 0,2826 | 0,1645 |
| 2,45 | -7,9788 | 2,849 | -0,1853 | -1,5773 | 0,0943 | 7,5034 | 0,314 | 0,1432 | -0,0481 | -0,0264 | 0,2825 | 0,1665 |
| 2,5 | -7,884 | 2,8182 | -0,1832 | -1,6038 | 0,0989 | 7,5395 | 0,311 | 0,1433 | -0,0471 | -0,0277 | 0,2818 | 0,1681 |
| 2,55 | -7,681 | 2,7572 | -0,1791 | -1,6521 | 0,1068 | 7,6189 | 0,3088 | 0,1434 | -0,0461 | -0,0282 | 0,2818 | 0,1688 |
| 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 |
| 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 |
| 2,7 | -7,4159 | 2,6901 | -0,1763 | -1,8704 | 0,1428 | 7,5 | 0,3069 | 0,1407 | -0,0489 | -0,0296 | 0,2854 | 0,1772 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 2,9 | -6,9933 | 2,527 | -0,163 | -1,897 | 0,1504 | 7,4504 | 0,3036 | 0,1378 | -0,042 | -0,0262 | 0,2874 | 0,1784 |
| 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 |
| 3 | -6,9292 | 2,459 | -0,1551 | -1,768 | 0,1331 | 7,2195 | 0,2977 | 0,132 | -0,0386 | -0,0247 | 0,2876 | 0,1785 |

Fuente. Akkar y Bommer 2010

Fuente: Tabla 78. Coeficientes de escala de distancia ($M_{red}=4.5$ y $R_{ref}=1.0km$ para todos los períodos excepto $R_{ref}=5.0km$ para $pga4nl$)

| Periodo | c1 | c2 | c3 | h |
|---------|----------|----------|----------|------|
| 0 | -0,6605 | 0,1197 | -0,01151 | 1,35 |
| 0,01 | -0,6622 | 0,12 | -0,01151 | 1,35 |
| 0,02 | -0,666 | 0,1228 | -0,01151 | 1,35 |
| 0,03 | -0,6901 | 0,1283 | -0,01151 | 1,35 |
| 0,05 | -0,717 | 0,1317 | -0,01151 | 1,35 |
| 0,075 | -0,7205 | 0,1237 | -0,01151 | 1,55 |
| 0,1 | -0,7081 | 0,1117 | -0,01151 | 1,68 |
| 0,15 | -0,6961 | 0,09884 | -0,01113 | 1,86 |
| 0,2 | -0,583 | 0,04273 | -0,00952 | 1,98 |
| 0,25 | -0,5726 | 0,02977 | -0,00837 | 2,07 |
| 0,3 | -0,5543 | 0,01955 | -0,0075 | 2,14 |
| 0,4 | -0,6443 | 0,04394 | -0,00626 | 2,24 |
| 0,5 | -0,6914 | 0,0608 | -0,0054 | 2,32 |
| 0,75 | -0,7408 | 0,07518 | -0,00409 | 2,46 |
| 1 | -0,8183 | 0,1027 | -0,00334 | 2,54 |
| 1,5 | -0,8303 | 0,09793 | -0,00255 | 2,66 |
| 2 | -0,8285 | 0,09432 | -0,00217 | 2,73 |
| 3 | -0,7844 | 0,07282 | -0,00191 | 2,83 |
| 4 | -0,6854 | 0,03758 | -0,00191 | 2,89 |
| 5 | -0,5096 | -0,02391 | -0,00191 | 2,93 |
| 7,5 | -0,3724 | -0,06568 | -0,00191 | 3 |
| 10 | -0,09824 | -0,138 | -0,00191 | 3,04 |

Fuente. Boore y Atkinson

Tabla 77. Coeficientes de escala de distancia ($M_{red}=4.5$ y $R_{ref}=1.0km$ para todos los períodos excepto $R_{ref}=5.0km$ para $pga4nl$) Fuente. Boore y Atkinson

Tabla 89. Coeficientes para la ecuación de magnitud Boore y Atkinson

| e1 | e2 | e3 | e4 | e5 | e6 | e7 | Mh |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| -0,53804 | -0,5035 | -0,75472 | -0,5097 | 0,28805 | -0,10164 | 0 | 6,75 |
| -0,52883 | -0,49429 | -0,74551 | -0,49966 | 0,28897 | -0,10019 | 0 | 6,75 |
| -0,52192 | -0,48508 | -0,73906 | -0,48895 | 0,25144 | -0,11006 | 0 | 6,75 |
| -0,45285 | -0,41831 | -0,66722 | -0,42229 | 0,17976 | -0,12858 | 0 | 6,75 |
| -0,28476 | -0,25022 | -0,48462 | -0,26092 | 0,06369 | -0,15752 | 0 | 6,75 |
| 0,00767 | 0,04912 | -0,20578 | 0,02706 | 0,0117 | -0,17051 | 0 | 6,75 |
| 0,20109 | 0,23102 | 0,03058 | 0,22193 | 0,04697 | -0,15948 | 0 | 6,75 |
| 0,46128 | 0,48661 | 0,30185 | 0,49328 | 0,1799 | -0,14539 | 0 | 6,75 |
| 0,5718 | 0,59253 | 0,4086 | 0,61472 | 0,52792 | -0,12964 | 0,00102 | 6,75 |
| 0,51884 | 0,53496 | 0,3388 | 0,57747 | 0,6088 | -0,13843 | 0,08607 | 6,75 |
| 0,43825 | 0,44516 | 0,25356 | 0,5199 | 0,64472 | -0,15694 | 0,10601 | 6,75 |
| 0,3922 | 0,40602 | 0,21398 | 0,4608 | 0,7861 | -0,07843 | 0,02262 | 6,75 |
| 0,18957 | 0,19878 | 0,00967 | 0,26337 | 0,76837 | -0,09054 | 0 | 6,75 |
| -0,21338 | -0,19496 | -0,49176 | -0,10813 | 0,75179 | -0,14053 | 0,10302 | 6,75 |
| -0,46896 | -0,43443 | -0,78465 | -0,3933 | 0,6788 | -0,18257 | 0,05393 | 6,75 |
| -0,86271 | -0,79593 | -1,20902 | -0,88085 | 0,70689 | -0,2595 | 0,19082 | 6,75 |
| -1,22652 | -1,15514 | -1,57697 | -1,27669 | 0,77989 | -0,29657 | 0,29888 | 6,75 |
| -1,82979 | -1,7469 | -2,22584 | -1,91814 | 0,77966 | -0,45384 | 0,67466 | 6,75 |
| -2,24656 | -2,15906 | -2,58228 | -2,38168 | 1,24961 | -0,35874 | 0,79508 | 6,75 |
| -1,28408 | -1,2127 | -1,50904 | -1,41093 | 0,14271 | -0,39006 | 0 | 8,5 |
| -1,43145 | -1,31632 | -1,81022 | -1,59217 | 0,52407 | -0,37578 | 0 | 8,5 |
| -2,15446 | -2,16137 | -2,53323 | -2,14635 | 0,40387 | -0,48492 | 0 | 8,5 |

Fuente. Boore y Atkinson

Fuente. Boore y Atkinson

Tabla 98. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y Atkinson

| blin | b1 | b2 |
|-------------|-----------|-----------|
| -0,36 | -0,64 | -0,14 |
| -0,36 | -0,64 | -0,14 |
| -0,34 | -0,63 | -0,12 |
| -0,33 | -0,62 | -0,11 |
| -0,29 | -0,64 | -0,11 |
| -0,23 | -0,64 | -0,11 |
| -0,25 | -0,6 | -0,13 |
| -0,28 | -0,53 | -0,18 |
| -0,31 | -0,52 | -0,19 |
| -0,39 | -0,52 | -0,16 |
| -0,44 | -0,52 | -0,14 |
| -0,5 | -0,51 | -0,1 |
| -0,6 | -0,5 | -0,06 |
| -0,69 | -0,47 | 0 |
| -0,7 | -0,44 | 0 |
| -0,72 | -0,4 | 0 |
| -0,73 | -0,38 | 0 |
| -0,74 | -0,34 | 0 |
| -0,75 | -0,31 | 0 |
| -0,75 | -0,291 | 0 |
| -0,692 | -0,247 | 0 |
| -0,65 | -0,215 | 0 |

Fuente. Boore y Atkinson

Tabla 97. Coeficientes para la ecuación de sitio Boore y AtkinsonFuente. Boore y Atkinson

Tabla 109. Coeficientes para la ecuación de Kanno 2006 para $D < 30\text{km}$

| Periodo | a1 | b1 | c1 | d1 | ε1 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | 0,56 | -0,0031 | 0,26 | 0,0055 | 0,37 |
| 0,05 | 0,54 | -0,0035 | 0,48 | 0,0061 | 0,37 |
| 0,06 | 0,54 | -0,0037 | 0,57 | 0,0065 | 0,38 |
| 0,07 | 0,53 | -0,0039 | 0,67 | 0,0066 | 0,38 |
| 0,08 | 0,52 | -0,004 | 0,75 | 0,0069 | 0,39 |
| 0,09 | 0,52 | -0,0041 | 0,8 | 0,0071 | 0,4 |
| 0,1 | 0,52 | -0,0041 | 0,85 | 0,0073 | 0,4 |
| 0,11 | 0,5 | -0,004 | 0,96 | 0,0061 | 0,4 |
| 0,12 | 0,51 | -0,004 | 0,93 | 0,0062 | 0,4 |
| 0,13 | 0,51 | -0,0039 | 0,91 | 0,0062 | 0,4 |
| 0,15 | 0,52 | -0,0038 | 0,89 | 0,006 | 0,41 |
| 0,17 | 0,53 | -0,0037 | 0,84 | 0,0056 | 0,41 |
| 0,2 | 0,54 | -0,0034 | 0,76 | 0,0053 | 0,4 |
| 0,22 | 0,54 | -0,0032 | 0,73 | 0,0048 | 0,4 |
| 0,25 | 0,54 | -0,0029 | 0,66 | 0,0044 | 0,4 |
| 0,3 | 0,56 | -0,0026 | 0,51 | 0,0039 | 0,39 |
| 0,35 | 0,56 | -0,0024 | 0,42 | 0,0036 | 0,4 |
| 0,4 | 0,58 | -0,0021 | 0,26 | 0,0033 | 0,4 |
| 0,45 | 0,59 | -0,0019 | 0,13 | 0,003 | 0,41 |
| 0,5 | 0,59 | -0,0016 | 0,04 | 0,0022 | 0,41 |
| 0,6 | 0,62 | -0,0014 | -0,22 | 0,0025 | 0,41 |
| 0,7 | 0,63 | -0,0012 | -0,37 | 0,0022 | 0,41 |
| 0,8 | 0,65 | -0,0011 | -0,54 | 0,002 | 0,41 |
| 0,9 | 0,68 | -0,0009 | -0,8 | 0,0019 | 0,41 |
| 1 | 0,71 | -0,0009 | -1,04 | 0,0021 | 0,41 |
| 1,1 | 0,72 | -0,0007 | -1,19 | 0,0018 | 0,41 |
| 1,2 | 0,73 | -0,0006 | -1,32 | 0,0014 | 0,41 |
| 1,3 | 0,74 | -0,0006 | -1,44 | 0,0014 | 0,41 |
| 1,5 | 0,77 | -0,0005 | -1,7 | 0,0017 | 0,4 |
| 1,7 | 0,79 | -0,0005 | -1,89 | 0,0019 | 0,39 |
| 2 | 0,8 | -0,0004 | -2,08 | 0,002 | 0,39 |
| 2,2 | 0,82 | -0,0004 | -2,24 | 0,0022 | 0,38 |
| 2,5 | 0,84 | -0,0003 | -2,46 | 0,0023 | 0,38 |
| 3 | 0,86 | -0,0002 | -2,72 | 0,0021 | 0,38 |
| 3,5 | 0,9 | -0,0003 | -2,99 | 0,0032 | 0,37 |
| 4 | 0,92 | -0,0005 | -3,21 | 0,0045 | 0,38 |
| 4,5 | 0,94 | -0,0007 | -3,39 | 0,0064 | 0,38 |
| 5 | 0,92 | -0,0004 | -3,35 | 0,003 | 0,38 |

Fuente. Kanno 2006

Fuente. Kanno 2006

Tabla 114. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$

| Periodo | a2 | b2 | c2 | ε2 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | 0,41 | -0,0039 | 1,56 | 0,4 |
| 0,05 | 0,39 | -0,004 | 1,76 | 0,42 |
| 0,06 | 0,39 | -0,0041 | 1,86 | 0,43 |
| 0,07 | 0,38 | -0,0042 | 1,96 | 0,45 |
| 0,08 | 0,38 | -0,0042 | 2,03 | 0,45 |
| 0,09 | 0,38 | -0,0043 | 2,08 | 0,46 |
| 0,1 | 0,38 | -0,0043 | 2,12 | 0,46 |
| 0,11 | 0,38 | -0,0044 | 2,14 | 0,46 |
| 0,12 | 0,38 | -0,0044 | 2,14 | 0,46 |
| 0,13 | 0,38 | -0,0044 | 2,13 | 0,46 |
| 0,15 | 0,39 | -0,0044 | 2,12 | 0,46 |
| 0,17 | 0,4 | -0,0043 | 2,08 | 0,45 |
| 0,2 | 0,4 | -0,0042 | 2,02 | 0,44 |
| 0,22 | 0,4 | -0,0041 | 1,99 | 0,43 |
| 0,25 | 0,41 | -0,004 | 1,88 | 0,42 |
| 0,3 | 0,43 | -0,0038 | 1,75 | 0,42 |
| 0,35 | 0,43 | -0,0036 | 1,62 | 0,41 |
| 0,4 | 0,45 | -0,0034 | 1,49 | 0,41 |
| 0,45 | 0,46 | -0,0032 | 1,33 | 0,41 |
| 0,5 | 0,47 | -0,003 | 1,19 | 0,4 |
| 0,6 | 0,49 | -0,0028 | 0,95 | 0,4 |
| 0,7 | 0,51 | -0,0026 | 0,72 | 0,4 |
| 0,8 | 0,53 | -0,0025 | 0,49 | 0,4 |
| 0,9 | 0,56 | -0,0023 | 0,27 | 0,4 |
| 1 | 0,57 | -0,0022 | 0,08 | 0,41 |
| 1,1 | 0,59 | -0,0022 | -0,08 | 0,41 |
| 1,2 | 0,6 | -0,0021 | -0,24 | 0,41 |
| 1,3 | 0,62 | -0,002 | -0,4 | 0,41 |
| 1,5 | 0,64 | -0,002 | -0,63 | 0,41 |
| 1,7 | 0,66 | -0,0018 | -0,83 | 0,4 |
| 2 | 0,68 | -0,0017 | -1,12 | 0,4 |
| 2,2 | 0,69 | -0,0017 | -1,27 | 0,4 |
| 2,5 | 0,71 | -0,0017 | -1,48 | 0,39 |
| 3 | 0,73 | -0,0017 | -1,72 | 0,39 |
| 3,5 | 0,75 | -0,0017 | -1,97 | 0,38 |
| 4 | 0,77 | -0,0016 | -2,22 | 0,37 |
| 4,5 | 0,79 | -0,0016 | -2,45 | 0,36 |
| 5 | 0,82 | -0,0017 | -2,7 | 0,35 |

Fuente. Kanno 2006

Tabla 113. Coeficientes para la ecuación Kanno 2006 $D > 30\text{km}$ Fuente. Kanno 2006

Tabla 123. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo

| periodo | c1 | c2 | c3 | c4* | c5* |
|---------|--------|---------|--------|------|------|
| 0 | 0 | 0 | -2,329 | 1,45 | -0,1 |
| 0,075 | 2,4 | -0,0019 | -2,697 | 1,45 | -0,1 |
| 0,1 | 2,516 | -0,0019 | -2,697 | 1,45 | -0,1 |
| 0,2 | 1,549 | -0,0019 | -2,464 | 1,45 | -0,1 |
| 0,3 | 0,793 | -0,002 | -2,327 | 1,45 | -0,1 |
| 0,4 | 0,144 | -0,002 | -2,23 | 1,45 | -0,1 |
| 0,5 | -0,438 | -0,0035 | -2,14 | 1,45 | -0,1 |
| 0,75 | -1,704 | -0,0048 | -1,952 | 1,45 | -0,1 |
| 1 | -2,87 | -0,0066 | -1,785 | 1,45 | -0,1 |
| 1,5 | -5,101 | -0,0114 | -1,47 | 1,5 | -0,1 |
| 2 | -6,433 | -0,0164 | -1,29 | 1,55 | -0,1 |
| 3 | -6,672 | -0,0221 | -1,347 | 1,65 | -0,1 |
| 4 | -7,618 | -0,0235 | -1,272 | 1,65 | -0,1 |

Fuente. Youngs

Tabla 122. Coeficientes para la ecuación Youngs para predicción de movimiento de suelo Fuente. Youngs

Tabla 134. Coeficientes para la ecuación de predicción de movimiento de suelo según Zhao

| Periodo T(s) | a | b | c | d | e | SR | SI | Ss | SsL | CH | C1 | C2 | C3 | C4 |
|--------------|-------|----------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,00 | 1,101 | -0,00564 | 0,0055 | 1,080 | 0,01412 | 0,251 | 0,000 | 2,607 | -0,528 | 0,239 | 1,111 | 1,344 | 1,355 | 1,420 |
| 0,05 | 1,076 | -0,00671 | 0,0075 | 1,060 | 0,01463 | 0,251 | 0,000 | 2,764 | -0,551 | 0,939 | 1,684 | 1,793 | 1,747 | 1,814 |
| 0,10 | 1,118 | -0,00787 | 0,0090 | 1,083 | 0,01423 | 0,240 | 0,000 | 2,156 | -0,420 | 1,499 | 2,061 | 2,135 | 2,031 | 2,082 |
| 0,15 | 1,134 | -0,00722 | 0,0100 | 1,053 | 0,01509 | 0,251 | 0,000 | 2,161 | -0,431 | 1,462 | 1,916 | 2,168 | 2,052 | 2,113 |
| 0,20 | 1,147 | -0,00659 | 0,0120 | 1,014 | 0,01462 | 0,260 | 0,000 | 1,901 | -0,372 | 1,280 | 1,669 | 2,085 | 2,001 | 2,030 |
| 0,25 | 1,149 | -0,00590 | 0,0140 | 0,966 | 0,01459 | 0,027 | 0,000 | 1,814 | -0,360 | 1,121 | 1,468 | 1,942 | 1,941 | 1,937 |
| 0,30 | 1,163 | -0,00520 | 0,0150 | 0,934 | 0,01458 | 0,259 | 0,000 | 2,181 | -0,450 | 0,852 | 1,172 | 1,683 | 1,808 | 1,770 |
| 0,40 | 1,2 | -0,00422 | 0,0100 | 0,959 | 0,01257 | 0,248 | -0,041 | 2,432 | -0,506 | 0,365 | 0,655 | 1,127 | 1,482 | 1,397 |
| 0,50 | 1,25 | -0,00338 | 0,0060 | 1,008 | 0,01114 | 0,247 | -0,053 | 2,629 | -0,554 | -0,207 | 0,071 | 0,515 | 0,934 | 0,955 |
| 0,60 | 1,293 | -0,00282 | 0,0030 | 1,088 | 0,01019 | 0,233 | -0,103 | 2,702 | -0,575 | -0,705 | -0,429 | -0,003 | 0,394 | 0,559 |
| 0,70 | 1,336 | -0,00258 | 0,0025 | 1,084 | 0,00979 | 0,220 | -0,146 | 2,654 | -0,572 | -1,144 | -0,866 | -0,449 | -0,111 | 0,188 |
| 0,80 | 1,386 | -0,00242 | 0,0022 | 1,088 | 0,00944 | 0,232 | -0,164 | 2,480 | -0,540 | -1,609 | -1,325 | -0,928 | -0,620 | -0,246 |
| 0,90 | 1,433 | -0,00232 | 0,0020 | 1,109 | 0,00972 | 0,220 | -0,206 | 2,332 | -0,522 | -2,023 | -1,732 | -1,349 | -1,066 | -0,643 |
| 1,00 | 1,479 | -0,00220 | 0,0020 | 1,115 | 0,01005 | 0,211 | -0,239 | 2,233 | -0,509 | -2,451 | -2,152 | -1,776 | -1,523 | -1,084 |
| 1,25 | 1,551 | -0,00207 | 0,0020 | 1,083 | 0,01003 | 0,251 | -0,256 | 2,029 | -0,469 | -3,243 | -2,923 | -2,542 | -2,327 | -1,936 |
| 1,50 | 1,621 | -0,00224 | 0,0020 | 1,091 | 0,00928 | 0,248 | -0,306 | 1,589 | -0,379 | -3,888 | -3,548 | -3,169 | -2,979 | -2,661 |
| 2,00 | 1,694 | -0,00201 | 0,0025 | 1,055 | 0,00833 | 0,263 | -0,320 | 0,966 | -0,248 | -4,783 | -4,410 | -4,039 | -3,871 | -3,640 |
| 2,50 | 1,748 | -0,00187 | 0,0028 | 1,052 | 0,00776 | 0,262 | -0,337 | 0,789 | -0,221 | -5,444 | -5,049 | -4,698 | -4,496 | -4,341 |
| 3,00 | 1,759 | -0,00147 | 0,0032 | 1,025 | 0,00644 | 0,307 | -0,331 | 1,037 | -0,263 | -5,839 | -5,431 | -5,089 | -4,893 | -4,758 |
| 4,00 | 1,826 | -0,00195 | 0,0040 | 1,044 | 0,00590 | 0,353 | -0,390 | 0,561 | -0,169 | -6,598 | -6,181 | -5,882 | -5,698 | -5,588 |
| 5,00 | 1,825 | -0,00237 | 0,0050 | 1,065 | 0,00510 | 0,248 | -0,498 | 0,225 | -0,120 | -6,752 | -6,347 | -6,051 | -5,873 | -5,798 |

Fuente. Zhao 2006

Fuente. Zhao 2006

