



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**DESEMPEÑO DE EDIFICIOS ESENCIALES DURANTE SISMOS EN
ECUADOR – CASO GARAJES O ESTACIONAMIENTOS PARA
VEHÍCULOS Y AVIONES QUE ATIENDEN EMERGENCIAS, TORRES DE
CONTROL AÉREO, CENTROS DE TELECOMUNICACIONES Y CENTROS
DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS.**

AUTOR:

Feijóo González, Eddie Rafael

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, MSc.

Guayaquil, Ecuador

13 de septiembre de 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por:
Feijóo González, Eddie Rafael, como requerimiento para la obtención del título de
Ingeniero Civil.

TUTOR

f. _____

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, MSc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther. MSc.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2019.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Feijóo González, Eddie Rafael,**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**DESEMPEÑO DE EDIFICIOS ESENCIALES DURANTE SISMOS EN ECUADOR – CASO GARAJES O ESTACIONAMIENTOS PARA VEHÍCULOS Y AVIONES QUE ATIENDEN EMERGENCIAS, TORRES DE CONTROL AÉREO, CENTROS DE TELECOMUNICACIONES Y CENTROS DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS**” previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR

f. _____
Feijóo González, Eddie Rafael



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, Feijóo González, Eddie Rafael

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“DESEMPEÑO DE EDIFICIOS ESENCIALES DURANTE SISMOS EN ECUADOR – CASO GARAJES O ESTACIONAMIENTOS PARA VEHÍCULOS Y AVIONES QUE ATIENDEN EMERGENCIAS, TORRES DE CONTROL AÉREO, CENTROS DE TELECOMUNICACIONES Y CENTROS DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR:

f. _____

Feijóo González, Eddie Rafael

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Feijoo_Eddie_Final.pdf (D55119943)
Submitted: 8/30/2019 1:50:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 4 %

Sources included in the report:

http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17041/1/JORDAN_ANGEL_AGUILAR_M%C3%92NICA_TRABAJO%20_TITULACI%C3%93N_ESTRUCTURAS_2016.pdf
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16259/TESIS%20Mar%C3%ADa%20Sanabria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/541/454>
<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/457-sismo-de-bah%C3%ADa-de>
<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1325-el-instituto-geofisico-de-la>
<https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1572-dos-anos-despues-del->

Instances where selected sources appear:

33

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le doy gracias a Dios por guiarme y darme total esperanza, fe y fortaleza para poder decidir correctamente y permitirme lograr cumplir con unos de mis objetivos de vida la cual es ser un futuro profesional.

A mis amados padres, Ing. Roosevelt Emilio Feijóo Cruz y Diosa Jacqueline González Franco, mi hermano, Ing. Andrés Emilio Feijóo González, por brindarme su apoyo en la carrera cuando la necesité.

A mis abuelitos que en paz descansen y me hacen falta, Emilio Feijóo y Rosa Cruz y por supuesto a mi abuelita Emma Franco que gracias a su ejemplo de perseverancia me ha servido mucho como modelo de vida.

Por último, a mí tutor de tesis, el Ing. Alex Villacrés Sánchez, por ayudarnos en todo lo que fue mi trabajo de tesis.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por guiarme siempre por el buen camino y ser mi constante bendición. También a toda mi familia por su ayuda y constante apoyo, gracias por enseñarme a seguir adelante.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

f. _____

Ing. Alex Villacrés Sánchez, MSc.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas MSc.

DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Guillermo Ponce Vásquez, MSc.

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. José Barros Cabezas, MSc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

1	CAPÍTULO I	2
1.1	Introducción	2
1.1.1	Antecedentes	2
1.1.2	Justificación	2
1.2	Objetivos de la investigación	3
1.2.1	Objetivo General	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Alcance	3
1.4	Metodología de la investigación	3
2	CAPÍTULO II	5
2.1	Recopilación de información	5
2.1.1	Periódicos y sitio web	5
2.1.2	Expreso	5
2.1.3	El Comercio	6
2.1.4	El Diario	6
2.1.5	Artículos científicos	7
2.1.6	Proyecto RADIUS	7
3	CAPÍTULO III	8
3.1	Información de Sismos	8
3.1.1	Sismo del año de 1980	8
3.1.2	Sismo del año de 1998	9
3.1.3	Sismo del año de 2016	9
3.2	Selección de edificios	10
3.2.1	Ex edificio IETEL de Guayaquil.	10
3.2.2	Ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.	11
3.2.3	ECU-911 de Samborondón	15
3.2.4	ECU-911 de Portoviejo	17
3.2.5	Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta	18
3.2.6	CNT de Portoviejo	21
3.2.7	CNEL de Manta	23
3.2.8	Aeropuerto Los Perales de San Vicente	27
3.2.9	CNT de Bahía de Caráquez	28
4	CAPÍTULO IV	30

4.1	Metodología de la investigación.....	30
4.1.1	Curvas de peligro sísmico	30
4.1.2.	Zonificación sísmica y factor de zona Z.....	32
4.1.3.	Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico	33
4.1.4.	Espectro elástico de respuesta de aceleraciones	35
4.1.5.	Período de vibración de la estructura.....	37
4.1.6.	Espectro elástico de desplazamiento	37
4.1.7.	Deriva máxima.....	38
4.1.8.	Estructuras de ocupación esencial	39
4.2.	Caracterización del tipo de suelo	39
4.3.	Estaciones de acelerógrafos	44
4.3.1.	Generalidades	44
4.3.2.	Espectro de respuesta Portoviejo.....	47
4.3.3.	Espectro de respuesta Manta.....	48
4.3.4.	Espectro de respuesta Guayaquil	50
5	CAPÍTULO V	52
5.1	Memoria técnica	52
5.1.1.	Caracterización de factor z	52
5.1.2.	Tipos de suelo.....	54
5.1.3.	Período de vibración de las estructuras	74
5.1.4.	Desplazamiento elástico y deriva inelástica	75
5.1.5.	Desempeño sísmico.....	80
6	CAPÍTULO VI	94
6.1	Conclusiones y recomendaciones	94
6.1.1.	Conclusiones	94
6.1.2.	Recomendaciones	95
7	Bibliografía	96

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Información general de los edificios.	10
Tabla 2. Niveles de amenaza sísmica.	30
Tabla 3. Valores z sismo para raro.	33
Tabla 4. Clasificación de los tipos de suelo.	33
Tabla 5. Tipo de suelo y factor de sitio Fa.	34
Tabla 6. Tipo de suelo y factor Fd.	34
Tabla 7. Tipo de suelo y factor Fs.	35
Tabla 8. Parámetros para el espectro de aceleración.	36
Tabla 9. Tipo de suelo de las edificaciones.	44
Tabla 10. Parámetros para los espectros de respuesta de aceleración de diseño NEC-15 y tipo de suelo para las estaciones APED, PDNS, AMNT, APO1, ACHN y AGY2.	46
Tabla 11. Determinación de valores Sa. Curvas de peligro sísmico Portoviejo.	52
Tabla 12. Determinación de valores Sa. Curvas de peligro sísmico Guayaquil.	53
Tabla 13. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.	54
Tabla 14. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.	55
Tabla 15. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.	55
Tabla 16. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.	56
Tabla 17. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.	56
Tabla 18. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Guayaquil.	57
Tabla 19. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Guayaquil.	58
Tabla 20. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Guayaquil.	58
Tabla 21. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Guayaquil.	59
Tabla 22. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Guayaquil.	59
Tabla 23. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.	61
Tabla 24. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.	61
Tabla 25. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.	62
Tabla 26. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.	62
Tabla 27. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.	63
Tabla 28. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.	64
Tabla 29. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.	65
Tabla 30. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.	65
Tabla 31. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.	66
Tabla 32. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.	66
Tabla 33. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.	68
Tabla 34. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.	68
Tabla 35. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.	69
Tabla 36. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.	69
Tabla 37. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.	70
Tabla 38. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Guayaquil.	71
Tabla 39. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Guayaquil.	72
Tabla 40. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Guayaquil.	72

Tabla 41. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Guayaquil.	73
Tabla 42. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Guayaquil.	73
Tabla 43. Cálculo de período para estructuras de suelo tipo E.	74
Tabla 44. Cálculo de período para estructuras de suelo tipo D.	75
Tabla 45. Cálculo de las derivas para edificaciones ubicadas en suelo tipo D.	79
Tabla 46. Cálculo de las derivas para edificaciones ubicadas en suelo tipo E.	80
Tabla 47. Tabla de valores obtenidos y sus observaciones.	93

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Instalaciones ECU-911 Samborondón. Fuente: “Expreso”, 2016.....	5
Ilustración 2. Entrega de equipo móvil. Fuente: “El Comercio”, 2016.....	6
Ilustración 3. Edificio CNT Portoviejo. Fuente: “El Diario”, 2016.....	7
Ilustración 4. Daño a edificios de hormigón armado. Mapa extraído de proyecto RADIUS, 1980.....	8
Ilustración 5. Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto. Foto extraída de IG-EPN, 2016.....	9
Ilustración 6. Edificio IETEL. Ficha de vulnerabilidad de edificios. Foto extraída de proyecto RADIUS, 1980.....	11
Ilustración 7. Adosamiento entre estructuras. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.....	12
Ilustración 8. Desprendimiento de enlucido. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.....	12
Ilustración 9. Fisura longitudinal en paredes. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.....	13
Ilustración 10. Daños en puertas y desprendimiento de enlucido. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.....	13
Ilustración 11. Fisura en paredes y desprendimiento de enlucido. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.....	14
Ilustración 12. Fisuras en pared y esquina de ventanas. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.....	14
Ilustración 13. Falla por cortante en columna. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.....	15
Ilustración 14. Edificio ECU-911 Samborondón. Tomada de: “El Universo”, 2016.....	15
Ilustración 15. Ubicación geográfica ECU-911 Samborondón. Tomada de Google Earth, 2015.....	16
Ilustración 16. Caída de tumbado ECU-911. Tomada de: “El Universo”, 2016.....	16
Ilustración 17. Edificio ECU-911 Portoviejo después del sismo de 2016. Tomado de GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.....	17
Ilustración 18. Fisura en fachada del edificio ECU-911 Portoviejo. Tomado de: GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.....	17
Ilustración 19. Ubicación geográfica ECU-911 Portoviejo. Foto extraída de Google Earth, 2015.....	18
Ilustración 20. Antigua torre de control aérea. Foto extraída de Google Earth, 2015.....	18
Ilustración 21. Torre de control aérea Manta después del sismo 2016. Fuente: Ecuavisa, 2016.....	19
Ilustración 22. Localización de la torre de control aérea Eloy Alfaro. Fuente: GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.....	19
Ilustración 23. Fisuras y colapso de paredes en Aeropuerto Eloy Alfaro. Fuente: GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.....	20
Ilustración 24. Colapso parcial de pared donde hubo clavijas de las columnas incrustadas en la pared. Fuente: GEER-ATC Earthquake Reconnaissance.2016.....	20
Ilustración 25. Ubicación geográfica Aeropuerto Eloy Alfaro Manta. Foto extraída de Google Earth, 2015.....	21
Ilustración 26. Edificio CNT Portoviejo. Tomada de: “El Diario”, 2016.....	21
Ilustración 27. Edificio CNT Portoviejo después del sismo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016.....	22
Ilustración 28. Edificio CNT Portoviejo después del sismo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016.....	22
Ilustración 29. Ubicación geográfica CNT Portoviejo. Foto extraída de Google Earth, 2015.....	23
Ilustración 30. Edificio CNEL de Manta después del sismo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016.....	24

Ilustración 31. Desprendimiento de enlucido de la columna. Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.	24
Ilustración 32. Separación de la escalera después del sismo del edificio CNEL Manta. Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.....	25
Ilustración 33. Desprendimiento de recubrimiento en viga después del sismo del edificio CNEL Manta. Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.	25
Ilustración 34. Grietas en mampostería después del sismo del edificio CNEL Manta. Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.	26
Ilustración 35. Pared desprendida después de sismo del edificio CNEL Manta. Fuente: Ing. Roberto Aguiar. 2016.....	26
Ilustración 36. Ubicación geográfica edificio CNEL Manta. Tomado de Google Earth.	27
Ilustración 37. Golpeteo y colapso de techo en aeropuerto Los Perales San Vicente. Fuente: GEER-ATC Earthquake Reconnaissance, 2016.	27
Ilustración 38. Golpeteo de columna aeropuerto Los Perales San Vicente. Fuente: GEER-ATC Earthquake Reconnaissance, 2016.	28
Ilustración 39. Edificio CNT Bahía de Caráquez. Tomado de Google Earth, 2015.....	28
Ilustración 40. Actual edificio CNT Bahía de Caráquez. Tomado por el autor, 2019.	29
Ilustración 41. Ubicación geográfica edificio CNT Bahía de Caráquez. Tomado de Google Earth, 2015.....	29
Ilustración 42. Curvas de peligro sísmico, Guayaquil. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.	31
Ilustración 43. Curvas de peligro sísmico, Portoviejo. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.	31
Ilustración 44. Mapa de zonas sísmicas de Ecuador. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.	32
Ilustración 45. Valores de Z en función de la zona sísmica. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.....	32
Ilustración 46. Espectro elástico de respuesta de aceleraciones. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.....	36
Ilustración 47. Selección de C_t y α según el tipo de edificio. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.....	37
Ilustración 48. Espectro sismo elástico de desplazamiento para diseño. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015	38
Ilustración 49. Valores de deriva máximos. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.....	39
Ilustración 50. Nivel de desempeño estructural para estructuras esenciales y especiales. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015	39
Ilustración 51. Caracterización de suelo mediante ondas de corte V_s 30 en la ciudad de Manta. Fuente: Escuela Superior Politécnica del Ejército-ESPE	40
Ilustración 52. Caracterización de suelo mediante ondas de corte V_s 30 en la ciudad de Portoviejo. Fuente: Escuela Superior Politécnica del Ejército-ESPE	40
Ilustración 53 .Caracterización de suelo mediante ondas de corte V_s 30 en la ciudad de Bahía de Caráquez. Fuente: Escuela Superior Politécnica del Ejército-ESPE.....	41
Ilustración 54. Mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil. Fuente: Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil.	42
Ilustración 55. Leyenda del mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil. Fuente: Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil	42
Ilustración 56. Ubicación de ex edificio IETEL. Zonas Geotécnicas para la ciudad de Guayaquil.....	43

Ilustración 57. Caracterización Geotécnica de los materiales en función de las Vs. Fuente: Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil.....	43
Ilustración 58. Ubicación de las estaciones en la ciudad de Guayaquil. Mapa extraído del proyecto RADIUS.....	45
Ilustración 59. Espectros de aceleración para componentes horizontales con el 5% de amortiguamiento. Gráfico extraído del documento de la IG-EPN.....	45
Ilustración 60. Comparación de espectros de sitio y espectros de diseño NEC-15 para las distintas estaciones. Fuente GEER-ATC Earthquake Reconnaissance.	46
Ilustración 61. Espectro de respuesta Portoviejo suelo tipo D.....	47
Ilustración 62. Espectro de desplazamiento Portoviejo suelo tipo D.	47
Ilustración 63. Espectro de respuesta modificado Manta suelo tipo D.	49
Ilustración 64. Espectro de desplazamiento modificado Manta suelo tipo D.	49
Ilustración 65. Espectro de respuesta modificado Manta suelo tipo E.....	50
Ilustración 66. Espectro de desplazamiento modificado Manta suelo tipo E.	50
Ilustración 67. Espectro de respuesta Guayaquil suelo tipo E.	51
Ilustración 68. Espectro de respuesta Guayaquil suelo tipo E.	51
Ilustración 69. Espectros curva de peligro sísmico Portoviejo. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.....	52
Ilustración 70. Espectros curva de peligro sísmico Guayaquil. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.....	53
Ilustración 71. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo B. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.	57
Ilustración 72. Espectros de aceleración Guayaquil suelo tipo B. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.	60
Ilustración 73. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo C. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.	63
Ilustración 74. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo D. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.	67
Ilustración 75. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo E. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.....	70
Ilustración 76. Espectros de aceleración Guayaquil suelo tipo F. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.....	74
Ilustración 77. Valor Sd para ex edificio IETEL de Guayaquil.	76
Ilustración 78. Valor Sd para ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.	77
Ilustración 79. Valor Sd para edificio ECU-911 de Portoviejo.	77
Ilustración 80. Valor Sd para edificio CNT de Portoviejo.....	77
Ilustración 81. Valor Sd para torre de control Los Perales de San Vicente.	78
Ilustración 82. Valor Sd para edificio CNEL de Manta.....	78
Ilustración 83. Valor Sd para torre de control Eloy Alfaro de Manta.	78
Ilustración 84. Valor Sd para edificio ECU-911 de Samborondón.....	79
Ilustración 85. Desempeño sísmico ex edificio IETEL de Guayaquil.	81
Ilustración 86. Desempeño sísmico ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.	82
Ilustración 87. Desempeño sísmico edificio ECU-911 de Portoviejo.....	83
Ilustración 88. Desempeño sísmico edificio CNT de Portoviejo.	84
Ilustración 89. Desempeño sísmico torre de control del aeropuerto Los Perales de San Vicente.....	85
Ilustración 90. Desempeño sísmico edificio CNEL de Manta.	86

Ilustración 91. Desempeño sísmico torre de control aérea del aeropuerto Eloy Alfaro de Manta.	87
Ilustración 92. Desempeño sísmico edificio ECU-911 de Samborondón.	88
Ilustración 93. R efectivo para ex edificio IETEL de Guayaquil.	89
Ilustración 94. R efectivo para ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.	90
Ilustración 95. R efectivo para edificio ECU-911 de Portoviejo.	90
Ilustración 96. R efectivo para edificio CNT de Portoviejo.	91
Ilustración 97. R efectivo para torre de control de San Vicente.	91
Ilustración 98. R efectivo para edificio CNEL de Manta.	92
Ilustración 99. R efectivo para torre de control aérea de Manta.	92
Ilustración 100. R efectivo para edificio ECU-911 de Samborondón.	93

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo determinar el desempeño sísmico de edificaciones esenciales durante sismos en Ecuador a partir de 1977, enfocándose en garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centro de telecomunicaciones y centro de atención de emergencias en todo el territorio ecuatoriano, ya que muchas de éstas estructuras sufrieron graves afectaciones por el cual se dará a conocer los diversos factores de vulnerabilidad que afectaron al comportamiento sísmico.

La metodología consiste con la recopilación de información para identificar las edificaciones esenciales durante sismos de 1980, 1998 y 2016, por medio de periódicos e informes elaborados por diferentes profesionales, donde se determinó el tipo de suelo en el cual se asentaron las edificaciones para elaborar los espectros de diseño y espectros de respuesta. Posteriormente se obtuvo el período de vibración y derivas efectivas, para determinar el tipo de sismo de cada edificación con la finalidad de determinar el desempeño sísmico de acuerdo a la norma ecuatoriana de construcción.

Palabras Clave: Desempeño sísmico, estructuras, vulnerabilidad, espectros de respuesta, derivas y periodo de vibración.

ABSTRACT

The purpose of this work is to determine the seismic performance of essential buildings during earthquakes in Ecuador from 1977, focusing on garages or parking for vehicles and airplanes that attend emergencies, air control towers, telecommunication centers and emergencies service center throughout the Ecuadorian territory, since many of these structures suffered serious damages by different vulnerability factors that affected the seismic behavior.

The methodology consists of the collection of information to identify the essential buildings during earthquakes of 1980, 1998 and 2016, through newspapers and reports prepared by different professionals where the type of soil on the buildings settled to prepare the design spectra and response spectra. Subsequently, the period of vibration and effective drifts were obtained to determine the type of earthquake of each building in order to determine the seismic performance according to the Ecuadorian construction standard.

Key words: Seismic performance, structures, vulnerability, response spectra, drifts and period of vibration.

1 CAPÍTULO I

1.1 Introducción

1.1.1 Antecedentes

El desempeño de los edificios sismo-resistentes en el Ecuador ha sido diferenciado por los códigos y normas de la construcción para tres categorías de estructuras: esenciales, ocupación especial y otras estructuras. Además, los garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centros de telecomunicaciones y centros de atención de emergencias se consideran como estructuras esenciales y según las normas, en dichas edificaciones se deben limitar los daños estructurales para buscar elevar el nivel de protección y que dichas estructuras puedan mantenerse operacionales aun después de la ocurrencia del movimiento sísmico de diseño. Se catalogó como el sismo con período de retorno de 475 años cuya tasa anual de excedencia es de 0,00211 y las normas ecuatorianas lo denominan como sismo raro.

No obstante, durante los sismos ocurridos después de la aparición del Código Ecuatoriano de la Construcción de 1977, se pudo observar varios casos de garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centros de telecomunicaciones y centros de atención de emergencias; que sufrieron daños fuera de operación, teniendo en cuenta que, cuando las características de dichos sismos en los sitios de ubicación de esas edificaciones, correspondían a sismos frecuentes u ocasionales iban a causar dichos daños.

Por otra parte, el sismo del 16 de abril de 2016, se presentaron casos de edificios esenciales que quedaron fuera de operación después del evento. Y por el contrario, hubieron casos de edificaciones esenciales que continuaron en operación y prestando servicios, aún después de sismos ocasionales o raros. Por lo que, es necesario estudiar las causas de este comportamiento diverso de cada una de las estructuras esenciales en el Ecuador, a fin de reformular las normas para el diseño y construcción sismo-resistente de las mismas.

1.1.2 Justificación.

El presente trabajo de titulación tendrá el enfoque en el comportamiento de las estructuras esenciales durante los sismos: como: garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centro de

telecomunicaciones y centro de atención de emergencias. Por lo que, hay que tener en cuenta que, el Ecuador se encuentra localizado en un territorio altamente sísmico, en especial la zona costera, por lo tanto es necesario estudiar las causas de ese comportamiento diverso de estas estructuras esenciales durante sismos, con el objetivo de reformular las normas de construcción sismo-resistente del país.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

Definir el desempeño de garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centros de telecomunicaciones y centros de atención de emergencias; durante los sismos ocurridos en Ecuador.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las causas del desempeño de las edificaciones esenciales durante los sismos en Ecuador.
- Proponer soluciones para las especificaciones de las normas ecuatorianas de diseño y construcción sismo-resistentes y así evitar las fallas en el desempeño de esas edificaciones esenciales durante sismos frecuentes, ocasionales, raros o muy raros.

1.3 Alcance

Dentro de la investigación se basa en los edificios esenciales como: los garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias las torres de control aéreo, los centros de telecomunicaciones y los centros de atención de emergencias. Con el fin de poder determinar si, el desempeño sísmico o estructural correspondió a las especificaciones de los códigos o normas ecuatorianas para el diseño y construcción sismo-resistentes. En ambos casos como positivo y negativo. En el presente trabajo de titulación detallará la explicación del desempeño a partir de la información que se va recopilando.

1.4 Metodología de la investigación

En el presente trabajo de titulación, se va a recopilar información existente sobre garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centros de telecomunicaciones y centros de atención de

emergencias; que hayan sufrido daños durante los sismos ocurridos en el Ecuador a partir del año de 1977.

Además, se procede a definir los factores de irregularidad en planta y elevación, los factores de vulnerabilidad estructural y el período de vibración fundamental de cada edificación, de acuerdo a las especificaciones de la norma y se obtendrá información que va a poder permitir, definir el tipo de suelo existente en cada una de las edificaciones antes señaladas, de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS (suelos tipo A, B, C, D, E o F).

Se obtendrá los acelerogramas y los espectros de respuesta a los movimientos del suelo durante sismos, para las ubicaciones de las edificaciones en estudio y así determinar el desempeño sísmico del mismo.

2 CAPÍTULO II

2.1 Recopilación de información

Para poder analizar el siguiente trabajo de titulación se procede a recopilar las fuentes y tipos de información que servirán de apoyo dentro del proceso, las cuales se las detallará a continuación.

2.1.1 Periódicos y sitio web

Los periódicos como El Comercio, El Universo, Expreso, La Hora y El Diario, fueron consultados para recopilar información de los daños que sufrieron las estructuras causados por los sismos, a partir del año de 1977.

2.1.2 Expreso

Según el diario Expreso, el día 27 de abril de 2016, se publicó que cinco edificaciones de Samborondón fueron evacuados tras el sismo del 16 de abril de 2016, entre esos, el edificio ECU-911 de Samborondón. Por lo que se efectuaron las debidas inspecciones en dichas instalaciones y se logró asegurar que no hubo daños graves. (Expreso, 2016)

En la ilustración 1, se observan los daños de las instalaciones dentro del ECU-911 de la ciudad de Samborondón.



Ilustración 1. Instalaciones ECU-911 Samborondón. Fuente: “Expreso”, 2016.

2.1.3 El Comercio

El día 26 de abril de 2016, El Comercio publicó que el aeropuerto Eloy Alfaro de Manta cuenta con una nueva torre móvil, mencionando que dicho aeropuerto iba a retomar sus actividades luego de que el terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016 provocara el colapso de la torre de control aérea de cinco pisos. (El Comercio, 2016)

En la ilustración 2, se visualiza la entrega de los equipos móviles.



Ilustración 2. Entrega de equipo móvil. Fuente: “El Comercio”, 2016.

2.1.4 El Diario

Además, el 4 de septiembre de 2016 El Diario, publicó sobre el edificio CNEL ubicado en la ciudad de Manta. José García, el administrador de la Unidad de Negocios de la CNEL Manta, explicó que las estructuras principales como las columnas, losas y vigas no sufrieron mayores daños y por esta razón el edificio se salvó de una demolición. (El Diario, 2016)

En la ilustración 3 se observa el edificio CNEL de la ciudad de Manta, después del sismo del 16 de abril de 2016.



Ilustración 3. Edificio CNT Portoviejo. Fuente: “El Diario”, 2016.

2.1.5 Artículos científicos

Se utilizó el artículo del Ing. Hugo Bonifaz García, Tipos de perfil de suelo para diseño sísmico en Manta, Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez ciudades afectadas por el sismo del 16 Abril del 2016. Perteneciente a la universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, como guía para clasificar los tipos de suelo para distintas ciudades de Manabí. También se utilizó el proyecto GEER-ATC Earthquake Reconnaissance. Para el caso de la ciudad de Guayaquil se utilizó el proyecto del Dr. Javier Vera, elaboración del documento de la microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la norma ecuatoriana de la construcción 2011, realizado por GEOESTUDIOS S.A.

2.1.6 Proyecto RADIUS

El proyecto RADIUS de 1999 dirigido por el ingeniero Jaime Argudo, PhD. Otorgó información representativa acerca de los estudios de los eventos efectuados por los movimientos sísmicos en los años de 1980 y 1998, con la finalidad de exponer los daños ocurridos en las edificaciones de Guayaquil a detalle.

3 CAPÍTULO III

3.1 Información de Sismos

3.1.1 Sismo del año de 1980

El 18 de agosto de 1980, ocurrió un evento sísmico de $M_s=6.1$, el epicentro estuvo situado en la ciudad de Nobol y con una profundidad de 74 kilómetros, se estimó una intensidad de VII en la escala modificada de Mercalli. (RADIUS, 1999).

Según (RADIUS, 1999), ningún edificio de hormigón armado tuvo daños severos, en el centro de Guayaquil fue común el agrietamiento de paredes, fisuras en los elementos estructurales, las roturas de vidrios y la caída de objetos ornamentales.

La ilustración 4 nos muestra la distribución de los edificios de hormigón armado afectados por el sismo del 18 de agosto de 1980.

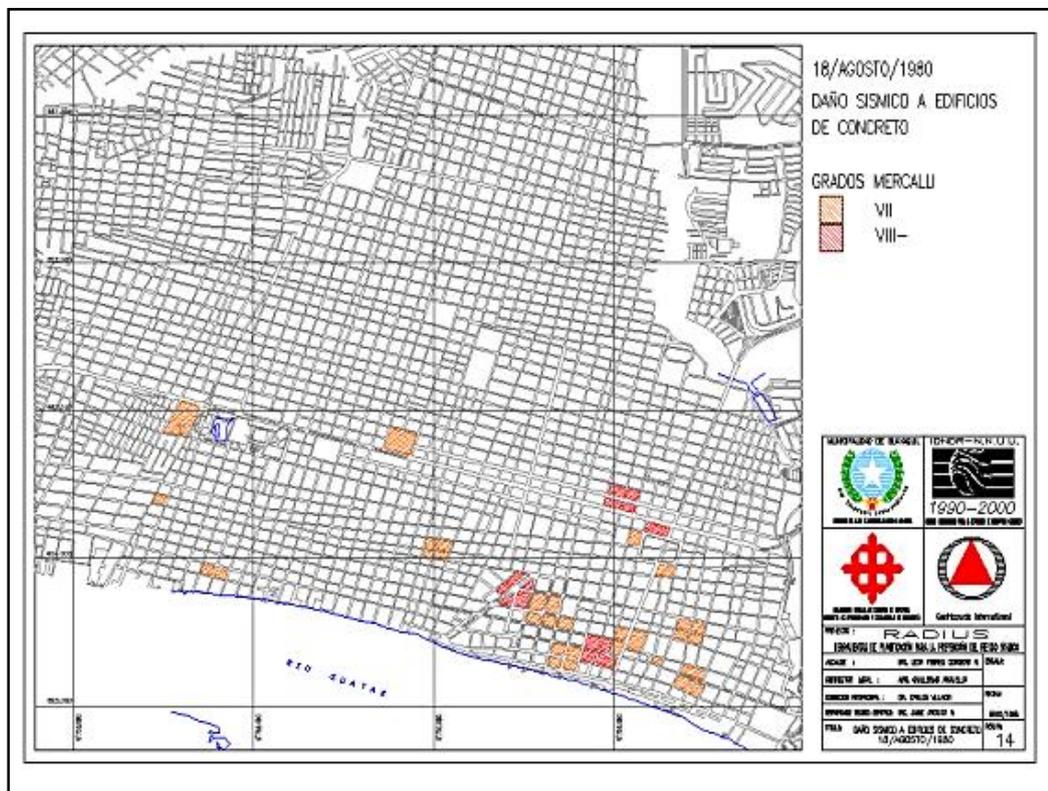


Ilustración 4. Daño a edificios de hormigón armado. Mapa extraído de proyecto RADIUS, 1980.

3.1.2 Sismo del año de 1998

El 4 de agosto de 1998, se registró un evento sísmico de $M_s=7.1$, cuyo epicentro fue localizado frente a las costas de Bahía de Caráquez a 37 kilómetros de profundidad y con una intensidad de VIII en la escala modificada de Mercalli, su duración fue de 11 segundos, el cual provocó daños estructurales en algunos edificios ubicados en la ciudad. (IG-EPN, 2011).

3.1.3 Sismo del año de 2016

El 16 de abril de 2016 las 18:58 p.m. la costa ecuatoriana fue sacudida por un terremoto $7,8 M_w$ es decir magnitud de momento, su epicentro estuvo localizado cerca del pueblo de Muisne el cual se originó, debido a la liberación de energía en la zona de contacto entre las placas Nazca y el Bloque Norandino. (IG-EPN, 2018)

En la ilustración 5, se muestra el mapa de intensidades de las principales ciudades del Ecuador.

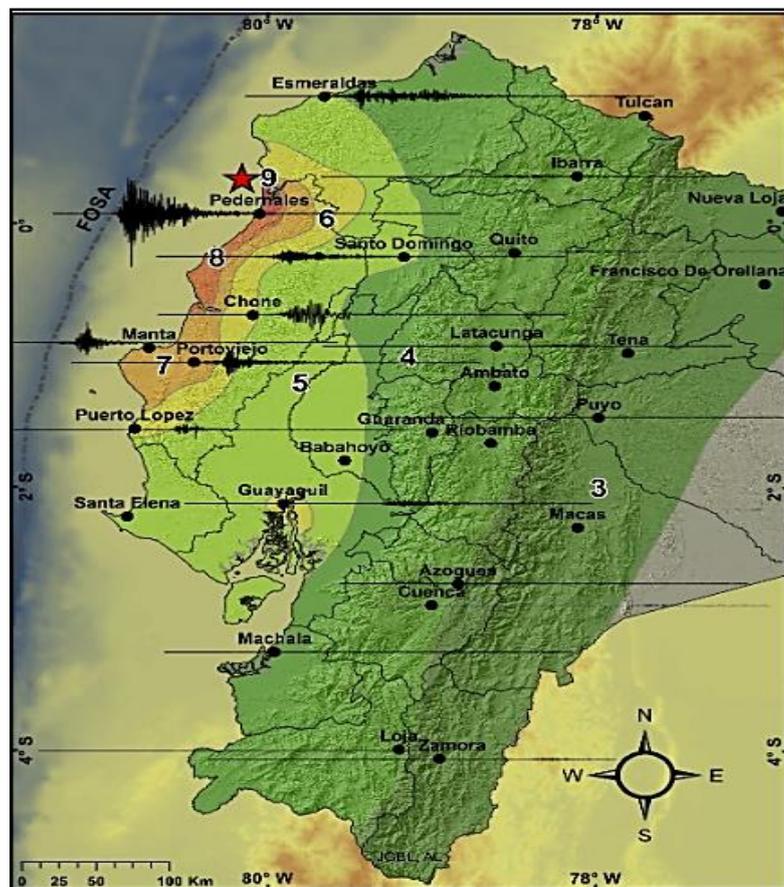


Ilustración 5. Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto. Foto extraída de IG-EPN, 2016.

3.2 Selección de edificios

En el trabajo de investigación, se procedió a seleccionar los edificios con mayor información para proceder con los cálculos de las estructuras que se van a estudiar a detalle.

En la tabla 1 se muestra información general de los edificios.

Tabla 1. Información general de los edificios.

N	Edificio	Características	
1	IETEL	Provincia	Guayas
		Ciudad	Guayaquil
		Dirección	Febres Cordero y Coronel
2	PACIFITEL	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Dirección	Cecilio Intriago y arenas
3	ECU-911	Provincia	Guayas
		Ciudad	Samborondón
		Dirección	Km 0,5 Vía a Samborondón
4	ECU-911	Provincia	Manabí
		Ciudad	Portoviejo
		Dirección	Los Nardos y Av 15 de abril
5	AEROPUERTO ELOY ALFARO	Provincia	Manabí
		Ciudad	Manta
		Dirección	Km 2,5 Vía Jaramijó
6	CNT	Provincia	Manabí
		Ciudad	Portoviejo
		Dirección	Francisco Pacheco y 10 de Agosto
7	CNEL	Provincia	Manabí
		Ciudad	Manta
		Dirección	Av 24 de mayo y calle 6-A
8	AEROPUERTO LOS PERALES	Provincia	Manabí
		Ciudad	San Vicente
		Dirección	San Vicente

Realizado por Eddie Feijóo

3.2.1 Ex edificio IETEL de Guayaquil.

Edificio esquinero de hormigón armado de cinco pisos, que en el año 1980 cumplía con la función de regular las redes telefónicas de Guayaquil, su sistema estructural estaba compuesto por losas planas y columnas, el cual se lo puede visualizar

en la ilustración 6. En el sismo del 18 de agosto de 1980, el edificio IETEL sufrió caída de parte del techo y rotura de ventanales. (RADIUS, 1999)

R A D I U S EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD URBANA FORMULARIO DE LEVANTAMIENTO VISUAL RAPIDO	
<p>Sentido 1: Febres Cordero Sentido 2: Calle Coronel</p> <p>1. Información General</p> <p>Fecha: 19 de Septiembre de 1998 Nombre: Edificio EMETEL Dirección: Coronel y Febres Cordero</p> <p>Código: 30 Inspector: Ing. Jaime Guamán</p>	 <p>Edificio IETEL: Cuantadura de paredes, caída de parte del techo y rotura de ventanales</p>
<p>2. Tipo de Edificio <input type="checkbox"/> ACERO <input checked="" type="checkbox"/> HORMIGON <input type="checkbox"/> MIXTO <input type="checkbox"/> MADERA</p>	
<p>3. Uso del Edificio <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Educación <input checked="" type="checkbox"/> Gobierno <input type="checkbox"/> Emergencia <input type="checkbox"/> Otros</p>	
<p>4. Sistema Estructural <input type="checkbox"/> Pórticos c-v <input checked="" type="checkbox"/> Losas planas + col's <input type="checkbox"/> Pórticos + muros <input type="checkbox"/> Pórticos c-v <input type="checkbox"/> Losas planas + muros <input type="checkbox"/> Otros</p>	
<p>5. Dimensiones principales Número de pisos = 5 pisos Luces en sentido 1= 4.5 m <input type="checkbox"/> Edificio Medianero <input type="checkbox"/> Efecto edificio pequeño Luces en sentido 2= 4.5 m <input checked="" type="checkbox"/> Edificio Esquinero <input type="checkbox"/> Efecto edificio grande</p>	
<p>6. Calidad de la construcción <input type="checkbox"/> Buena <input checked="" type="checkbox"/> Mediana <input type="checkbox"/> Mala</p>	
<p>7. Irregularidad Vertical <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Pequeña <input type="checkbox"/> Grande</p>	
<p>8. Irregularidad en Planta <input checked="" type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Pequeña <input type="checkbox"/> Grande</p>	
<p>9. Piso Suave <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Pisos superiores <input type="checkbox"/> Planta Baja</p>	
<p>10. Pounding <input type="checkbox"/> Ninguno <input checked="" type="checkbox"/> Un lado <input type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Tres lados</p>	
<p>11. Volados <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Varios lados</p>	

Ilustración 6. Edificio IETEL. Ficha de vulnerabilidad de edificios. Foto extraída de proyecto RADIUS, 1980.

3.2.2 Ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.

El edificio de hormigón armado de tres pisos, situado en las calles Cecilio Intriago y Arenas en la ciudad de Bahía de Caráquez, quedó gravemente afectado tras el sismo del 4 de agosto de 1998, no continuó operando y se realizaron los respectivos trabajos de refuerzo. Los daños en la estructura provocados por el sismo fueron fisuras

en sus paredes, desprendimiento del enlucido y fallas en columna que se los puede observar de las ilustraciones 7 hasta la 13, os factores de riesgo son que el edificio es propenso a chocar con los edificios vecinos.



Ilustración 7. Adosamiento entre estructuras. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998



Ilustración 8. Desprendimiento de enlucido. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.



Ilustración 9. Fisura longitudinal en paredes. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.



Ilustración 10. Daños en puertas y desprendimiento de enlucido. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.



Ilustración 11. Fisura en paredes y desprendimiento de enlucido. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.



Ilustración 12. Fisuras en pared y esquina de ventanas. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.



Ilustración 13. Falla por cortante en columna. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 1998.

3.2.3 ECU-911 de Samborondón

La estructura de hormigón armado está ubicada en el Km. 0.5 Vía a Samborondón, es un edificio que tiene la función de atender llamadas de emergencia para Guayas y Santa Elena. Durante el sismo del 16 de abril de 2016, se presentaron caída de paneles del techo y daños en mampostería, luego del sismo, el edificio continuó prestando parcialmente sus servicios; no presenta irregularidades en planta ni elevación.



Ilustración 14. Edificio ECU-911 Samborondón. Tomada de: “El Universo”, 2016.

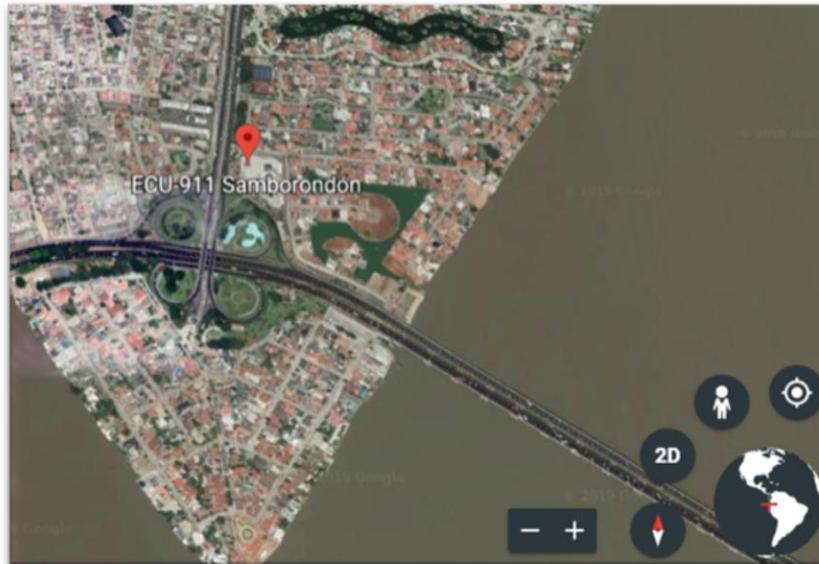


Ilustración 15. Ubicación geográfica ECU-911 Samborondón. Tomada de Google Earth, 2015.

En la ilustración 14 se observa las instalaciones del ECU-911 de Samborondón y la ilustración 15, su ubicación geográfica.

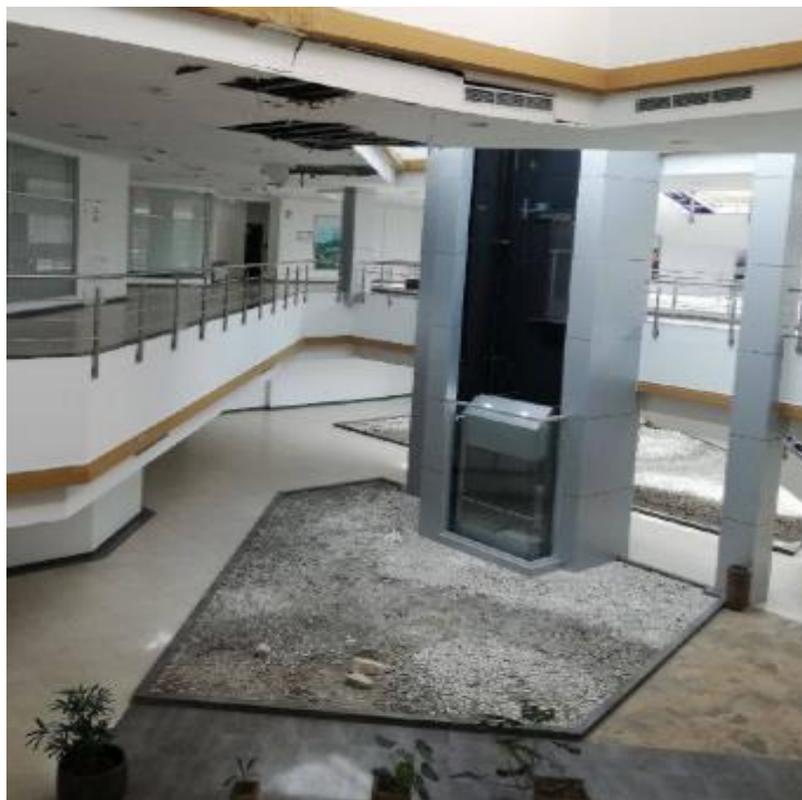


Ilustración 16. Caída de tumbado ECU-911. Tomada de: “El Universo”, 2016.

En la ilustración 16 se muestra los daños de la planta alta del edificio ECU-911 de Samborondón.

3.2.4 ECU-911 de Portoviejo

La estructura de hormigón armado, ubicado en Los Nardos y Av. 15 de abril, tiene la función de atender llamadas ante cualquier tipo de emergencia y brindar la asistencia necesaria. Durante el sismo del 16 de abril de 2016 sufrió agrietamiento a nivel del techo, paredes interiores y exteriores no estructurales de este edificio, no se evidenciaron irregularidades en planta ni elevación. (GEER-ATC, 2016)



Ilustración 17. Edificio ECU-911 Portoviejo después del sismo de 2016. Tomado de GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.



Ilustración 18. Fisura en fachada del edificio ECU-911 Portoviejo. Tomado de: GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.

En las ilustraciones 17 y 18, se puede visualizar los daños ocurridos tras el en el edificio ECU-911 de la ciudad de Portoviejo.



Ilustración 19. Ubicación geográfica ECU-911 Portoviejo. Foto extraída de Google Earth, 2015.

3.2.5 Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta

Después del sismo del 16 de abril de 2016, tuvo graves afectaciones en su terminal, fallos estructurales y colapso parcial de muros no estructurales, mientras que la torre de control aérea de cinco pisos colapsó. (GEER-ATC, 2016)



Ilustración 20. Antigua torre de control aérea. Foto extraída de Google Earth, 2015.

En las ilustraciones 21 y 22 se puede apreciar la torre de control aérea antes y después del sismo del 16 de abril de 2016.



Ilustración 21. Torre de control aérea Manta después del sismo 2016. Fuente: Ecuavisa, 2016.



Ilustración 22. Localización de la torre de control aérea Eloy Alfaro. Fuente: GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.



Ilustración 23. Fisuras y colapso de paredes en Aeropuerto Eloy Alfaro. Fuente: GEER-ATC. Earthquake Reconnaissance, 2016.



Ilustración 24. Colapso parcial de pared donde hubo clavijas de las columnas incrustadas en la pared. Fuente: GEER-ATC Earthquake Reconnaissance.2016.

En las ilustraciones 23 y 24 se muestran los daños ocurridos en el aeropuerto Eloy Alfaro de Manta.



Ilustración 25. Ubicación geográfica Aeropuerto Eloy Alfaro Manta. Foto extraída de Google Earth, 2015.

3.2.6 CNT de Portoviejo

Edificio esquinero de hormigón armado cuya función consistía en operar los servicios de telefonía e internet para la ciudad de Portoviejo, no continuó operando luego del terremoto del 16 de abril de 2016, quedando fuera de servicio totalmente. A continuación, se podrá visualizar en las siguientes ilustraciones la pérdida total del edificio, se evidenciaron volados en ambos lados y susceptibilidad a choques con los edificios vecinos.

La ilustración 26 nos muestra la el antiguo edificio CNT de Portoviejo.



Ilustración 26. Edificio CNT Portoviejo. Tomada de: “El Diario”, 2016.



Ilustración 27. Edificio CNT Portoviejo después del sismo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016.



Ilustración 28. Edificio CNT Portoviejo después del sismo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016.

Las ilustraciones 27 y 28 muestran los daños en el edificio CNT de la ciudad de Portoviejo.

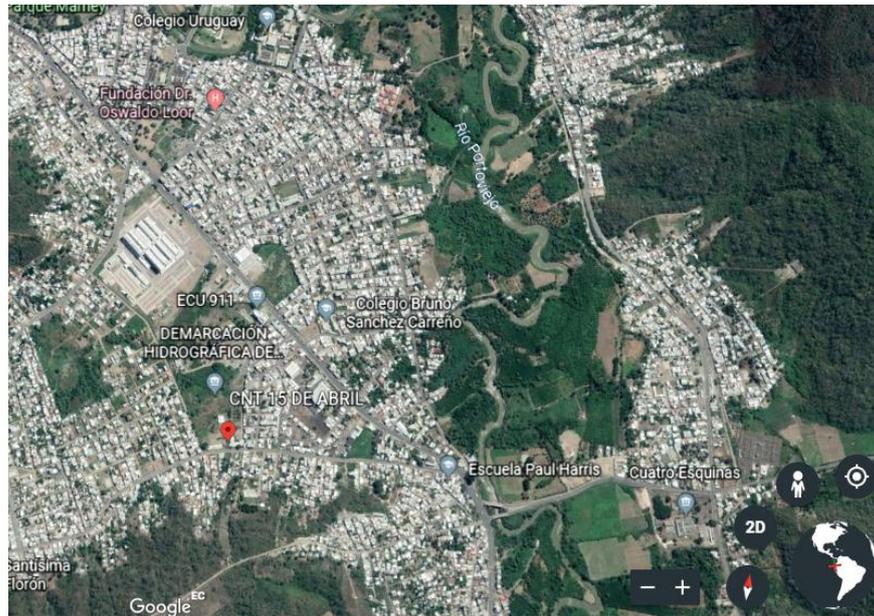


Ilustración 29. Ubicación geográfica CNT Portoviejo. Foto extraída de Google Earth, 2015.

La ilustración 29 nos muestra la ubicación geográfica del antiguo edificio CNT de Portoviejo.

3.2.7 CNEL de Manta

El CNEL de Manta es la entidad encargada de la distribución y comercialización de energía eléctrica regulada por el estado, cuenta con diez pisos y está ubicada en la Av. 24 de Mayo y calle 6-A., durante el sismo del 16 de abril de 2016 sufrió daños de mampostería severos, la edificación no prestó servicios hasta su reforzamiento. Ésta estructura tuvo daños en la mampostería de todas las plantas en la zona de la escalera y sus columnas tuvieron daño a nivel de recubrimiento y hormigón. (Aguiar, 2017)

En las ilustraciones 30 hasta la 35, se pueden observar los diferentes daños en la estructura como daños en la mampostería, grietas a lo largo de las paredes, separación de escaleras y caída de parte de paredes.



Ilustración 30. Edificio CNEL de Manta después del sismo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016.



Ilustración 31. Desprendimiento de enlucido de la columna. Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.



Ilustración 32. Separación de la escalera después del sismo del edificio CNEL Manta.
Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.



Ilustración 33. Desprendimiento de recubrimiento en viga después del sismo del edificio CNEL Manta. Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.



Ilustración 34. Grietas en mampostería después del sismo del edificio CNEL Manta.
Fuente: Ing. Roberto Aguiar, 2016.

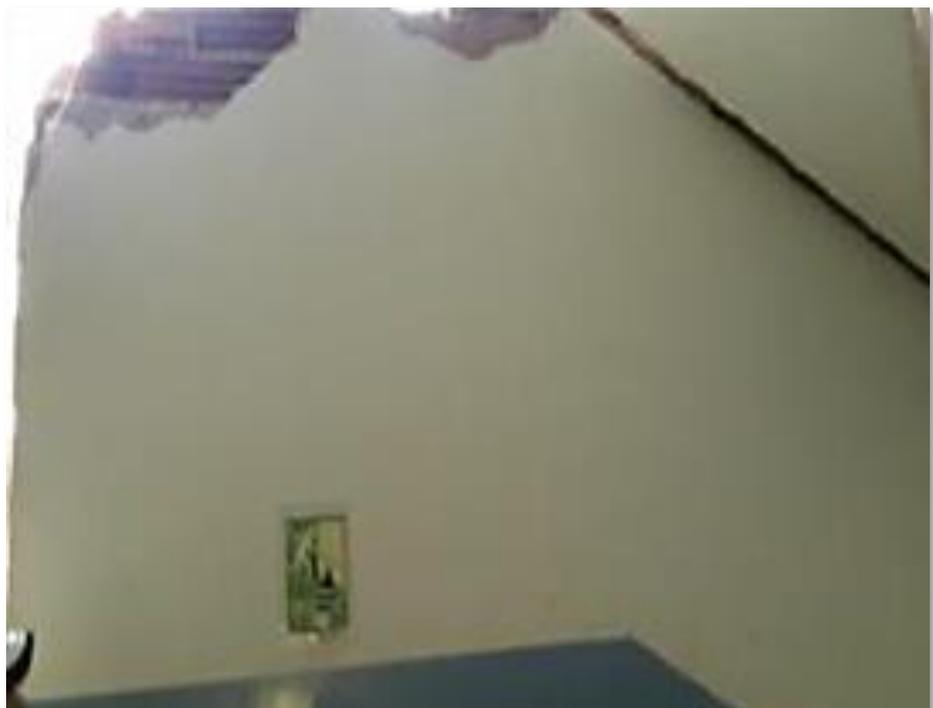


Ilustración 35. Pared desprendida después de sismo del edificio CNEL Manta. Fuente:
Ing. Roberto Aguiar. 2016.

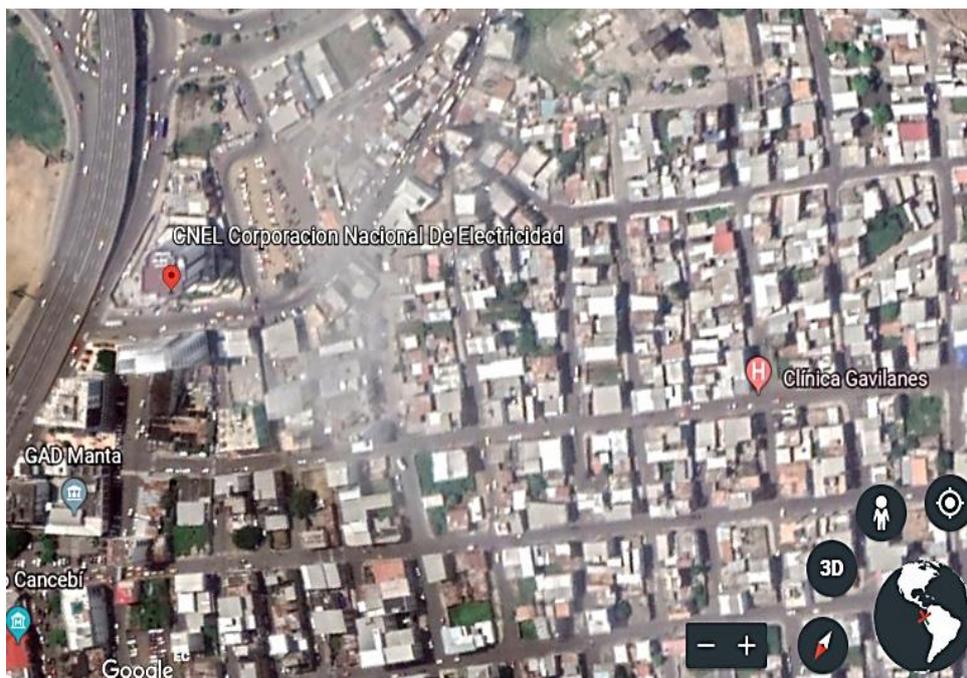


Ilustración 36. Ubicación geográfica edificio CNEL Manta. Tomado de Google Earth.

3.2.8 Aeropuerto Los Perales de San Vicente

El aeropuerto Los Perales, estaba operativo después del terremoto del 16 de abril del 2016. Debido al sismo, las instalaciones sufrieron golpeteo de dos secciones adyacentes de la estructura y grietas a lo largo de la pista. (GEER-ATC, 2016)



Ilustración 37. Golpeteo y colapso de techo en aeropuerto Los Perales San Vicente. Fuente: GEER-ATC Earthquake Reconnaissance, 2016.



Ilustración 38. Golpeteo de columna aeropuerto Los Perales San Vicente. Fuente: GEER-ATC Earthquake Reconnaissance, 2016.

En las ilustraciones 37 y 38, se observan los daños ocurridos en el aeropuerto Los Perales de San Vicente.

3.2.9 CNT de Bahía de Caráquez.

Estructura de hormigón armado que durante del sismo del 16 de abril de 2016 colapsó, quedando fuera de servicio. Posteriormente comenzaron los trabajos de reconstrucción, pero en la actualidad es una obra inconclusa, la cual se podrá visualizar ilustración 36.

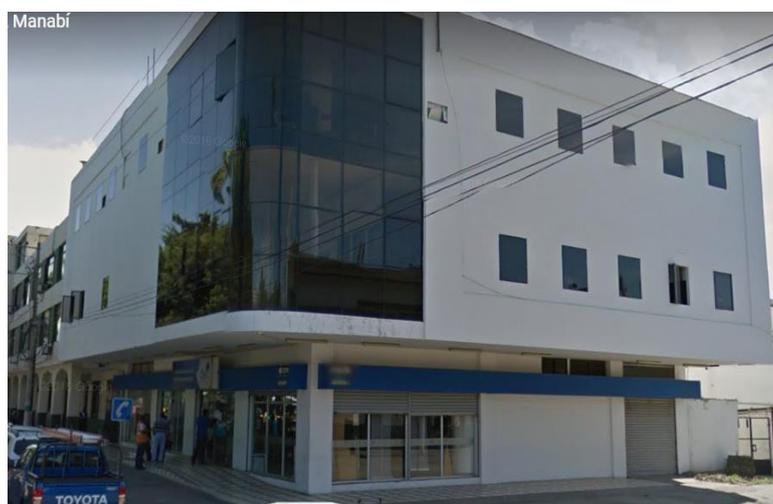


Ilustración 39. Edificio CNT Bahía de Caráquez. Tomado de Google Earth, 2015.

La ilustración 39 muestra el antiguo edificio CNT de Bahía de Caráquez.



Ilustración 40. Actual edificio CNT Bahía de Caráquez. Tomado por el autor, 2019.

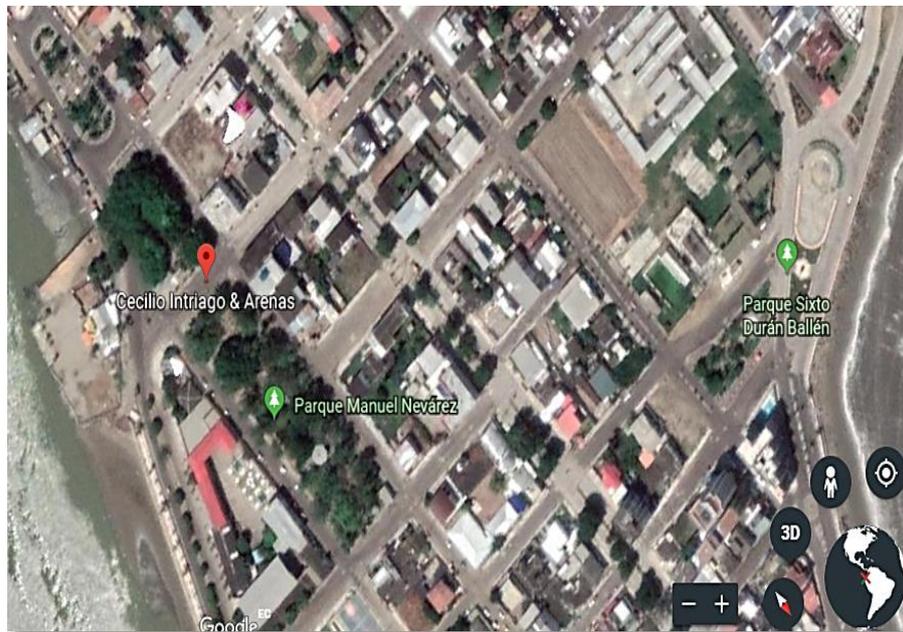


Ilustración 41. Ubicación geográfica edificio CNT Bahía de Caráquez. Tomado de Google Earth, 2015.

La ilustración 41 nos muestra la ubicación geográfica del antiguo edificio CNT de Bahía de Caráquez.

4 CAPÍTULO IV

4.1 Metodología de la investigación

4.1.1 Curvas de peligro sísmico

Para las estructuras esenciales es necesario utilizar diferentes niveles de peligro sísmico para verificar el cumplimiento de los niveles de desempeño.

Para definir los niveles de aceleración sísmica en roca que se proporcionan en las curvas de peligro sísmico para capitales de provincia, en donde se relaciona el valor de la aceleración sísmica en el terreno con un nivel de probabilidad anual de excedencia que se muestran en ilustraciones 42 y 43 . (NEC, 2015).

La tabla2 muestra la clasificación de los sismos según el período de retorno según NEC-15.

Tabla 2. Niveles de amenaza sísmica.

Nivel del sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno Tr (años)	Tasa anual de excedencia (1/Tr)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0,01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0,00444
3	Raro (severo)	10%	475	0,00211
4	Muy raro (muy severo)	2%	2500	0,0004

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.

Las ilustraciones 42 y 43 muestran las curvas de peligro sísmico para las ciudades de Guayaquil y Portoviejo respectivamente.

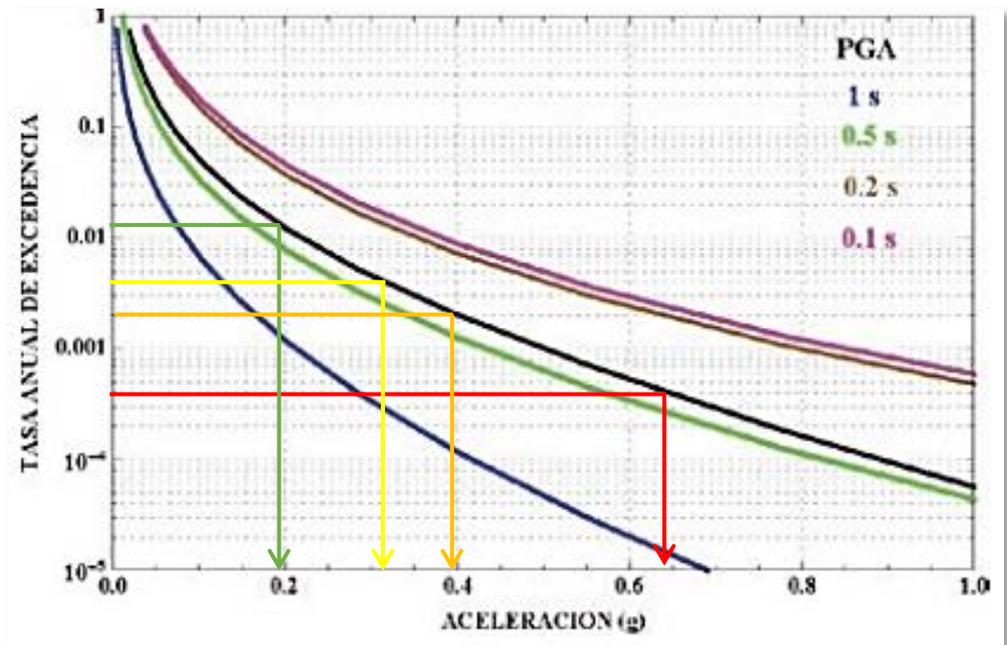


Ilustración 42. Curvas de peligro sísmico, Guayaquil. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.

Las curvas de peligro sísmico son necesarias para determinar el factor Z en los distintos sismos, (frecuente, ocasional, raro y muy raro) en ciudades capitales, para las ciudades no capitales se utiliza la curva de peligro sísmico de la capital correspondiente a la misma provincia.

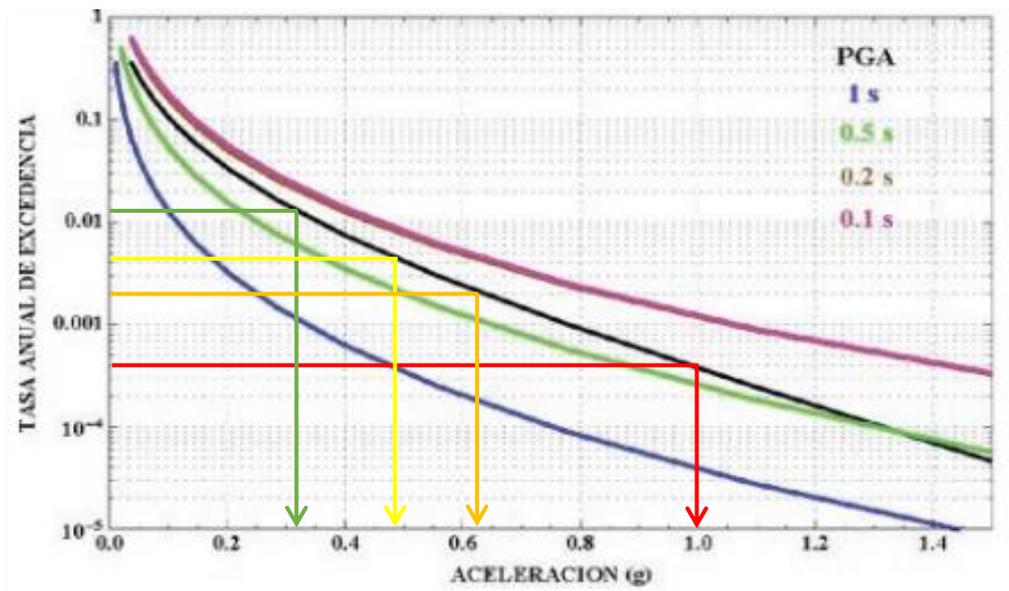


Ilustración 43. Curvas de peligro sísmico, Portoviejo. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.

4.1.2. Zonificación sísmica y factor de zona Z

El factor Z representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. (NEC, 2015)

El mapa de zonificación sísmica proviene del estudio sísmico cuyo período de retorno es de 475 años. La NEC-15 provee tablas para el valor z en distintas ciudades, (Ver ilustración 45) pero no consta con los movimientos sísmicos frecuente, ocasional y muy raro por lo que se utiliza las curvas de peligro sísmico tanto para la ciudad de Guayaquil, (Ver ilustración 42) y Portoviejo, (Ver ilustración 43).

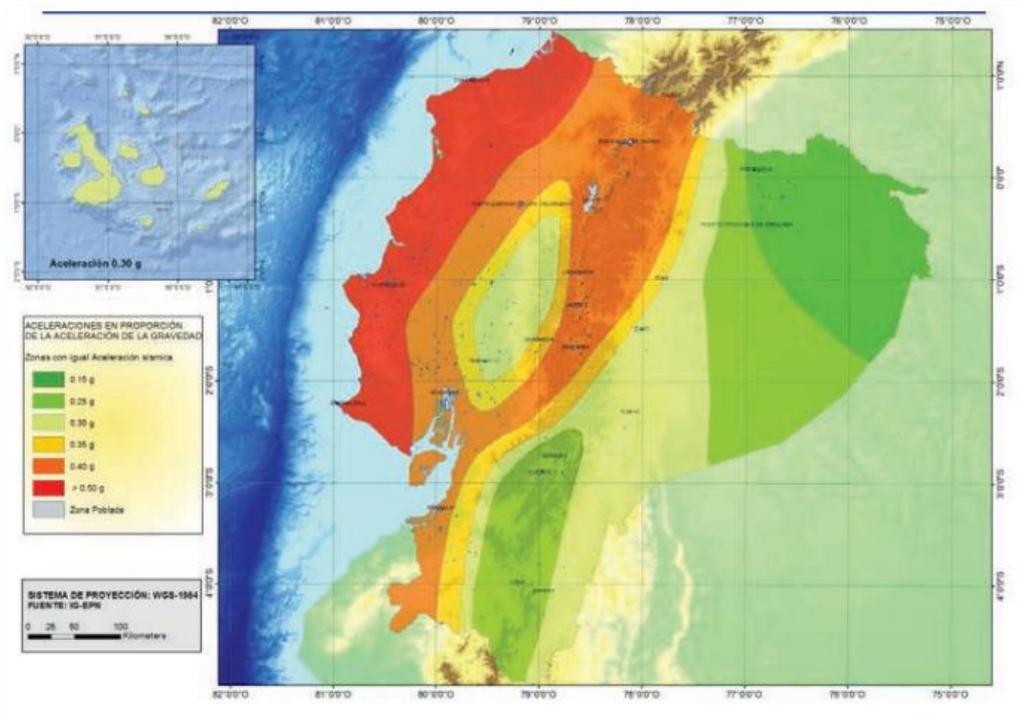


Ilustración 44. Mapa de zonas sísmicas de Ecuador. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.

La ilustración 44 muestra el mapa de zonificación de Ecuador para el sismo de diseño, cuyo período de retorno es de 475 años.

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

Ilustración 45. Valores de Z en función de la zona sísmica. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, 2015.

Tabla 3. Valores z sismo para raro.

Población	Parroquia	Cantón	Provincia	Z
Guayaquil	Guayaquil	Guayaquil	Guayas	0,4
Portoviejo	Portoviejo	Portoviejo	Manabí	0,5
Manta	Montecristi	Montecristi	Manabí	0,5
Bahía de Caráquez	Bahía de Caráquez	Sucre	Manabí	0,5

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

La tabla 3 muestra los valores de factor Z para el sismo de diseño.

Para la ciudades de peligro sísmico muy alto como Portoviejo y Manta, la norma ecuatoriana de la construcción propone un valor máximo de $Z=0.5$, (Ver tabla 3). Por lo tanto, en dichas ciudades se consideró el valor del factor Z obtenidas por las curvas de peligro sísmico para el sismo raro, (Ver ilustración 43).

4.1.3. Tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico

Se definen seis tipos de perfiles, los parámetros utilizados son los correspondientes a los 30 metros superiores del perfil para los perfiles A, B, C, D y E. Para el tipo F se aplican otros criterios y la respuesta no se limita a los 30 metros superiores del perfil. (NEC, 2015)

Tabla 4. Clasificación de los tipos de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca con rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad o de la onda de corte	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumpla con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$; $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15,0$; 100 KPa > $S_u \geq 50$ KPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$; $w \geq 40\%$; $S_u < 50$ KPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como;	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y	
	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	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

4.1.1.1 Coeficientes de suelo Fa, Fd y Fs

Fa coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

Es un coeficiente que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio. (NEC, 2015)

La tabla 5 muestra el factor Fa para diferentes tipos de suelo.

Tabla 5. Tipo de suelo y factor de sitio Fa.

Tipo de perfil de subsuelo	Zona sísmica y factor z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1,0	0,85

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Fd amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento de diseño en roca.

Coeficiente que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos, considerando los efectos de sitio. (NEC, 2015)

La tabla 6 muestra el factor Fd para diferentes tipos de suelo.

Tabla 6. Tipo de suelo y factor Fd.

Tipo de perfil de subsuelo	Zona sísmica y factor z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Fs comportamiento no lineal de suelos.

Coeficiente que considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que dependen de la intensidad y contenido de

frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo. (NEC, 2015)

La tabla 7 muestra el factor F_s para diferentes tipos de suelo.

Tabla 7. Tipo de suelo y factor F_s .

Tipo de perfil de subsuelo	Zona sísmica y factor z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,40
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

4.1.4. Espectro elástico de respuesta de aceleraciones

Para elaborar el espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , se debe tener en cuenta el factor z en base a la zona sísmica, el tipo de suelo de la estructura y los coeficientes de amplificación F_a , F_d y F_s , (Ver tablas 5, 6 y 7).

Para el diseño de espectro de aceleraciones se utilizan las siguientes fórmulas:

Ecuación 1 Cálculo S_a para $T=0$

$$S_a = z * F_a$$

Ecuación 2 Cálculo S_a para $0 \leq T \leq T_o$

$$S_a = z * F_a * (1 + (\eta - 1) * \left(\frac{T}{T_o}\right))$$

Ecuación 3 Cálculo S_a para $T_o \leq T \leq T_c$

$$S_a = \eta * z * F_a$$

Ecuación 4 Cálculo S_a para $T > T_c$

$$S_a = \eta * z * F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$$

Ecuación 5 Cálculo para T_o

$$T_o = 0.1 * F_s * \left(\frac{F_d}{F_a}\right)$$

Ecuación 6 Cálculo para Tc

$$T_c = 0.55 * F_s * \left(\frac{F_d}{F_a}\right)$$

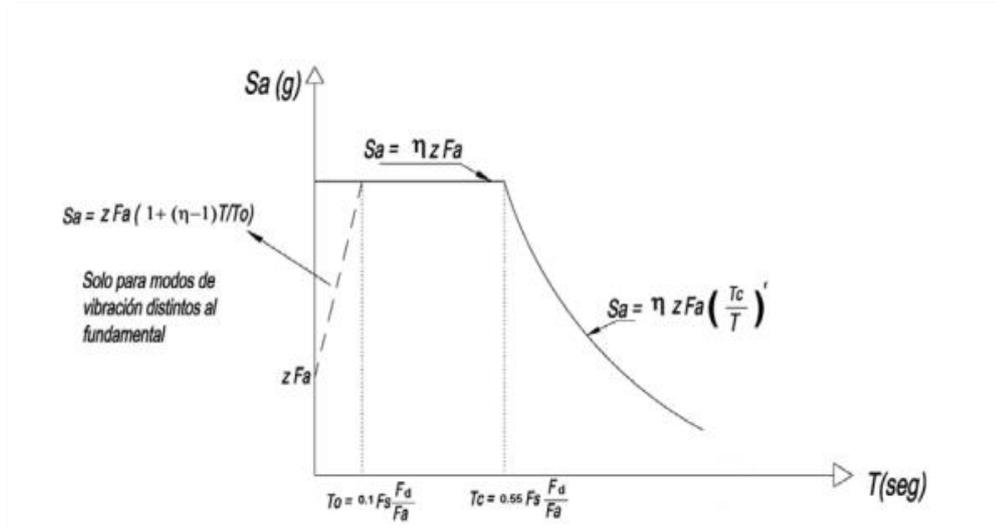


Ilustración 46. Espectro elástico de respuesta de aceleraciones. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

Tabla 8. Parámetros para el espectro de aceleración.

<p>η: Razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.</p> <p>$\eta = 1.80$ Para provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).</p> <p>$\eta = 2.48$ Para provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.</p> <p>$\eta = 2.60$ Para provincias del Oriente</p>
<p>r: Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.</p> <p>$r = 1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E</p> <p>$r = 1.5$ para suelo tipo E</p>
<p>T: Período fundamental de la estructura.</p>
<p>S_a: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de aceleración de la gravedad g). Depende del período de la estructura.</p>
<p>T_0, T_c: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.</p>
<p>T_l: Período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos.</p>

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

La tabla 8 muestra los parámetros para diseñar el espectro de aceleración.

4.1.5. Período de vibración de la estructura

El período de vibración T se la puede obtener de la siguiente manera:

Ecuación 7 Cálculo de período

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

Donde:

C_t = Coeficiente que depende el tipo de edificio.

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

T = Período de la vibración.

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Ilustración 47. Selección de C_t y α según el tipo de edificio. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

4.1.6. Espectro elástico de desplazamiento

Para la definición de los desplazamientos espectrales elásticos correspondientes al nivel del sismo de diseño, se utilizará el espectro elástico de diseño de desplazamientos Sd (en metros) definido a partir del espectro de aceleraciones. (NEC, 2015)

Ecuación 8 Cálculo Sd para $0 \leq T \leq T_I$

$$Sd = Sa(g) * Fa \left(\frac{T}{2 * \pi} \right)^2$$

Ecuación 9 Cálculo Sd para $T \geq T_I$

$$S_d = S_a(g) * F_a \left(\frac{T_l}{2 * \pi} \right)^2$$

Ecuación 10 Cálculo de Tl

$$T_l = 2.4 * F_d$$

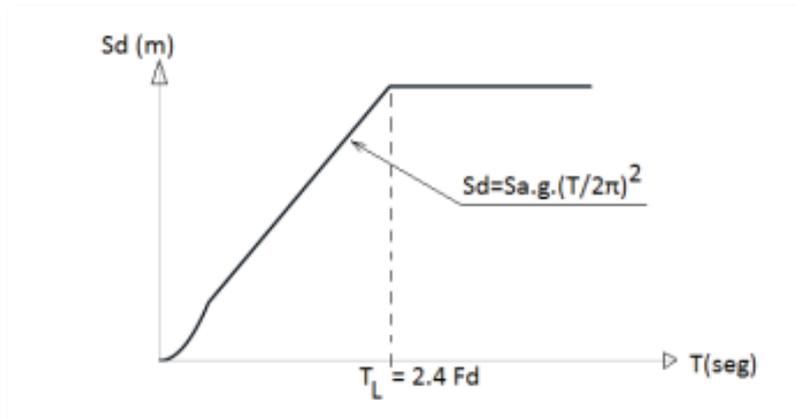


Ilustración 48. *Espectro sísmo elástico de desplazamiento para diseño.* Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Dónde:

g: Aceleración de la gravedad.

Sd: Espectro elástico de diseño de desplazamientos (definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura.

4.1.7. Deriva máxima

Para calcular la deriva del edificio se necesita del espectro de desplazamiento Sd y la altura de la estructura, la relación de los dos valores se lo multiplica por 0.75, con eso se obtiene la deriva inelástica máxima.

Ecuación 11 Cálculo de Deriva inelástica máxima

$$\Delta_m = 0.75 * \frac{S_d}{H}$$

La deriva máxima para cualquier piso no deberá exceder los límites de deriva inelástica de la siguiente ilustración.

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Ilustración 49. Valores de deriva máximos. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

La ilustración 45 muestra los valores de deriva inelástica aceptables por la norma ecuatoriana de construcción 2015.

4.1.8. Estructuras de ocupación esencial

Para estructuras esenciales se requiere la verificación del desempeño, donde se deberá limitar los daños estructurales, buscando elevar el nivel de protección y propendiendo a que las estructuras puedan mantenerse operacionales aún después de la ocurrencia del sismo de diseño. (NEC, 2015)

Nivel de desempeño estructural (prevención)	Estructuras de ocupación especial	Estructuras esenciales	Tasa anual de excedencia
Daño	No	Si	0.00211
Colapso	Si	Si	0.00004

Ilustración 50. Nivel de desempeño estructural para estructuras esenciales y especiales.

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

La ilustración 46 muestra el nivel de prevención para estructuras esenciales.

4.2. Caracterización del tipo de suelo

Para determinar el tipo de suelo, se utilizó el documento de Escuela Superior Politécnica del Ejército-ESPE “Tipos de perfil de suelo para diseño sísmico en Manta, Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez, ciudades afectadas por el sismo del 16 abril del 2016”, en el que clasifica el suelo mediante las ondas de corte V30.

En la ilustración 47 se muestra la caracterización de tipo de suelo para la ciudad de Manta, donde se localizaron edificaciones como la torre de control aérea del aeropuerto Eloy Alfaro y el edificio CNEL.

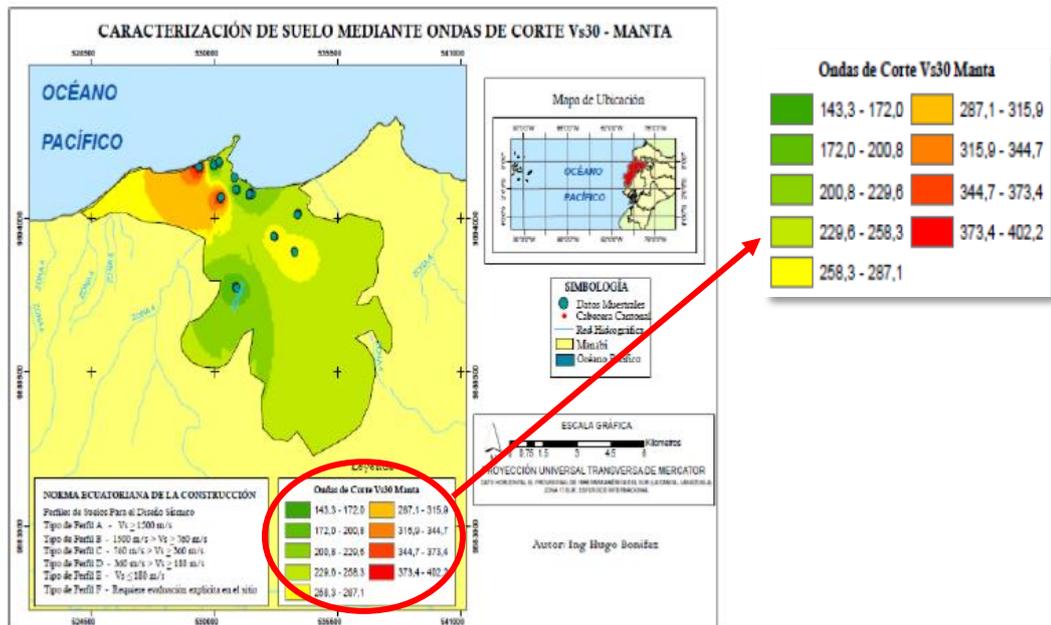


Ilustración 51. Caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs 30 en la ciudad de Manta. Fuente: Escuela Superior Politécnica del Ejército-ESPE

En la ilustración 48 se muestra la caracterización de tipo de suelo para la ciudad de Portoviejo, donde se localizaron edificaciones como el ECU-911 y el edificio CNT.

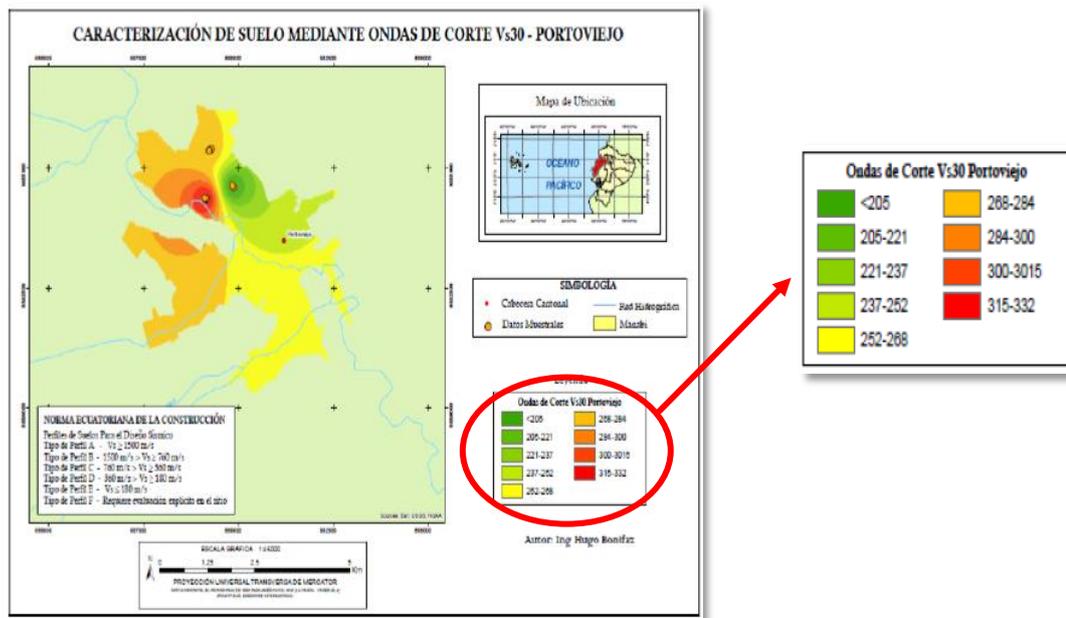


Ilustración 52. Caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs 30 en la ciudad de Portoviejo. Fuente: Escuela Superior Politécnica del Ejército-ESPE

En la ilustración 49 se muestra la caracterización de tipo de suelo para la ciudad de Bahía de Caráquez, donde se localizaron edificaciones como el edificio ex Pacifitel y el edificio CNT.

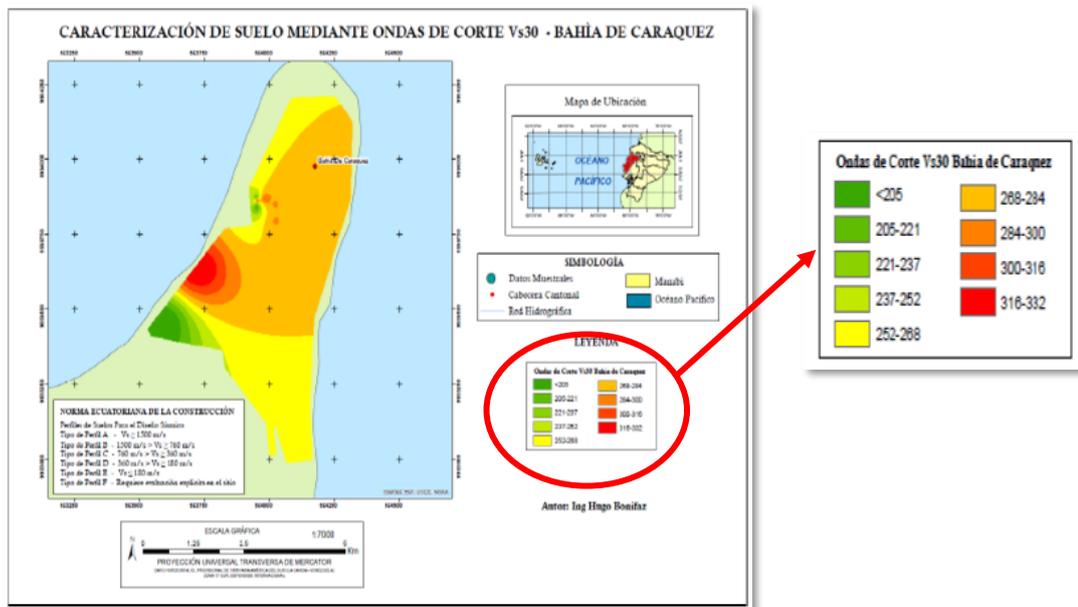


Ilustración 53 .Caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs 30 en la ciudad de Bahía de Caráquez. Fuente: Escuela Superior Politécnica del Ejército-ESPE

Para las edificaciones localizadas en Portoviejo como el ECU-911, (Ver ilustración 19) y CNT, (Ver ilustración 29), los valores de Vs30 van desde 252 m/s hasta 262 m/s. Según la tabla 5 del capítulo IV del presente trabajo, las estructuras se encuentran caracterizadas por un perfil sísmico de suelo tipo D, al igual que el aeropuerto Eloy Alfaro de la ciudad de Manta y el aeropuerto Los Perales situado en San Vicente.

En el caso edificio de CNEL- Banco Central de Manta se encuentra en un perfil sísmico de suelo tipo E, (Ver ilustración 36).

En Bahía de Caráquez el edificio CNT, (Ver ilustración 40) los valores de ondas de corte Vs30 se encuentran en un rango de 268 m/s a 284 m/s. Según la tabla 5 del capítulo IV del presente trabajo, las estructuras se encuentran caracterizadas por un perfil sísmico de suelo tipo D

Para la ciudad de Guayaquil se realizó el mismo procedimiento con el manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil, cuyo documento fue realizado por la empresa por GEOESTUDIOS S.A. elaborado por la secretaria general de riesgos en 2017.

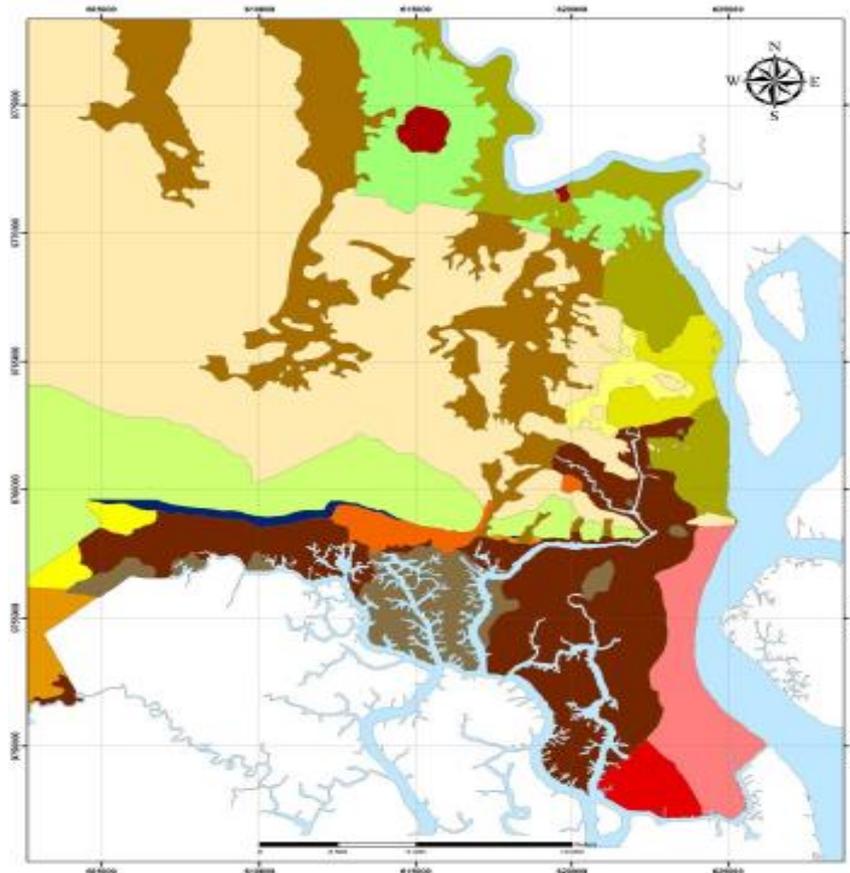


Ilustración 54. Mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil. Fuente: Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil.



Ilustración 55. Leyenda del mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil. Fuente: Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil



Ilustración 56. Ubicación de ex edificio IETEL. Zonas Geotécnicas para la ciudad de Guayaquil.

La ilustración 56, muestra la ubicación del ex edificio IETEL que se encuentra en suelos deltáicos estuarinos, donde se han identificado diferencias significativas entre los sedimentos de los suelos y consisten principalmente en arcilla limosa. (GEOESTUDIOS, 2017)

Para la norma ecuatoriana de la construcción se denomina como suelo tipo E.

Caracterización geotécnica	Vs Velocidad de onda de corte [m/s]	Descripción litológica	Descripción geológica
Suelos blandos	130-180	Sedimentos de grano fino predominando limos y arcillas	Depósitos Lacustres
Suelos rígidos	180-360		
Semiroca	360-610	Lutitas negras. Lutitas tobáceas, silíceas; aglomerados, areniscas.	Formación Cayo
Roca meteorizada	610-1100		
Roca no meteorizada	1100-1750		

Ilustración 57. Caracterización Geotécnica de los materiales en función de las Vs. Fuente: Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil

Para el caso del edificio ECU-911 Samborondón se utilizó perforaciones en zonas cercanas facilitadas por GEOSÍSMICA S.A.

La tabla 9 muestra la clasificación de los diferentes tipos de suelo de las estructuras seleccionadas.

Tabla 9. Tipo de suelo de las edificaciones.

EDIFICACIONES AFECTADAS	UBICACIÓN	TIPO DE SUELO
Ex edificio IETEL Guayaquil	Coronel y Febres Cordero	E
Edificio CNT Bahía de Caráquez	Cecilio Intriago y Arenas	D
ECU 911 Samborondón	Km. 0,5 Vía a Samborondón	E
ECU 911 Portoviejo	Los Nardos y Av. 15 de abril	D
Aeropuerto Eloy Alfaro Manta	Km. 2,5 Vía Jaramijó	D
Aeropuerto Los Perales San Vicente	San Vicente	D
CNT Portoviejo	Francisco Pacheco y 10 de Agosto	D
CNEL Manta	Av. 24 de Mayo y calle 6-A	E

Elaborado por Eddie Feijóo

4.3. Estaciones de acelerógrafos

4.3.1. Generalidades

Se obtuvo los registros acelerográficos de las ciudades de Guayaquil, Portoviejo y Manta, como no hay registros en la ciudad de Bahía de Caráquez, se trabajó con la ciudad de Portoviejo.

En la ilustración 58, se puede observar la ubicación de las tres estaciones existentes de la ciudad de Guayaquil, en el cual la estación GYE se encuentra en suelo rocoso mientras que las estaciones GYE 1 y GYE 2 se ubican en suelo flexible.

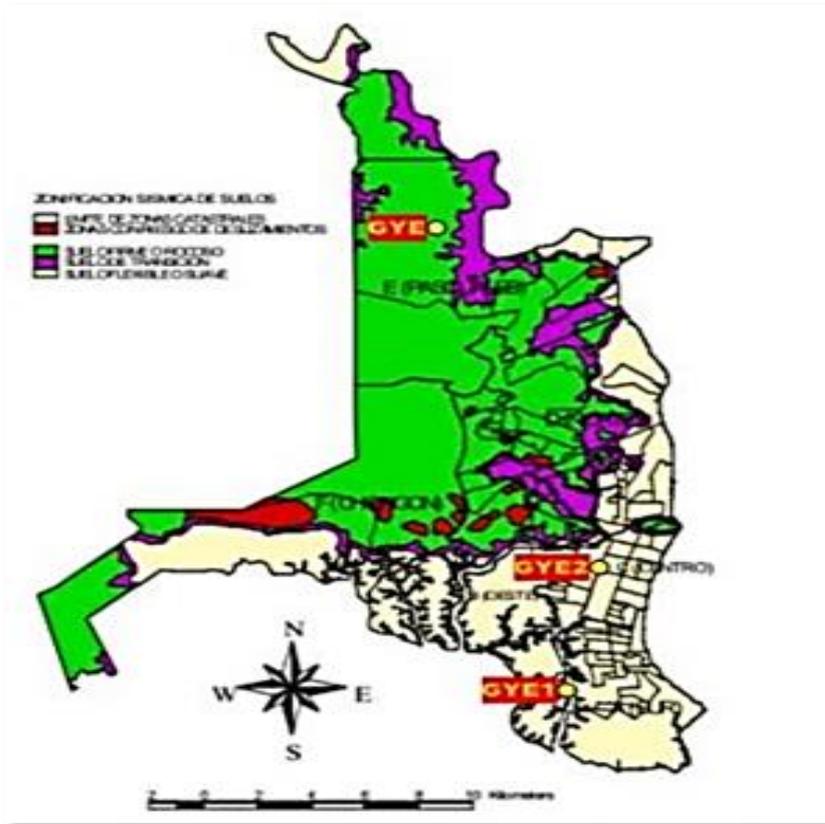


Ilustración 58. Ubicación de las estaciones en la ciudad de Guayaquil. Mapa extraído del proyecto RADIUS.

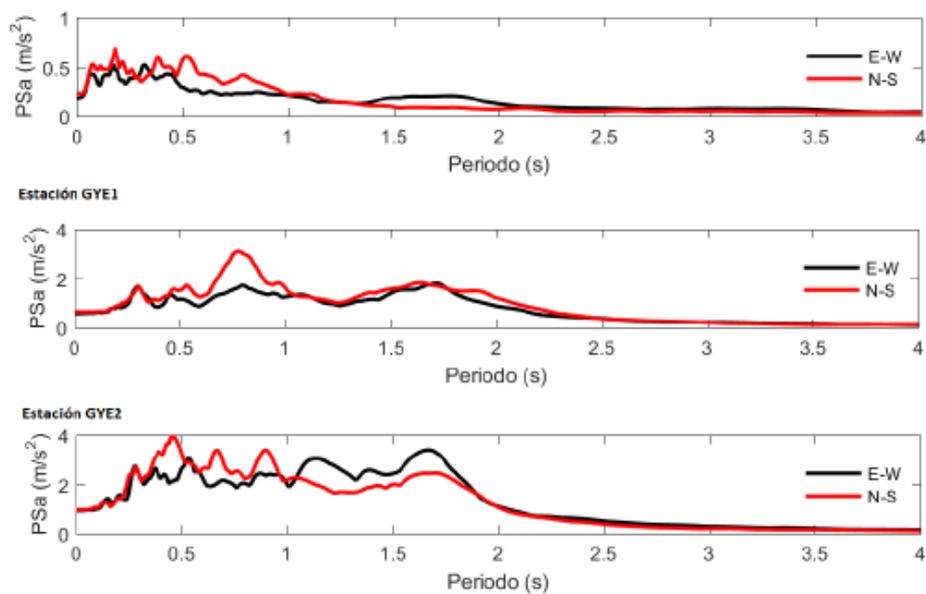


Ilustración 59. Espectros de aceleración para componentes horizontales con el 5% de amortiguamiento. Gráfico extraído del documento de la IG-EPN.

En la ilustración 59 se puede observar que los valores máximos de aceleración de la estación GYE, oscilan entre 0.04 y 0.5 segundos. En el caso de las estaciones

GYE1 y GYE2, el período con máximas amplitudes aumentan, lo cual indica un aumento de fuerzas sísmicas debido al tipo de suelo.

Tabla 10. Parámetros para los espectros de respuesta de aceleración de diseño NEC-15 y tipo de suelo para las estaciones APED, PDNS, AMNT, APO1, ACHN y AGY2.

Station	Z	Site Class	V_{S30}	η_1	r	F_a	F_d	F_s
APED	0.5	D	342	1.8	1.0	1.12	1.11	1.40
PDNS	0.5	C	400	1.8	1.0	1.18	1.06	1.23
AMNT	0.5	C	496	1.8	1.0	1.18	1.06	1.23
APO1	0.5	D	224	1.8	1.0	1.18	1.11	1.40
ACHN	0.5	D	200	1.8	1.0	1.12	1.11	1.40
AGY2 ¹	0.4	F	101	1.8	1.5	1.00	1.60	1.90

Fuente GEER-ATC Earthquake Reconnaissance

La tabla 10 muestra la clasificación de suelo de las estaciones de Pedernales, Manta, Portoviejo, Chone y Guayaquil.

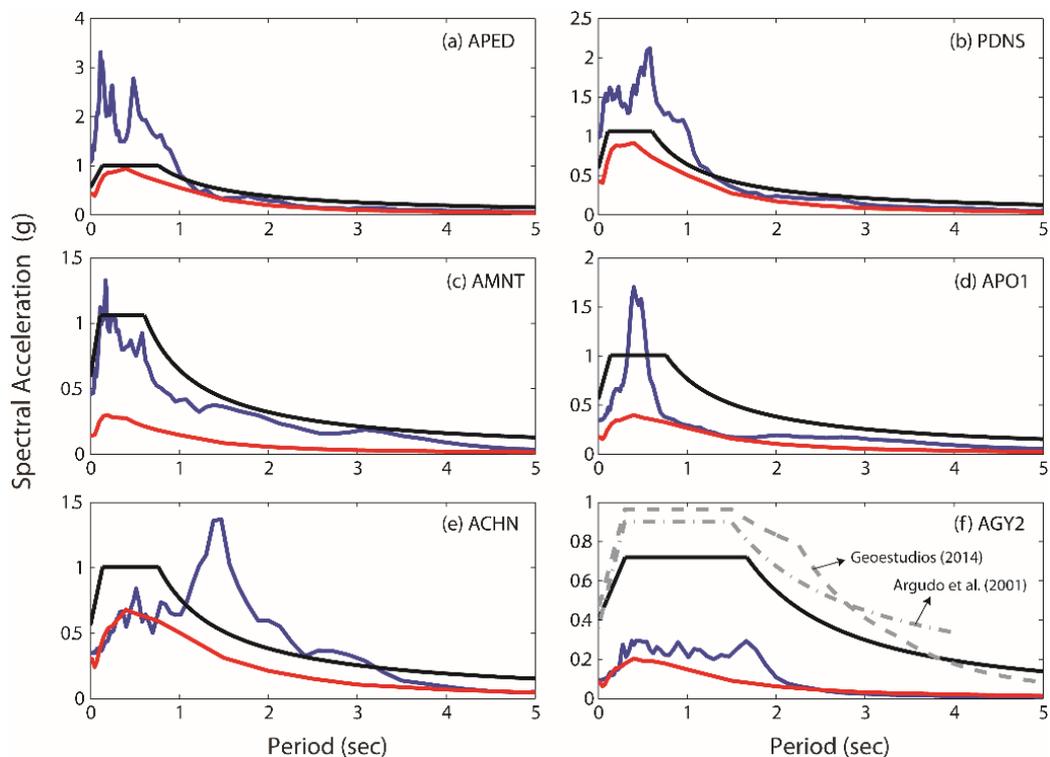


Ilustración 60. Comparación de espectros de sitio y espectros de diseño NEC-15 para las distintas estaciones. Fuente GEER-ATC Earthquake Reconnaissance.

En la ilustración 60 se puede observar que los espectros de respuesta están por encima de los de diseño para las estaciones APED y PDNS, mientras que para la estación AMNT tiene valores de S_a comparables a NEC-15. En la estación APO1

espectros de diseño considerando el valor de "Z" obtenido de la ilustración 53, que incluye un límite de 0,5 g.

Los valores de S_a para la estación AGY2 se encuentran por debajo de los niveles de diseño.

4.3.2. Espectro de respuesta Portoviejo

Se obtuvieron registros del sismo del 16 de abril de 2016 de la estación APO1 cuya clasificación de suelo pertenece a tipo D. Se utilizó dicho registro para edificaciones localizadas en Portoviejo, Bahía de Caráquez y San Vicente.

Para el caso del sismo del 4 de agosto de 1998 se utilizó los datos obtenidos del sismo del 16 de abril de 2016 debido a la similitud daños ocasionados e intensidades.

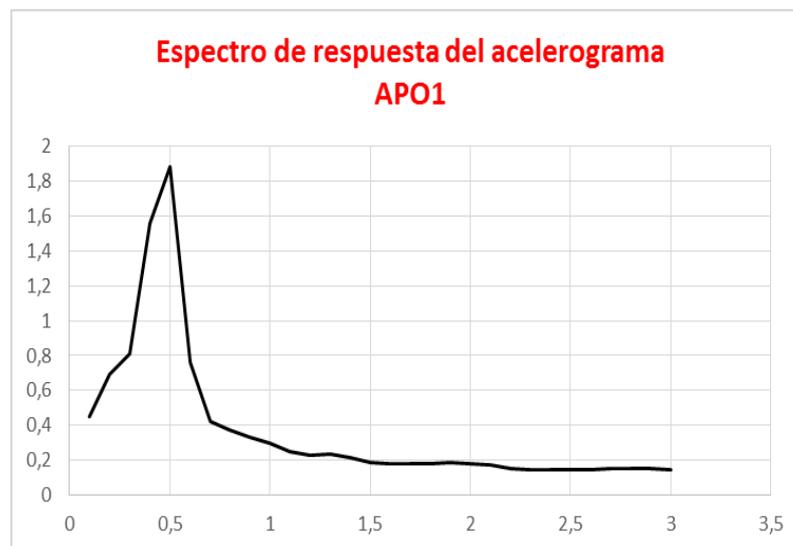


Ilustración 61. Espectro de respuesta Portoviejo suelo tipo D.



Ilustración 62. Espectro de desplazamiento Portoviejo suelo tipo D.

4.3.3. Espectro de respuesta Manta

Se obtuvieron registros del sismo del 16 de abril de 2016 de la estación AMNT cuya clasificación de suelo pertenece a tipo C (Ver tabla 10). Se utilizó dicho registro para edificaciones localizadas en Manta, debido a que las estructuras analizadas se encuentran en diferentes tipos de suelo a la estación, la torre de control aérea del aeropuerto Eloy Alfaro se localiza en suelo tipo D y el edificio CNEL en suelo tipo E. Se procede a modificar el gráfico de aceleraciones de suelo C a D y E mediante el siguiente artificio matemático.

F1 → Función real suelo 1

F2 → Función real suelo 2

Modificación de las abscisas:

$$\begin{aligned} T_{o_1} &= 0.1 \frac{F d_1 F s_1}{F a_1} & T_{o_2} &= 0.1 \frac{F d_2 F s_2}{F a_2} \\ T_{c_1} &= 0.55 \frac{F d_1 F s_1}{F a_1} & T_{c_2} &= 0.55 \frac{F d_2 F s_2}{F a_2} \\ T_{l_1} &= 2.4 F d_1 & T_{l_2} &= 2.4 F d_2 \end{aligned}$$

Rangos para T_o , T_c y T_l :

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_{o_1} & \longrightarrow 0 \leq T \leq T_{o_2} \\ T_{o_1} \leq T \leq T_{c_1} & \longrightarrow T_{o_2} \leq T \leq T_{c_2} \\ T_{c_1} \leq T \leq T_{l_1} & \longrightarrow T_{c_2} \leq T \leq T_{l_2} \end{aligned}$$

Modificación de las ordenadas:

$$\begin{aligned} \frac{n F a_2 z \left(\frac{T_{c_2}}{T}\right)^r}{n F a_1 z \left(\frac{T_{c_1}}{T}\right)^r} &= \frac{F a_2}{F a_1} \left(\frac{T_{c_2}}{T_{c_1}}\right)^r = \frac{F a_2}{F a_1} \left(\frac{0.55 \frac{F d_2 F s_2}{F a_2}}{0.55 \frac{F d_1 F s_1}{F a_1}}\right)^r = \frac{F a_2}{F a_1} \left(\frac{F a_1 F d_2 F s_2}{F a_2 F d_1 F s_1}\right)^r \\ 0 \leq T \leq T_{o_2} & \longrightarrow f_2 = \frac{F a_1}{F a_2} f_1 \\ T_{o_2} \leq T \leq T_{c_2} & \longrightarrow f_2 = \frac{F a_1}{F a_2} f_1 \\ T_{c_2} \leq T \leq T_{l_2} & \longrightarrow f_2 = \left(\frac{F a_1 F d_2 F s_2}{F a_2 F d_1 F s_1}\right)^r f_1 \end{aligned}$$

De las ilustraciones 63 a la 66, se muestran los resultados obtenidos para analizar el desempeño sísmico de las estructuras localizadas en la ciudad de Manta.

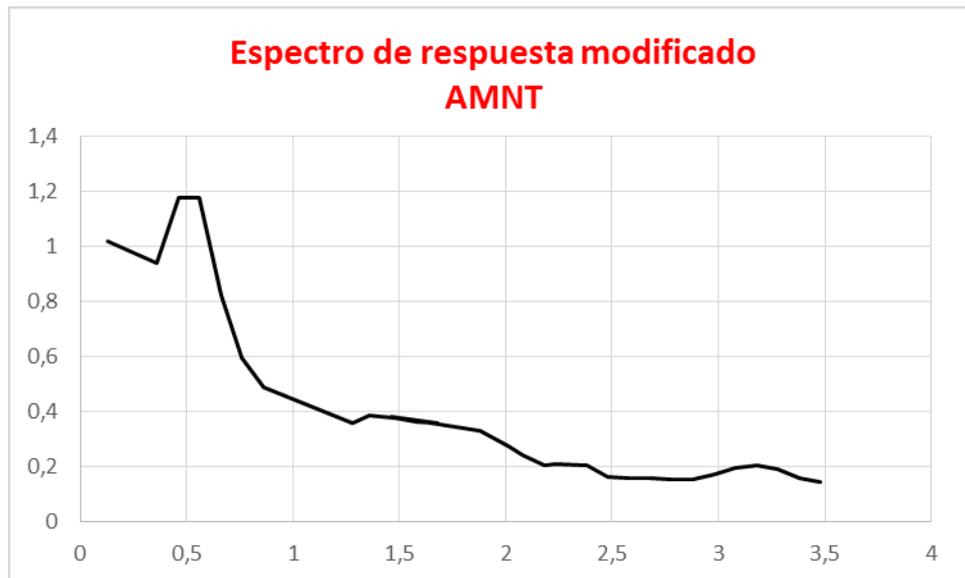


Ilustración 63. Espectro de respuesta modificado Manta suelo tipo D.



Ilustración 64. Espectro de desplazamiento modificado Manta suelo tipo D.

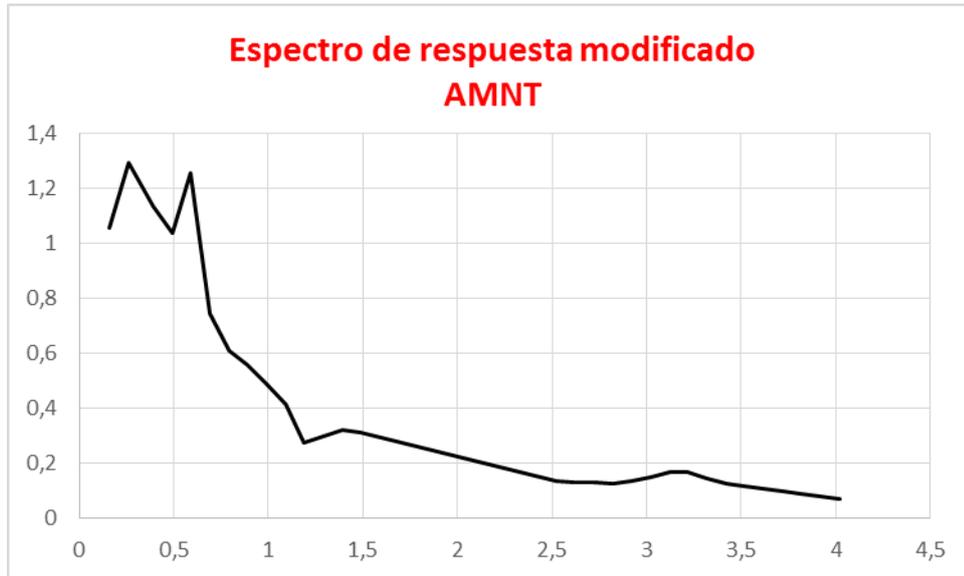


Ilustración 65. Espectro de respuesta modificado Manta suelo tipo E.

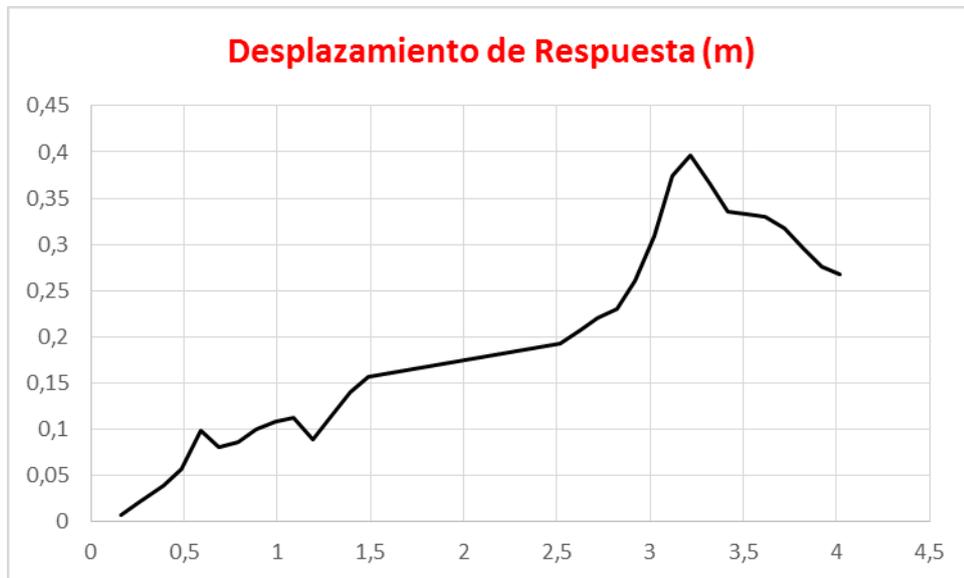


Ilustración 66. Espectro de desplazamiento modificado Manta suelo tipo E.

4.3.4. Espectro de respuesta Guayaquil

Se obtuvieron registros del sismo del 16 de abril de 2016 de la estación AGYE1 y AGYE2 cuya clasificación de suelo pertenece a tipo E.

Las ilustraciones 67 y 68 muestran los espectros de respuesta y desplazamiento para el sismo del 16 de abril de 2016, en la ciudad de Guayaquil.

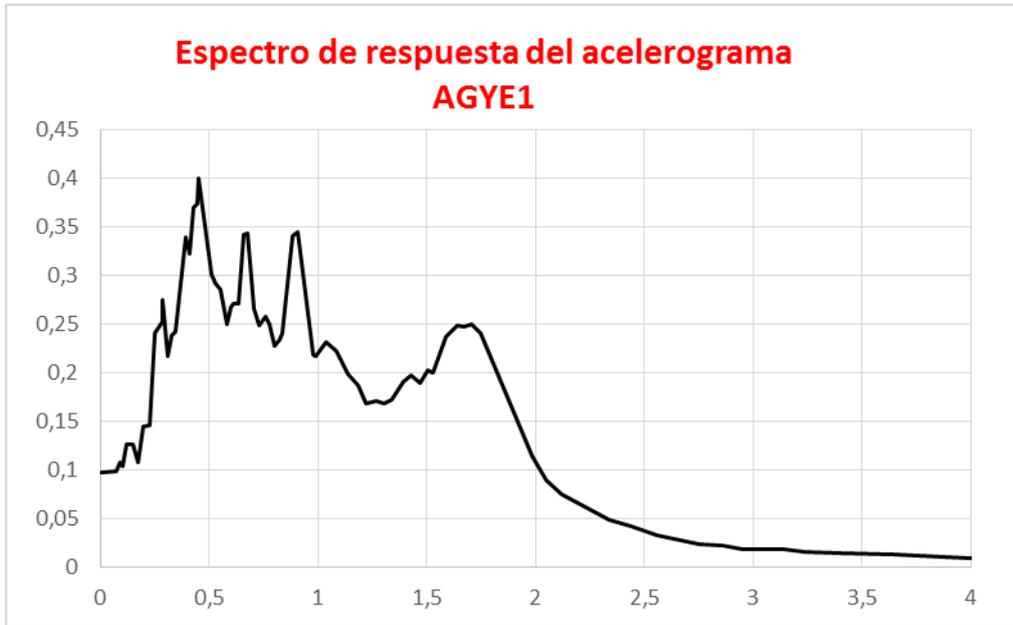


Ilustración 67. Espectro de respuesta Guayaquil suelo tipo E.



Ilustración 68. Espectro de respuesta Guayaquil suelo tipo E.

5 CAPÍTULO V

5.1 Memoria técnica

5.1.1. Caracterización de factor z

5.1.1.1. Portoviejo

Para ciudades no capitales de la provincia de Manabí como Manta y Bahía de Caráquez se utilizó las curvas de peligro sísmico de la ciudad de Portoviejo de la ilustración 39 del capítulo IV del presente trabajo, obteniendo los diferentes factores z para sismo frecuente ($Z=0,34$), ocasional ($Z=0,47$), raro ($Z=0,625$) y muy raro ($Z=1$), para suelos de tipo B. La tabla 11 muestra los valores de S_a obtenidos para Portoviejo.

Tabla 11. Determinación de valores S_a . Curvas de peligro sísmico Portoviejo.

SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
S_a	Aceleración (g)	S_a	Aceleración (g)
PGA	0,34	PGA	0,47
1	0,1	1	0,2
0,5	0,2	0,5	0,4
0,2	0,36	0,2	0,7
0,1	0,38	0,1	0,71
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
S_a	Aceleración (g)	S_a	Aceleración (g)
PGA	0,625	PGA	1
1	0,24	1	0,48
0,5	0,48	0,5	0,91
0,2	0,8	0,2	1,5
0,1	0,81	0,1	1,5

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La ilustración 65 muestra los espectros para cada tipo de sismo, obtenidos de las curvas de peligro sísmico.

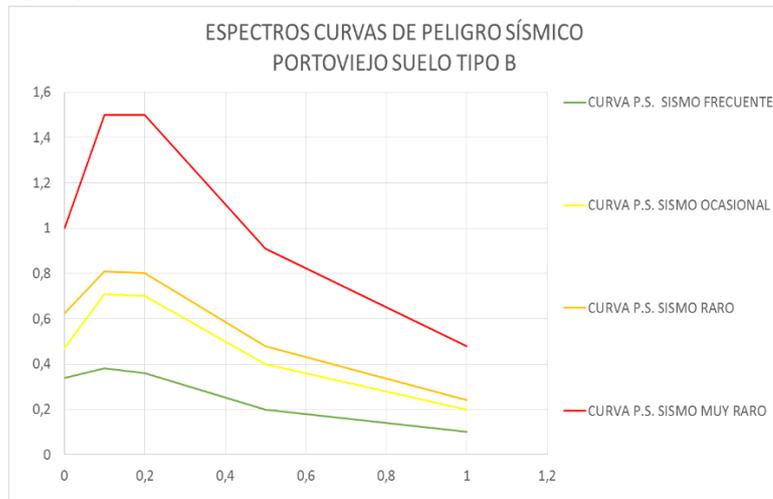


Ilustración 69. Espectros curva de peligro sísmico Portoviejo. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

5.1.1.2. Guayaquil

Para ciudades de la provincia de Guayas se utilizó las curvas de peligro sísmico de la ciudad de Guayaquil de la ilustración 38 del capítulo IV del presente trabajo, obteniendo los diferentes factores z para sismo frecuente ($Z=0,2$), ocasional ($Z=0,34$), raro ($Z=0,4$) y muy raro ($Z=65$), para suelos de tipo B. La tabla 12 muestra los valores de Sa obtenidos para Guayaquil.

Tabla 12. Determinación de valores Sa. Curvas de peligro sísmico Guayaquil.

SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
Sa	Aceleración (g)	Sa	Aceleración (g)
PGA	0,2	PGA	0,34
1	0,075	1	0,14
0,5	0,16	0,5	0,28
0,2	0,325	0,2	0,53
0,1	0,35	0,1	0,57
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
Sa	Aceleración (g)	Sa	Aceleración (g)
PGA	0,4	PGA	0,65
1	0,19	1	0,29
0,5	0,36	0,5	0,56
0,2	0,71	0,2	1
0,1	0,72	0,1	1

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La ilustración 66 muestra los espectros para cada tipo de sismo, obtenidos de las curvas de peligro sísmico.

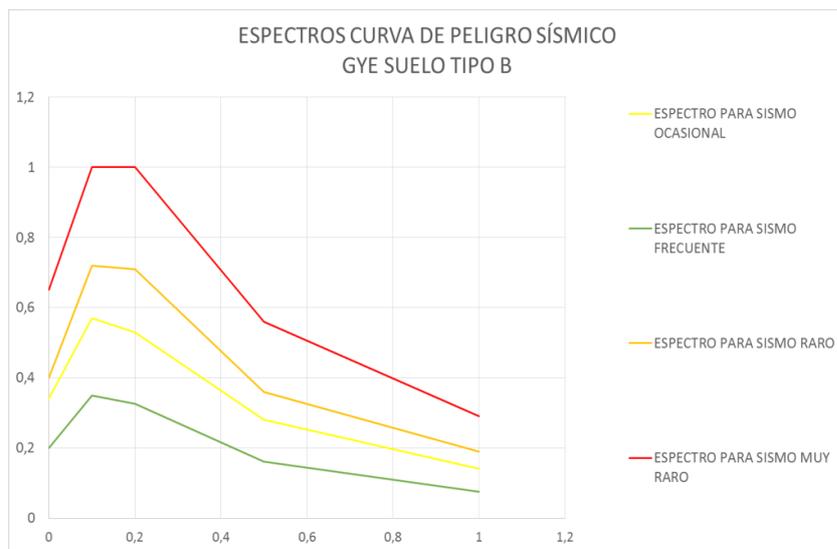


Ilustración 70. Espectros curva de peligro sísmico Guayaquil. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

5.1.2. Tipos de suelo

5.1.2.1. Suelo tipo B

Una vez identificado el factor Z y el tipo de suelo se procederá a obtener los coeficientes de amplificación Fa, Fd y Fs. Dichos coeficientes se encuentran en la tabla 5, 6 y 7 del capítulo IV del presente trabajo, para la ciudad de Portoviejo.

En la tabla 13 se muestran los factores de amplificación para cada tipo de sismo de Portoviejo en suelo tipo B.

Tabla 13. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.

SUELO TIPO B		SUELO TIPO B	
SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
Tr	72 años	Tr	225 años
1/Tr	0,0139	1/Tr	0,0044
Z	0,34	Z	0,47
Fa	1	Fa	1
Fd	1	Fd	1
Fs	0,75	Fs	0,75
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,34	Z	0,47
nzFa	0,61	nzFa	0,85
To	0,08	To	0,08
Tc	0,41	Tc	0,41
Tl	2,4	Tl	2,4
SUELO TIPO B		SUELO TIPO B	
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
Tr	475 años	Tr	2500
1/Tr	0,0021	1/Tr	0,0004
Z	0,625	Z	1
Fa	1	Fa	1
Fd	1	Fd	1
Fs	0,75	Fs	0,75
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,625	Z	1
nzFa	1,13	nzFa	1,8
To	0,08	To	0,08
Tc	0,41	Tc	0,41
Tl	2,40	Tl	2,40

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

Calculado los coeficientes según el tipo de suelo, se procede a calcular T_0 , T_c y T_L con las ecuaciones 5, 6 y 10 respectivamente, detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

En la tabla 14 se muestran los valores de T y S_a para el espectro de sismo frecuente de Portoviejo, para suelo tipo B.

Tabla 14. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.

T	S _a	T	S _a
0,00	0,34	1,41	0,18
0,08	0,61	1,51	0,17
0,41	0,61	1,61	0,16
0,51	0,49	1,71	0,15
0,61	0,41	1,81	0,14
0,71	0,35	1,91	0,13
0,81	0,31	2,01	0,13
0,91	0,28	2,11	0,12
1,01	0,25	2,21	0,11
1,11	0,23	2,31	0,11
1,21	0,21	2,41	0,10
1,31	0,19		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 15 se muestran los valores de T y S_a para el espectro de sismo ocasional de Portoviejo, para suelo tipo B.

Tabla 15. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.

T	S _a	T	S _a
0,00	0,47	1,41	0,25
0,08	0,85	1,51	0,23
0,41	0,85	1,61	0,22
0,51	0,68	1,71	0,20
0,61	0,57	1,81	0,19
0,71	0,49	1,91	0,18
0,81	0,43	2,01	0,17
0,91	0,38	2,11	0,17
1,01	0,34	2,21	0,16
1,11	0,31	2,31	0,15
1,21	0,29	2,41	0,14
1,31	0,27		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 16 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo raro de Portoviejo, para suelo tipo B.

Tabla 16. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,63	1,41	0,33
0,08	1,13	1,51	0,31
0,41	1,13	1,61	0,29
0,51	0,91	1,71	0,27
0,61	0,76	1,81	0,26
0,71	0,65	1,91	0,24
0,81	0,57	2,01	0,23
0,91	0,51	2,11	0,22
1,01	0,46	2,21	0,21
1,11	0,42	2,31	0,20
1,21	0,38	2,41	0,19
1,31	0,35		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 17 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo muy raro de Portoviejo, para suelo tipo B.

Tabla 17. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0	1	1,41	0,53
0,08	1,80	1,51	0,49
0,41	1,80	1,61	0,46
0,51	1,45	1,71	0,43
0,61	1,21	1,81	0,41
0,71	1,04	1,91	0,39
0,81	0,91	2,01	0,37
0,91	0,81	2,11	0,35
1,01	0,73	2,21	0,34
1,11	0,67	2,31	0,32
1,21	0,61	2,41	0,31
1,31	0,57		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

Finalmente, se procede a diseñar el espectro de respuesta elástico con las ecuaciones 1, 2 y 3 detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

La ilustración 71 muestra los espectros de aceleración de suelo tipo B, para cada tipo de sismo.

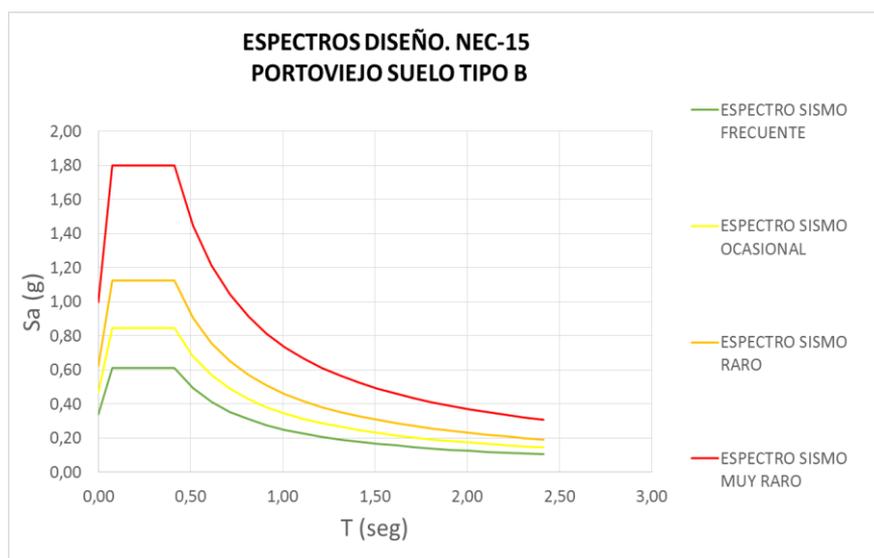


Ilustración 71. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo B. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

Se realiza el mismo procedimiento para la ciudad de Guayaquil.

En la tabla 18 se muestran los factores de amplificación para cada tipo de sismo de Guayaquil en suelo tipo B.

Tabla 18. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Guayaquil.

SUELO TIPO B		SUELO TIPO B	
SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
Tr	72 años	Tr	225 años
1/Tr	0,0139	1/Tr	0,0044
Z	0,2	Z	0,34
Fa	1	Fa	1
Fd	1	Fd	1
Fs	0,75	Fs	0,75
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,2	Z	0,34
nzFa	0,36	nzFa	0,61
To	0,08	To	0,08
Tc	0,41	Tc	0,41
Tl	2,40	Tl	2,4
SUELO TIPO B		SUELO TIPO B	
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
Tr	475	Tr	2500
1/Tr	0,0021	1/Tr	0,0004
Z	0,4	Z	0,65
Fa	1	Fa	1
Fd	1	Fd	1
Fs	0,75	Fs	0,75
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,4	Z	0,65
nzFa	0,72	nzFa	1,17
To	0,08	To	0,08
Tc	0,41	Tc	0,41
Tl	2,4	Tl	2,40

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 19 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo frecuente de Guayaquil, para suelo tipo B.

Tabla 19. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,20	1,41	0,11
0,08	0,36	1,51	0,10
0,41	0,36	1,61	0,09
0,51	0,29	1,71	0,09
0,61	0,24	1,81	0,08
0,71	0,21	1,91	0,08
0,81	0,18	2,01	0,07
0,91	0,16	2,11	0,07
1,01	0,15	2,21	0,07
1,11	0,13	2,31	0,06
1,21	0,12	2,41	0,06
1,31	0,11		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 20 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo ocasional de Guayaquil, para suelo tipo B.

Tabla 20. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,34	1,41	0,18
0,08	0,61	1,51	0,17
0,41	0,61	1,61	0,16
0,51	0,49	1,71	0,15
0,61	0,41	1,81	0,14
0,71	0,35	1,91	0,13
0,81	0,31	2,01	0,13
0,91	0,28	2,11	0,12
1,01	0,25	2,21	0,11
1,11	0,23	2,31	0,11
1,21	0,21	2,41	0,10
1,31	0,19		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 21 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo raro de Guayaquil, para suelo tipo B.

Tabla 21. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,40	1,41	0,21
0,08	0,72	1,51	0,20
0,41	0,72	1,61	0,18
0,51	0,58	1,71	0,17
0,61	0,48	1,81	0,16
0,71	0,42	1,91	0,16
0,81	0,37	2,01	0,15
0,91	0,33	2,11	0,14
1,01	0,29	2,21	0,13
1,11	0,27	2,31	0,13
1,21	0,24	2,41	0,12
1,31	0,23		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 22 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo muy raro de Guayaquil, para suelo tipo B.

Tabla 22. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,65	1,41	0,34
0,08	1,17	1,51	0,32
0,41	1,17	1,61	0,30
0,51	0,94	1,71	0,28
0,61	0,79	1,81	0,27
0,71	0,68	1,91	0,25
0,81	0,59	2,01	0,24
0,91	0,53	2,11	0,23
1,01	0,48	2,21	0,22
1,11	0,43	2,31	0,21
1,21	0,40	2,41	0,20
1,31	0,37		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La ilustración 72 muestra los espectros de aceleración de suelo tipo B, para cada tipo de sismo.

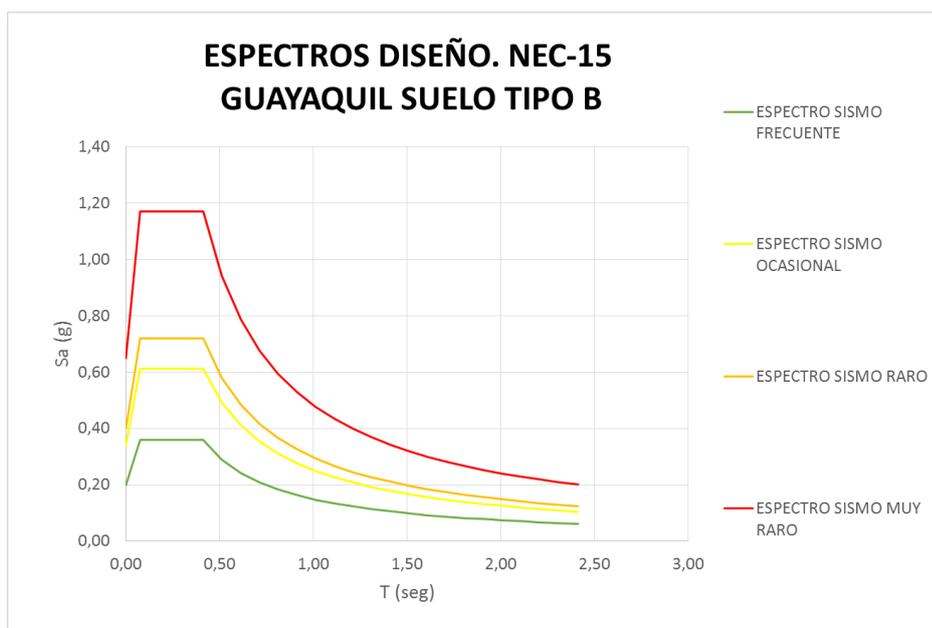


Ilustración 72. Espectros de aceleración Guayaquil suelo tipo B. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

5.1.2.2 Suelo tipo C

Una vez identificado el factor Z y el tipo de suelo se procederá a obtener los coeficientes de amplificación F_a , F_d y F_s . Dichos coeficientes se encuentran en la tabla 5, 6 y 7 del capítulo IV del presente trabajo.

Calculado los coeficientes según el tipo de suelo, se procede a calcular T_o , T_c y T_L con las ecuaciones 5, 6 y 10 respectivamente, detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

Finalmente, se procede a diseñar el espectro de respuesta elástico con las ecuaciones 1, 2 y 3 detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

En la tabla 23 se muestran los factores de amplificación para cada tipo de sismo de Portoviejo en suelo tipo C.

Tabla 23. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.

SUELO TIPO C		SUELO TIPO C	
SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
Tr	72 años	Tr	225 años
1/Tr	0,0139	1/Tr	0,0044
Z	0,34	Z	0,47
Fa	1,24	Fa	1,18
Fd	1,16	Fd	1,07
Fs	1,04	Fs	1,19
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,34	Z	0,47
nzFa	0,76	nzFa	1,00
To	0,10	To	0,11
Tc	0,54	Tc	0,59
Tl	2,78	Tl	2,57
SUELO TIPO C		SUELO TIPO C	
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
Tr	475 años	Tr	2500 años
1/Tr	0,0021	1/Tr	0,0004
Z	0,625	Z	1
Fa	1,12	Fa	1,12
Fd	1,11	Fd	1,11
Fs	1,4	Fs	1,4
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,625	Z	1
nzFa	1,26	nzFa	2,02
To	0,14	To	0,14
Tc	0,76	Tc	0,76
Tl	2,66	Tl	2,66

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 24 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo frecuente de Portoviejo, para suelo tipo C.

Tabla 24. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,42	1,64	0,25
0,10	0,76	1,74	0,23
0,54	0,76	1,84	0,22
0,64	0,64	1,94	0,21
0,74	0,55	2,04	0,20
0,84	0,49	2,14	0,19
0,94	0,43	2,24	0,18
1,04	0,39	2,34	0,17
1,14	0,36	2,44	0,17
1,24	0,33	2,54	0,16
1,34	0,30	2,64	0,15
1,44	0,28	2,74	0,15
1,54	0,26	2,84	0,14

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 25 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo ocasional de Portoviejo, para suelo tipo C.

Tabla 25. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,55	1,59	0,37
0,11	1,00	1,69	0,35
0,59	1,00	1,79	0,33
0,69	0,85	1,89	0,31
0,79	0,75	1,99	0,30
0,89	0,66	2,09	0,28
0,99	0,60	2,19	0,27
1,09	0,54	2,29	0,26
1,19	0,50	2,39	0,25
1,29	0,46	2,49	0,24
1,39	0,43	2,59	0,23
1,49	0,40		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 26 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo raro de Portoviejo, para suelo tipo C.

Tabla 26. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,70	1,76	0,55
0,14	1,26	1,86	0,52
0,76	1,26	1,96	0,49
0,86	1,11	2,06	0,47
0,96	1,00	2,16	0,44
1,06	0,90	2,26	0,42
1,16	0,83	2,36	0,41
1,26	0,76	2,46	0,39
1,36	0,71	2,56	0,38
1,46	0,66	2,66	0,36
1,56	0,62	2,76	0,35
1,66	0,58		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 27 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo muy raro de Portoviejo, para suelo tipo C.

Tabla 27. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0	1,12	1,76	0,87
0,14	2,02	1,86	0,83
0,76	2,02	1,96	0,78
0,86	1,78	2,06	0,75
0,96	1,60	2,16	0,71
1,06	1,45	2,26	0,68
1,16	1,32	2,36	0,65
1,26	1,22	2,46	0,62
1,36	1,13	2,56	0,60
1,46	1,05	2,66	0,58
1,56	0,98	2,76	0,56
1,66	0,93		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La ilustración 73 muestra los espectros de aceleración de suelo tipo C, para cada tipo de sismo.

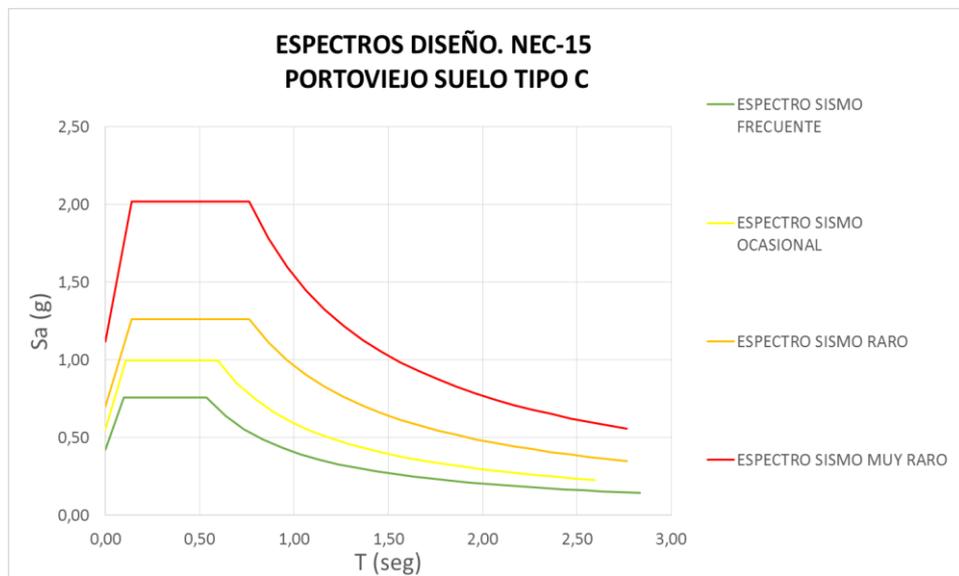


Ilustración 73. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo C. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

5.1.2.3. Suelo tipo D

Una vez identificado el factor Z y el tipo de suelo se procederá a obtener los coeficientes de amplificación F_a , F_d y F_s . Dichos coeficientes se encuentran en la tabla 5, 6 y 7 del capítulo IV del presente trabajo.

Calculado los coeficientes según el tipo de suelo, se procede a calcular T_0 , T_c y T_L con las ecuaciones 5, 6 y 10 respectivamente, detalladas en el capítulo IV del

presente trabajo. Finalmente, se procede a diseñar el espectro de respuesta elástico con las ecuaciones 1, 2 y 3 detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

En la tabla 28 se muestran los factores de amplificación para cada tipo de sismo de la ciudad de Portoviejo en suelo tipo D.

Tabla 28. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.

SUELO TIPO D		SUELO TIPO D	
SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
Tr	72 años	Tr	225 años
1/Tr	0,0139	1/Tr	0,0044
Z	0,34	Z	0,47
Fa	1,26	Fa	1,14
Fd	1,36	Fd	1,13
Fs	1,174	Fs	1,36
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,34	Z	0,47
nzFa	0,77	nzFa	0,96
To	0,13	To	0,13
Tc	0,70	Tc	0,74
Tl	3,26	Tl	2,71
SUELO TIPO D		SUELO TIPO D	
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
Tr	475 años	Tr	2500 años
1/Tr	0,0021	1/Tr	0,0004
Z	0,625	Z	1
Fa	1,12	Fa	1,12
Fd	1,11	Fd	1,11
Fs	1,4	Fs	1,4
n	1,8	n	1,8
r	1	r	1
Z	0,625	Z	1
nzFa	1,26	nzFa	2,02
To	0,14	To	0,14
Tc	0,76	Tc	0,76
Tl	2,66	Tl	2,66

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 29 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo frecuente de Portoviejo, para suelo tipo D.

Tabla 29. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,43	2,00	0,27
0,13	0,77	2,10	0,26
0,70	0,77	2,20	0,24
0,80	0,67	2,30	0,23
0,90	0,60	2,40	0,22
1,00	0,54	2,50	0,22
1,10	0,49	2,60	0,21
1,20	0,45	2,70	0,20
1,30	0,41	2,80	0,19
1,40	0,38	2,90	0,19
1,50	0,36	3,00	0,18
1,60	0,34	3,10	0,17
1,70	0,32	3,20	0,17
1,80	0,30	3,30	0,16
1,90	0,28		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 30 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo ocasional de Portoviejo, para suelo tipo D.

Tabla 30. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,54	1,74	0,41
0,13	0,96	1,84	0,39
0,74	0,96	1,94	0,37
0,84	0,85	2,04	0,35
0,94	0,76	2,14	0,33
1,04	0,69	2,24	0,32
1,14	0,63	2,34	0,31
1,24	0,58	2,44	0,29
1,34	0,53	2,54	0,28
1,44	0,50	2,64	0,27
1,54	0,46	2,74	0,26

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 31 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo raro de Portoviejo, para suelo tipo D.

Tabla 31. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,70	1,76	0,55
0,14	1,26	1,86	0,52
0,76	1,26	1,96	0,49
0,86	1,11	2,06	0,47
0,96	1,00	2,16	0,44
1,06	0,90	2,26	0,42
1,16	0,83	2,36	0,41
1,26	0,76	2,46	0,39
1,36	0,71	2,56	0,38
1,46	0,66	2,66	0,36
1,56	0,62	2,76	0,35
1,66	0,58		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 32 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo muy raro de Portoviejo, para suelo tipo D.

Tabla 32. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	1,12	1,76	0,87
0,14	2,02	1,86	0,83
0,76	2,02	1,96	0,78
0,86	1,78	2,06	0,75
0,96	1,60	2,16	0,71
1,06	1,45	2,26	0,68
1,16	1,32	2,36	0,65
1,26	1,22	2,46	0,62
1,36	1,13	2,56	0,60
1,46	1,05	2,66	0,58
1,56	0,98	2,76	0,56
1,66	0,93		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La ilustración 74 muestra los espectros de aceleración de suelo tipo D, para cada tipo de sismo.

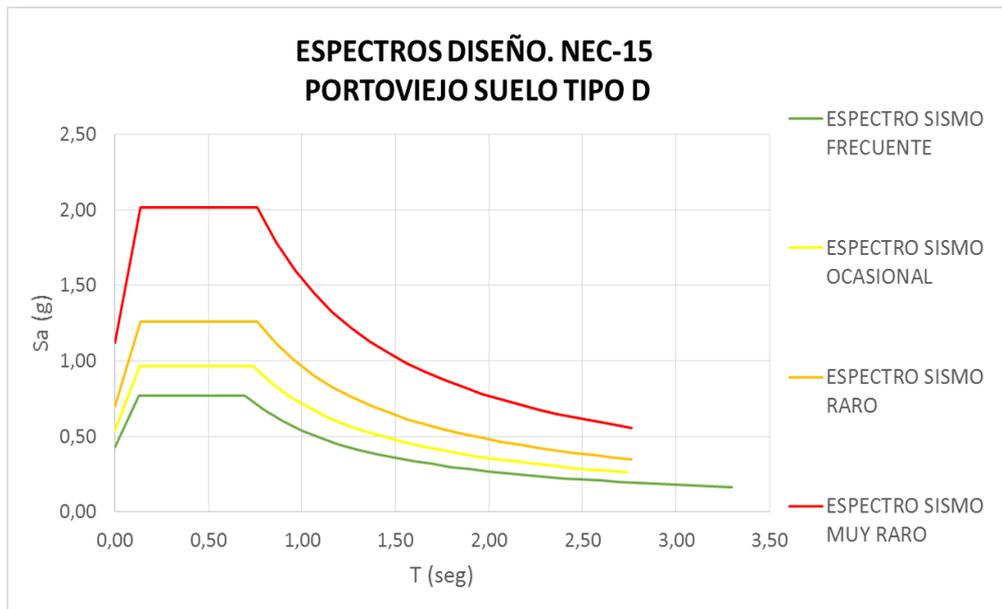


Ilustración 74. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo D. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

5.1.2.4. Suelo tipo E

Una vez identificado el factor Z y el tipo de suelo se procederá a obtener los coeficientes de amplificación F_a , F_d y F_s . Dichos coeficientes se encuentran en la tabla 5, 6 y 7 del capítulo IV del presente trabajo.

Calculado los coeficientes según el tipo de suelo, se procede a calcular T_o , T_c y T_L con las ecuaciones 5, 6 y 10 respectivamente, detalladas en el capítulo IV del presente trabajo. Finalmente, se procede a diseñar el espectro de respuesta elástico para la ciudad de Portoviejo con las ecuaciones 1, 2 y 3 detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

En la tabla 33 se muestran los factores de amplificación para cada tipo de sismo de la ciudad de Portoviejo en suelo tipo E.

Tabla 33. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Portoviejo.

SUELO TIPO E		SUELO TIPO E	
SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
Tr	72 años	Tr	225 años
1/Tr	0,0139	1/Tr	0,0044
Z	0,34	Z	0,47
Fa	1,13	Fa	0,895
Fd	1,66	Fd	1,53
Fs	1,78	Fs	1,97
n	1,8	n	1,8
r	1,5	r	1,5
Z	0,34	Z	0,47
nzFa	0,69	nzFa	0,76
To	0,26	To	0,34
Tc	1,44	Tc	1,85
TI	3,98	TI	3,67
SUELO TIPO E		SUELO TIPO E	
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
Tr	475 años	Tr	2500 años
1/Tr	0,0021	1/Tr	0,0004
Z	0,625	Z	1
Fa	0,85	Fa	0,85
Fd	1,5	Fd	1,5
Fs	2	Fs	2
n	1,8	n	1,8
r	1,5	r	1,5
Z	0,625	Z	1
nzFa	0,96	nzFa	1,53
To	0,35	To	0,35
Tc	1,94	Tc	1,94
TI	3,60	TI	3,60

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 34 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo frecuente de Portoviejo, para suelo tipo E.

Tabla 34. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,38	2,64	0,28
0,26	0,69	2,74	0,26
1,44	0,69	2,84	0,25
1,54	0,63	2,94	0,24
1,64	0,57	3,04	0,23
1,74	0,52	3,14	0,21
1,84	0,48	3,24	0,20
1,94	0,44	3,34	0,20
2,04	0,41	3,44	0,19
2,14	0,38	3,54	0,18
2,24	0,36	3,64	0,17
2,34	0,33	3,74	0,17
2,44	0,31	3,84	0,16
2,54	0,29	3,94	0,15

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 35 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo ocasional de Portoviejo, para suelo tipo E.

Tabla 35. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,42	2,75	0,42
0,34	0,76	2,85	0,40
1,85	0,76	2,95	0,38
1,95	0,70	3,05	0,36
2,05	0,65	3,15	0,34
2,15	0,60	3,25	0,33
2,25	0,56	3,35	0,31
2,35	0,53	3,45	0,30
2,45	0,50	3,55	0,29
2,55	0,47	3,65	0,27
2,65	0,44	3,75	0,26

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 36 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo raro de Portoviejo, para suelo tipo E.

Tabla 36. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,53	2,74	0,57
0,35	0,96	2,84	0,54
1,94	0,96	2,94	0,51
2,04	0,89	3,04	0,49
2,14	0,83	3,14	0,46
2,24	0,77	3,24	0,44
2,34	0,72	3,34	0,42
2,44	0,68	3,44	0,41
2,54	0,64	3,54	0,39
2,64	0,60	3,64	0,37

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 37 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo muy raro de Portoviejo, para suelo tipo E.

Tabla 37. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Portoviejo.

T	Sa	T	Sa
0	0,85	2,74	0,91
0,35	1,53	2,84	0,86
1,94	1,53	2,94	0,82
2,04	1,42	3,04	0,78
2,14	1,32	3,14	0,74
2,24	1,23	3,24	0,71
2,34	1,16	3,34	0,68
2,44	1,08	3,44	0,65
2,54	1,02	3,54	0,62
2,64	0,96	3,64	0,60

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La ilustración 75 muestra los espectros de aceleración de suelo tipo E, para cada tipo de sismo.

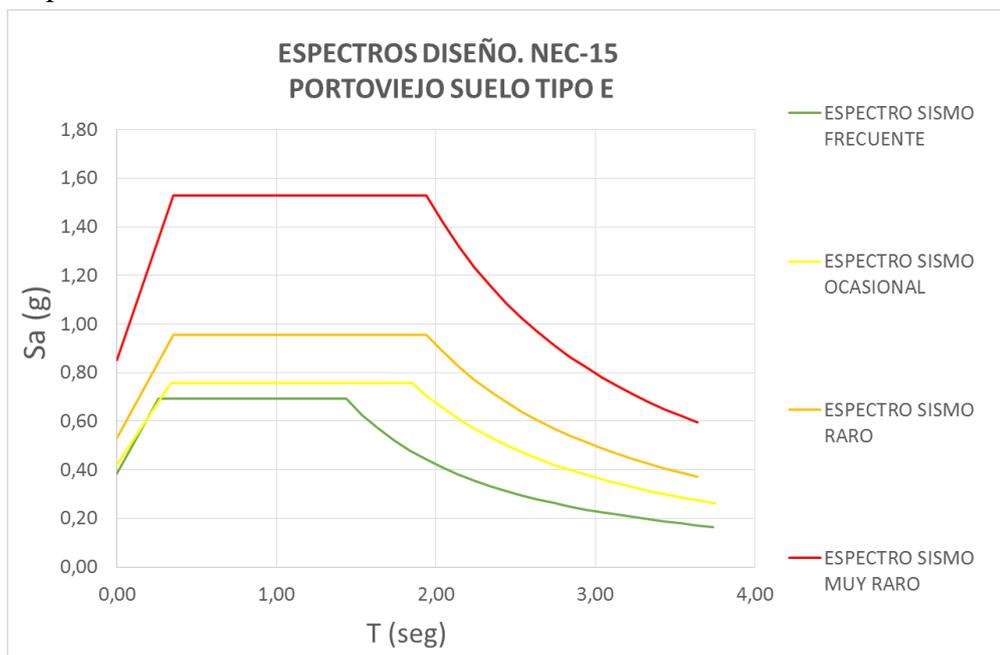


Ilustración 75. Espectros de aceleración Portoviejo suelo tipo E. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

Para la ciudad de Guayaquil, se igual forma se procede a calcular T_0 , T_c y T_L con las ecuaciones 5, 6 y 10 respectivamente, detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

Para diseñar el espectro de respuesta elástico de la ciudad de Guayaquil con las ecuaciones 1, 2 y 3 detalladas en el capítulo IV del presente trabajo.

En la tabla 38 se muestran los factores de amplificación para cada tipo de sismo de la ciudad de Guayaquil en suelo tipo E.

Tabla 38. Determinación de factores de amplificación y períodos para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro Guayaquil.

SUELO TIPO E		SUELO TIPO E	
SISMO FRECUENTE		SISMO OCASIONAL	
Tr	72 años	Tr	225 años
1/Tr	0,0139	1/Tr	0,0044
Z	0,2	Z	0,34
Fa	1,6	Fa	1,13
Fd	1,925	Fd	1,66
Fs	1,55	Fs	1,78
n	1,8	n	1,8
r	1,5	r	1,5
Z	0,2	Z	0,34
nzFa	0,576	nzFa	0,69
To	0,19	To	0,26
Tc	1,03	Tc	1,44
Tl	4,62	Tl	3,98
SUELO TIPO E		SUELO TIPO E	
SISMO RARO		SISMO MUY RARO	
Tr	475	Tr	2500
1/Tr	0,0021	1/Tr	0,0004
Z	0,4	Z	0,65
Fa	1	Fa	0,85
Fd	1,6	Fd	1,5
Fs	1,9	Fs	2
n	1,8	n	1,8
r	1,5	r	1,5
Z	0,4	Z	0,65
nzFa	0,72	nzFa	0,99
To	0,30	To	0,35
Tc	1,67	Tc	1,94
Tl	3,84	Tl	3,60

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 39 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo frecuente de Guayaquil, para suelo tipo E.

Tabla 39. Cálculo de espectro de aceleración sismo frecuente Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,32	2,83	0,13
0,19	0,58	2,93	0,12
1,03	0,58	3,03	0,11
1,13	0,50	3,13	0,11
1,23	0,44	3,23	0,10
1,33	0,39	3,33	0,10
1,43	0,35	3,43	0,09
1,53	0,32	3,53	0,09
1,63	0,29	3,63	0,09
1,73	0,26	3,73	0,08
1,83	0,24	3,83	0,08
1,93	0,22	3,93	0,08
2,03	0,21	4,03	0,07
2,13	0,19	4,13	0,07
2,23	0,18	4,23	0,07
2,33	0,17	4,33	0,07
2,43	0,16	4,43	0,06
2,53	0,15	4,53	0,06
2,63	0,14	4,63	0,06
2,73	0,13		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 40 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo ocasional de Guayaquil, para suelo tipo E.

Tabla 40. Cálculo de espectro de aceleración sismo ocasional Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,38	2,74	0,26
0,26	0,69	2,84	0,25
1,44	0,69	2,94	0,24
1,54	0,63	3,04	0,23
1,64	0,57	3,14	0,21
1,74	0,52	3,24	0,20
1,84	0,48	3,34	0,20
1,94	0,44	3,44	0,19
2,04	0,41	3,54	0,18
2,14	0,38	3,64	0,17
2,24	0,36	3,74	0,17
2,34	0,33	3,84	0,16
2,44	0,31	3,94	0,15
2,54	0,29	4,04	0,15
2,64	0,28		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 41 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo raro de Guayaquil, para suelo tipo E.

Tabla 41. Cálculo de espectro de aceleración sismo raro Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,40	2,77	0,34
0,30	0,72	2,87	0,32
1,67	0,72	2,97	0,30
1,77	0,66	3,07	0,29
1,87	0,61	3,17	0,28
1,97	0,56	3,27	0,26
2,07	0,52	3,37	0,25
2,17	0,49	3,47	0,24
2,27	0,45	3,57	0,23
2,37	0,43	3,67	0,22
2,47	0,40	3,77	0,21
2,57	0,38	3,87	0,20
2,67	0,36		

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

En la tabla 42 se muestran los valores de T y Sa para el espectro de sismo muy raro de Guayaquil, para suelo tipo E.

Tabla 42. Cálculo de espectro de aceleración sismo muy raro Guayaquil.

T	Sa	T	Sa
0,00	0,55	2,74	0,59
0,35	0,99	2,84	0,56
1,94	0,99	2,94	0,53
2,04	0,92	3,04	0,51
2,14	0,86	3,14	0,48
2,24	0,80	3,24	0,46
2,34	0,75	3,34	0,44
2,44	0,71	3,44	0,42
2,54	0,66	3,54	0,40
2,64	0,63	3,64	0,39

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La ilustración 71 muestra los espectros de aceleración de suelo tipo E, para cada tipo de sismo.

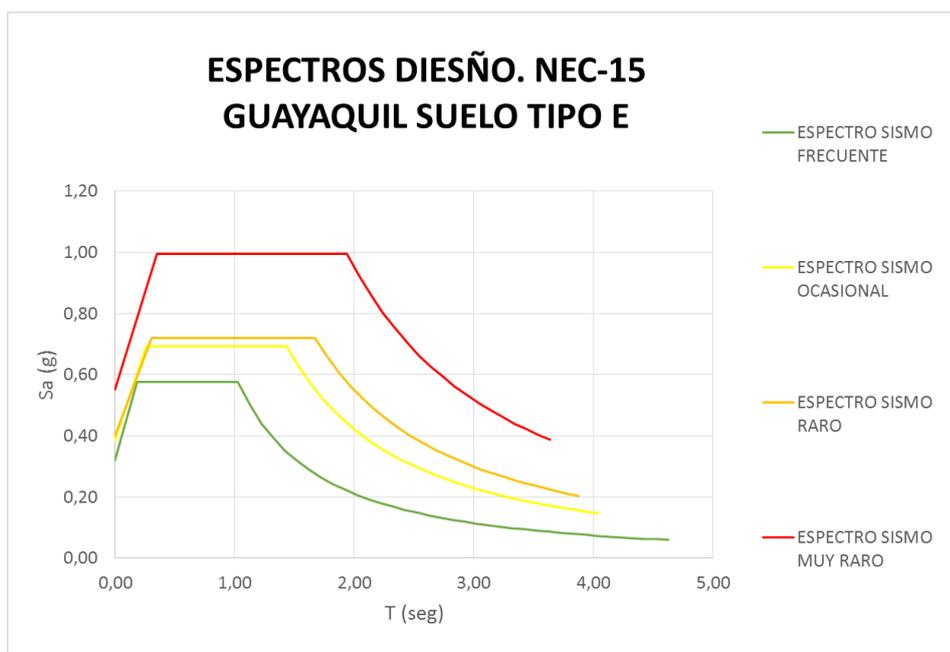


Ilustración 76. Espectros de aceleración Guayaquil suelo tipo F. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

5.1.3. Período de vibración de las estructuras

Se procederá a calcular el período de la estructura con la ecuación 7 del capítulo IV del presente trabajo y con la ilustración 43 obtendremos los coeficientes C_t y α para cada edificio.

Tabla 43. Cálculo de período para estructuras de suelo tipo E.

Guayaquil	Ex edificio IETEL	
	TOTAL PISOS	5
	hn	15
	α	0,9
	C_t	0,055
	$T = C_t * hn^\alpha$	
	0,63	seg
Samborondón	Edificio ECU-911	
	TOTAL PISOS	3
	hn	11,1
	α	0,9
	C_t	0,055
	$T = C_t * hn^\alpha$	
	0,48	seg
Manta	Edificio CNEL	
	TOTAL PISOS	10
	hn	32
	α	0,9
	C_t	0,055
	$T = C_t * hn^\alpha$	
	1,24	seg

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015.

La tabla 43 muestra los períodos para la estructuras localizadas en suelo tipo E, mientras que la tabla 44 muestra los períodos para las estructuras localizadas en suelo tipo D.

Tabla 44. Cálculo de período para estructuras de suelo tipo D.

Portoviejo	Edificio ECU-911	
	TOTAL PISOS	4
	hn	13,4
	α	0,9
	Ct	0,055
	T= Ct * hn^{α}	
	0,57	seg
	Edificio CNT	
	TOTAL PISOS	3
	hn	9,75
α	0,9	
Ct	0,055	
T= Ct * hn^{α}		
0,43	seg	
Bahía de Caráquez	Ex edificio PACIFITEL	
	TOTAL PISOS	3
	hn	9
	α	0,9
	Ct	0,055
	T= Ct * hn^{α}	
0,40	seg	
San Vicente	Aeropuerto Los Perales	
	TOTAL PISOS	4
	hn	12,8
	α	0,9
	Ct	0,055
	T= Ct * hn^{α}	
0,55	seg	
Manta	Aeropuerto Eloy Alfaro	
	TOTAL PISOS	5
	hn	14
	α	0,9
	Ct	0,055
	T= Ct * hn^{α}	
0,59	seg	

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Elaborado por Eddie Feijóo

5.1.4. Desplazamiento elástico y deriva inelástica

Procederemos a calcular TL con la ecuación 10 del capítulo IV del presente trabajo.

$$Tl = 2.4 * Fd$$

Si T_l es mayor a T se usará la ecuación 8 mencionada en el capítulo IV del presente trabajo.

$$S_d = S_a(g) * F_a \left(\frac{T}{2 * \pi} \right)^2$$

Caso contrario se usará la ecuación 9 del capítulo IV del presente trabajo.

$$S_d = S_a(g) * F_a \left(\frac{T_l}{2 * \pi} \right)^2$$

Finalmente para la determinación de la deriva inelástica utilizaremos la ecuación 11 del capítulo IV del presente trabajo.

$$\Delta_m = 0.75 * \frac{S_d}{H}$$

Los valores de S_d reales se los obtiene del gráfico de desplazamiento del sismo y dependen de la vibración de cada estructura, calculados en las tablas 43 y 44.

Las ilustraciones 77 a la 84 muestran los valores de desplazamiento de respuesta de sismo para cada estructura seleccionada.

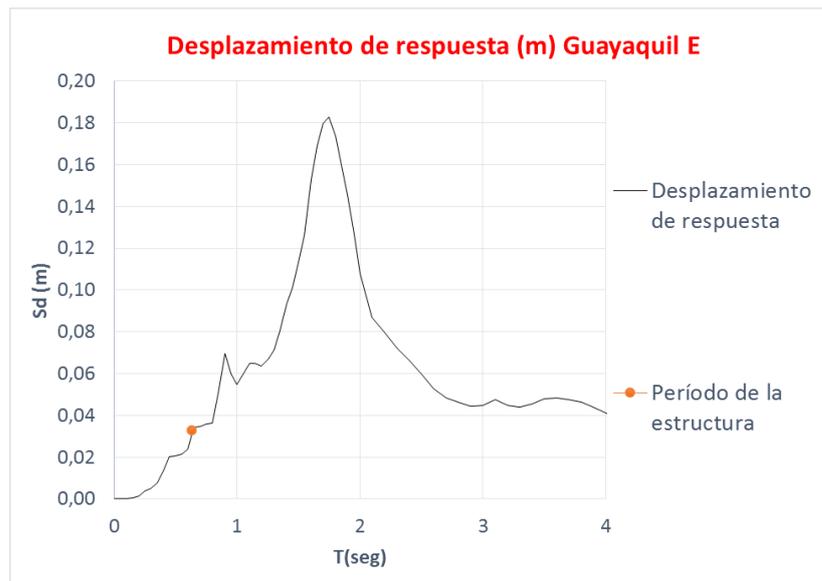


Ilustración 77. Valor S_d para ex edificio IETEL de Guayaquil.

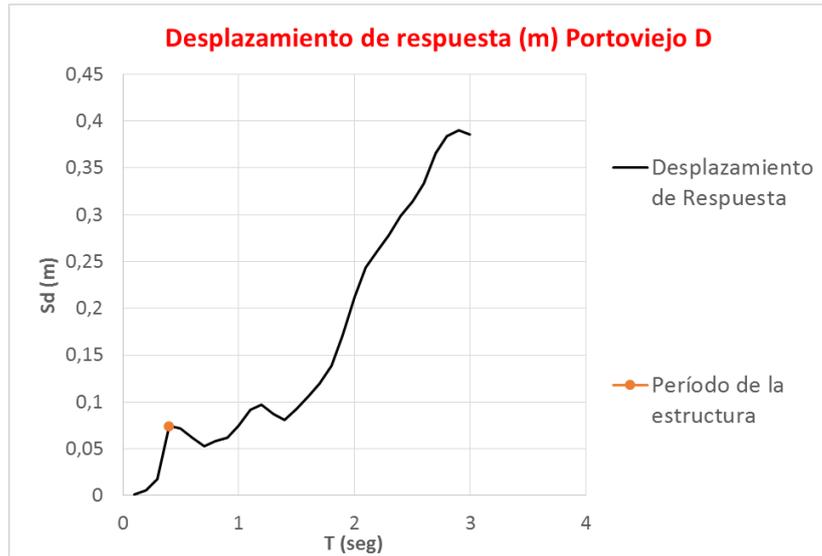


Ilustración 78. Valor Sd para ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.

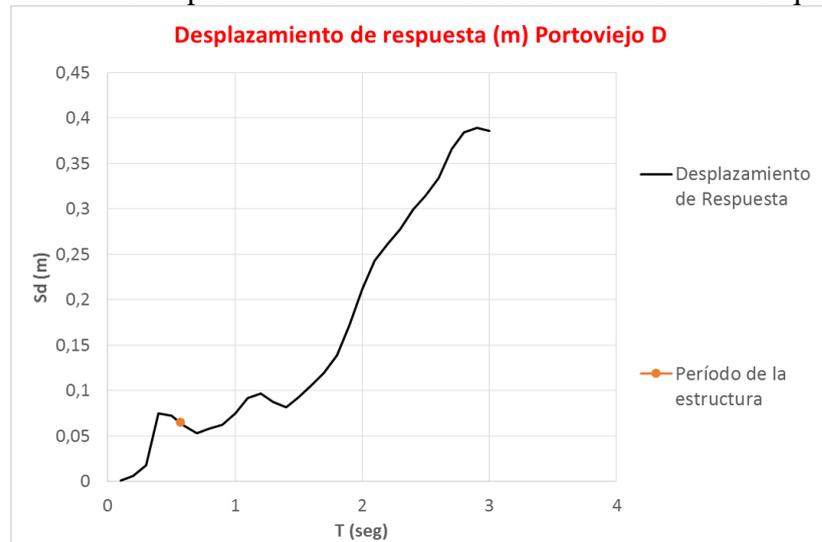


Ilustración 79. Valor Sd para edificio ECU-911 de Portoviejo.

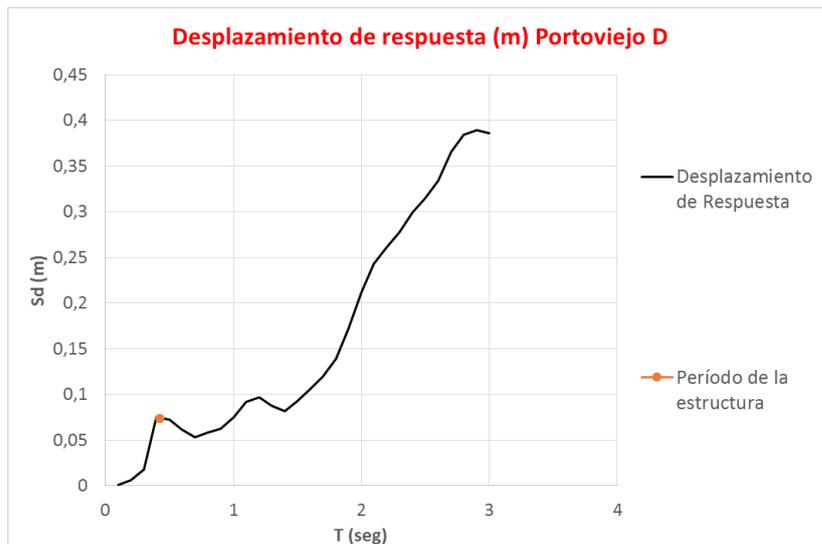


Ilustración 80. Valor Sd para edificio CNT de Portoviejo.

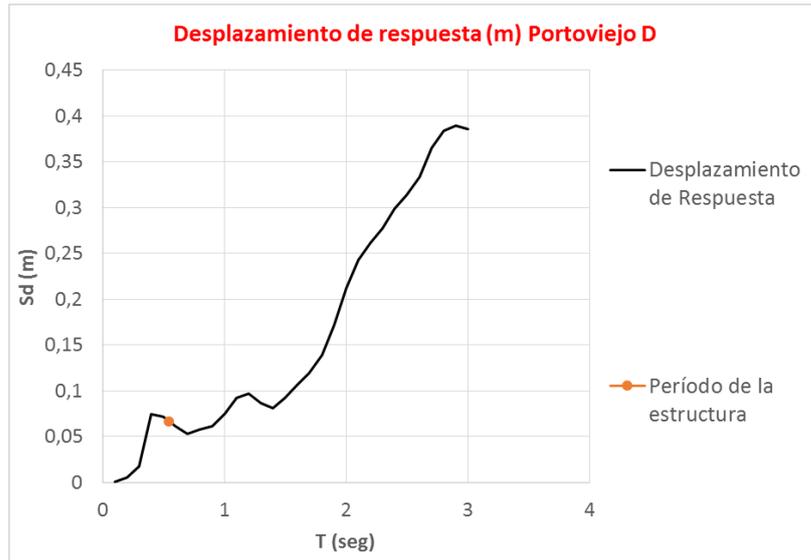


Ilustración 81. Valor Sd para torre de control Los Perales de San Vicente.

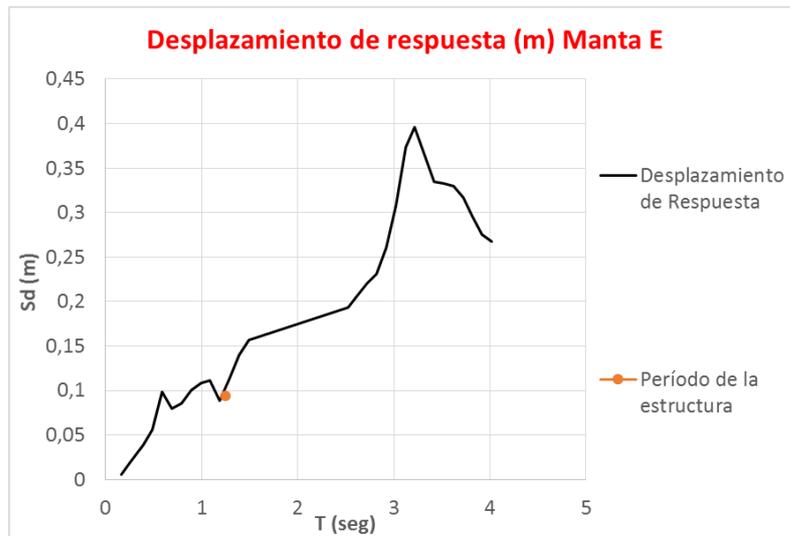


Ilustración 82. Valor Sd para edificio CNEL de Manta.



Ilustración 83. Valor Sd para torre de control Eloy Alfaro de Manta.



Ilustración 84. Valor Sd para edificio ECU-911 de Samborondón.

A continuación, en las tablas 45 y 46 se muestran los resultados de Sd y con la ecuación 11 del capítulo IV del presente trabajo, se obtienen las derivas inelásticas máximas.

Tabla 45. Cálculo de las derivas para edificaciones ubicadas en suelo tipo D.

Bahía de Caráquez	Ex edificio PACIFITEL	
	Sd	0,074
	Δe	0,008
	Δm	0,006
Portoviejo	Edificio ECU-911	
	Sd	0,065
	Δe	0,005
	Δm	0,004
	Edificio CNT	
	Sd	0,074
	Δe	0,008
	Δm	0,006
	Aeropuerto Los Perales	
	Sd	0,067
	Δe	0,005
	Δm	0,004
Manta	Aeropuerto Eloy Alfaro	
	Sd	0,09
	Δe	0,006
	Δm	0,005

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Elaborado por Eddie Feijóo

Tabla 46. Cálculo de las derivas para edificaciones ubicadas en suelo tipo E.

Guayaquil	Ex edificio EMETEL	
	Sd	0,033
	Δe	0,002
	Δm	0,002
Samborondón	ECU-911	
	Sd	0,022
	Δe	0,002
	Δm	0,001
Manta	Edificio CNEL	
	Sd	0,094
	Δe	0,003
	Δm	0,002

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Elaborado por Eddie Feijóo

5.1.5. Desempeño sísmico

Para evaluar el desempeño de las estructuras es necesario obtener el espectro de respuesta del sismo y el período de vibración de la estructura, para así conocer el tipo de sismo para cada estructura.

De la tabla 46 del capítulo V del presente trabajo, se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso del ex edificio IETEL, el período es de 0,63 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Guayaquil suelo tipo E, (Ver ilustración 76) y con el espectro de respuesta para la ciudad de Guayaquil, (Ver ilustración 67) se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

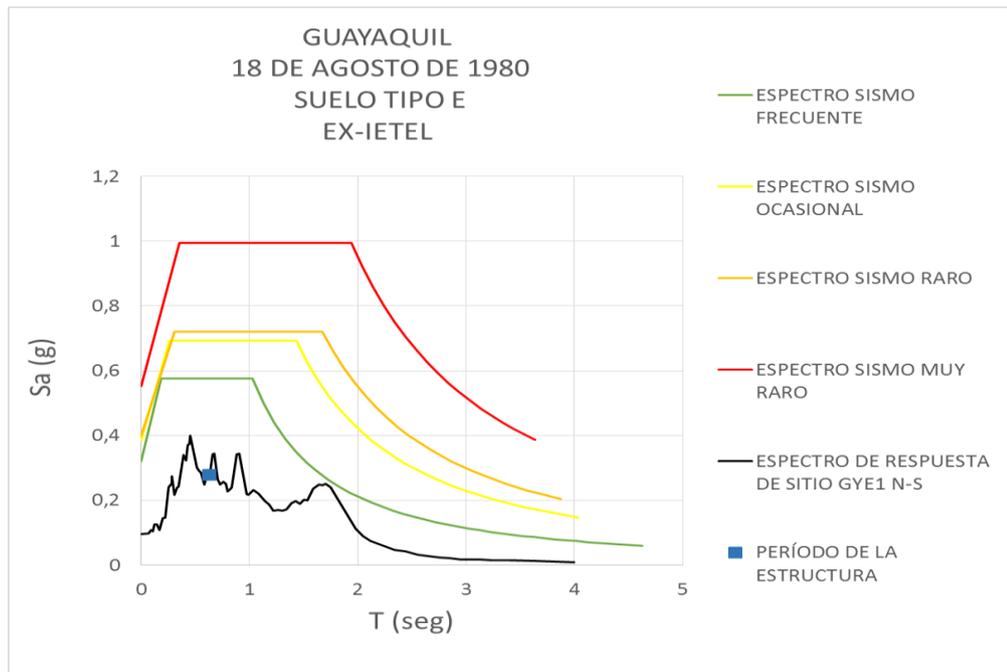


Ilustración 85. Desempeño sísmico ex edificio IETEL de Guayaquil.

Sismo: Frecuente.

Observación de daños:

- Caída de parte del techo.
- Rotura de ventanales.

Desempeño: Para ambos sismos (1998 Y 2016), sufrió de daños leves y el edificio continuó operando. Según el capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015, (Ver ilustración 49) se debe limitar los daños estructurales, buscando elevar el nivel de protección, teniendo un aceptable comportamiento sísmico debido a que el edificio continuó operando.

Posibles causas: Calidad mediana de construcción, no hay piso suave e irregularidades en planta además de pequeña asimetría vertical, se puede observar que el espectro de respuesta de aceleraciones es bajo ($S_a=0.72$).

De la tabla 45 del capítulo V del presente trabajo, se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso del ex edificio PACIFITEL, el período es de 0,40 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Portoviejo suelo tipo D (Ver ilustración 74), y con el espectro de respuesta para la ciudad de Portoviejo (Ver ilustración 61), se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

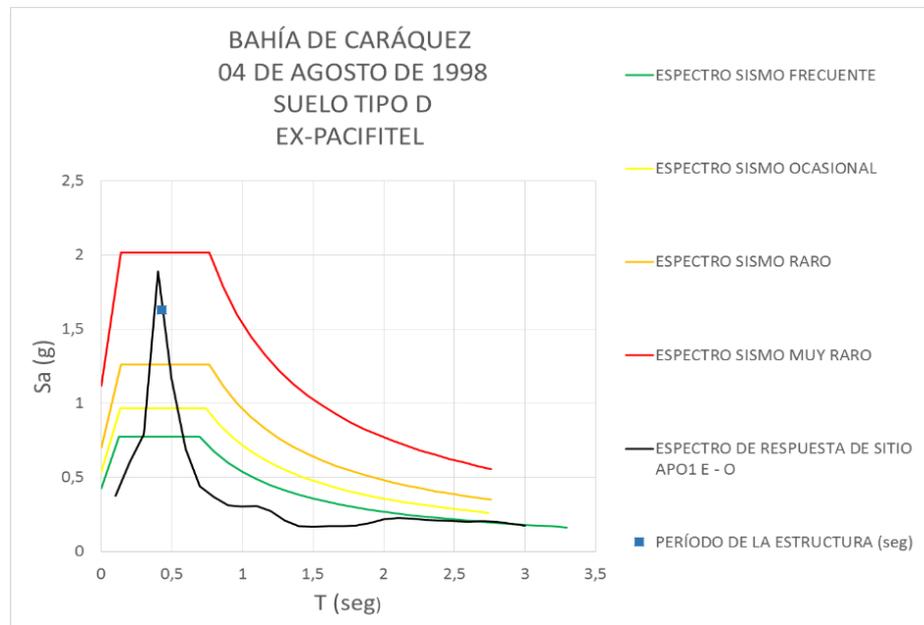


Ilustración 86. Desempeño sísmico ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.

Sismo: Raro - Muy raro.

Observación de daños:

- Desprendimiento de enlucidos.
- Colapso de paredes.
- Fallo en columnas de planta alta.

Desempeño: Gravemente afectado tras el sismo de 1998, el edificio no continuó operando, de acuerdo al capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015, (Ver ilustración 49) se debe limitar los daños estructurales, buscando elevar el nivel de protección teniendo, no tuvo un correcto desempeño sísmico.

Posibles causas: Se puede observar que para el período de la estructura el espectro de respuesta de aceleraciones es elevado ($S_a = 1.54$ g), además de sus grandes desplazamientos provocando daños severos en la estructura.

De la tabla 45 del capítulo V del presente trabajo, se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso del edificio ECU-911 de Portoviejo, el período de la estructura es de 0,57 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Portoviejo suelo tipo D (Ver ilustración 74), y con el espectro de respuesta para la ciudad de Portoviejo (Ver ilustración 61), se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

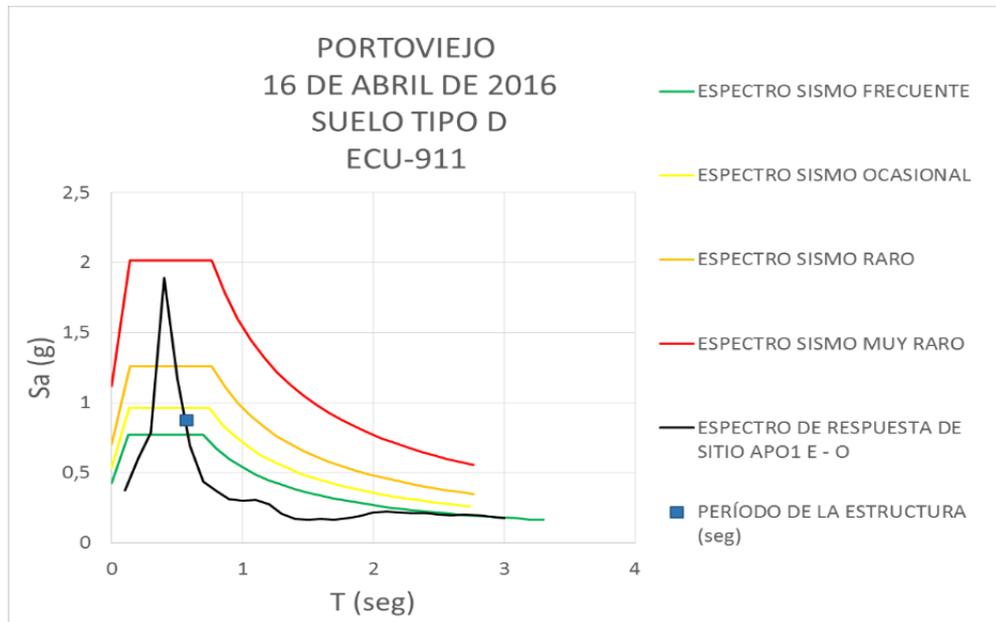


Ilustración 87. Desempeño sísmico edificio ECU-911 de Portoviejo.

Sismo: Frecuente - Ocasional

Observación de daños:

- Agrietamiento a nivel del techo.
- Agrietamiento en paredes interiores y exteriores (daños no estructurales).

Desempeño: No tuvo daños estructurales, el edificio siguió operando después del sismo del 16 de abril de 2016. Tuvo un aceptable desempeño sísmico limitando los daños estructurales, según el capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015, (Ver ilustración 49).

Posibles causas: Edificio moderno de buena calidad de construcción que no presenta irregularidades en planta ni elevación.

De la tabla 45 del capítulo V del presente trabajo, se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso del edificio CNT de Portoviejo, el período de la estructura es de 0,43 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Portoviejo suelo tipo D (Ver ilustración 74), y con el espectro de respuesta para la ciudad de Portoviejo (Ver ilustración 61), se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

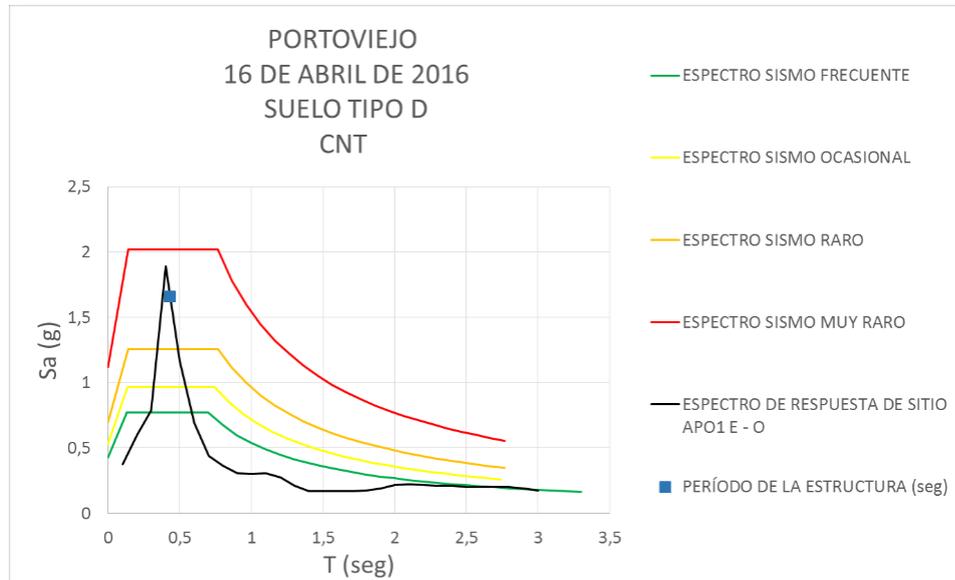


Ilustración 88. Desempeño sísmico edificio CNT de Portoviejo.

Sismo: Raro - Muy raro.

Observación de daños:

- Colapso de la estructura.

Desempeño: Estructura que tras el sismo no continuó operando y se procedió a su demolición. Según el capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015, (Ver ilustración 49) no tuvo un correcto desempeño sísmico.

Posibles causas: Se puede observar que el período de la estructura se encuentra en la zona de amplificación dinámica, el espectro de respuesta de aceleraciones es elevado ($S_a = 1.65 \text{ g}$), además de sus grandes desplazamientos en la estructura provocando el colapso de la estructura.

De la tabla 45 del capítulo V del presente trabajo, se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso de la torre de control aérea del aeropuerto de San Vicente, el período de la estructura es de 0,55 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Portoviejo suelo tipo D, (Ver ilustración 74) y con el espectro de respuesta para la ciudad de Portoviejo (Ver ilustración 61), se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

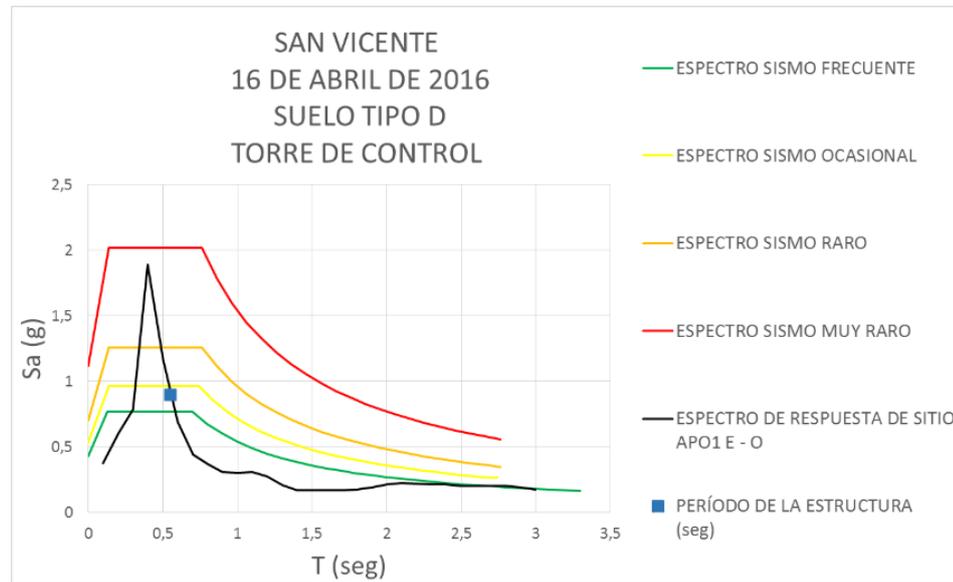


Ilustración 89. Desempeño sísmico torre de control del aeropuerto Los Perales de San Vicente.

Sismo: Ocasional.

Observación de daños:

- Caída de parte de techo de la torre de control.

Desempeño: No tuvo daños estructurales, después del sismo 2016, el edificio siguió operando atendiendo las emergencias. Tuvo un correcto desempeño sísmico limitando los daños estructurales, según el capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015, (Ver ilustración 49).

Posibles causas: Al tratarse de una estructura antigua, se consideraba y priorizaba la seguridad y buena resistencia del edificio por encima del factor económico y arquitectónico.

De la tabla 46 del capítulo V del presente trabajo, se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso del edificio CNEL de Mnata, el período de la estructura es de 1,24 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Portoviejo suelo tipo E (Ver ilustración 75), y con el espectro de respuesta modificado para la ciudad de Manta (Ver ilustración 65), se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

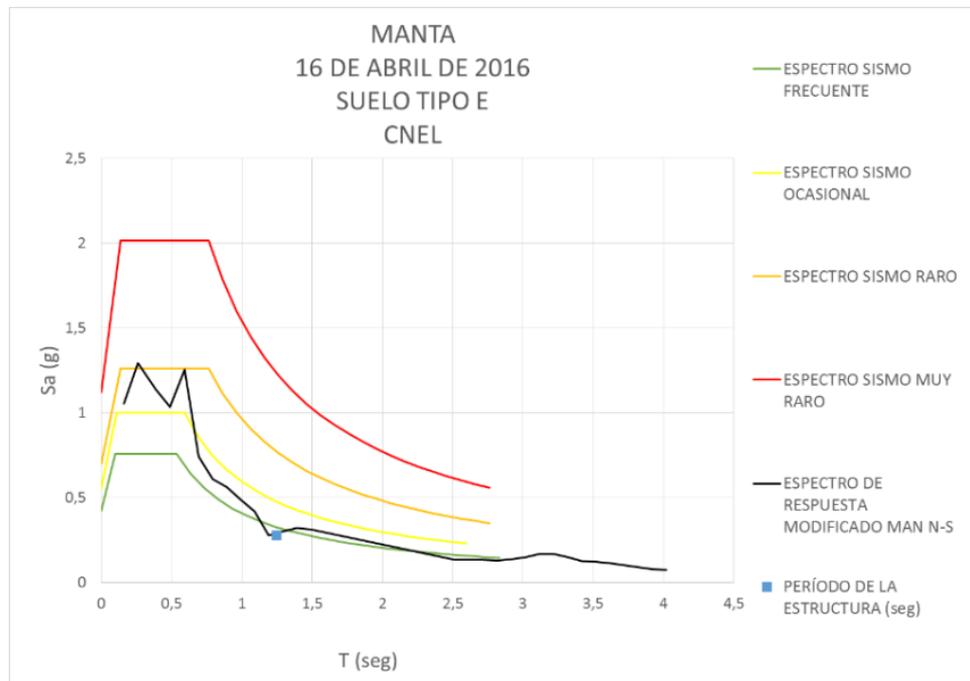


Ilustración 90. Desempeño sísmico edificio CNEL de Manta.

Sismo: Frecuente.

Observación de daños:

- Daños en la mampostería.
- Daños en elementos estructurales.
- Daños de recubrimiento en columna.

Desempeño Estructura que tras el sismo no continuó operando y su rehabilitación la iniciaron a finales del mes de octubre de 2016. Según el capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015, no tuvo un correcto desempeño sísmico, (Ver ilustración 49).

Posibles causas: Existen gran afectación producto de los desplazamientos observados en el desempeño ante espectro sísmico durante el terremoto del 16 de abril de 2016.

De la tabla 45 del capítulo V del presente trabajo, se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso de la torre de control del aeropuerto Eloy Alfaro de Manta, el período de la estructura es de 0,59 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Portoviejo suelo tipo D (Ver ilustración 74), y con el espectro de respuesta modificado para la ciudad de Manta (Ver ilustración 65), se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

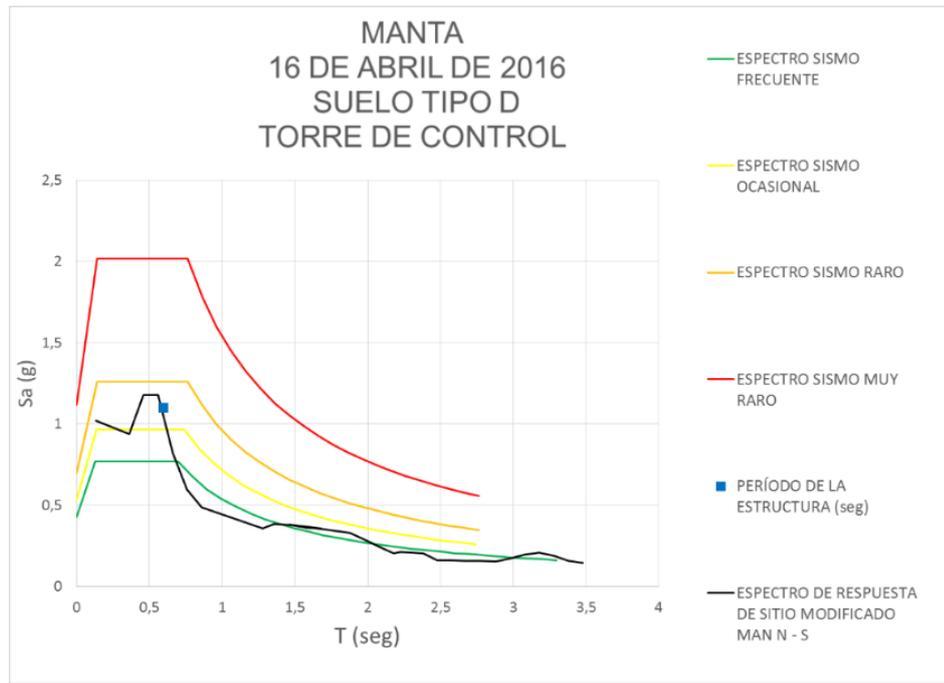


Ilustración 91. Desempeño sísmico torre de control aérea del aeropuerto Eloy Alfaro de Manta.

Sismo: Frecuente - Ocasional.

Observación de daños:

- Colapso torre de control de 5 pisos.

Desempeño: Estructura que tras el sismo no continuó operando y se procedió a su demolición. Según el capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015, (Ver ilustración 49) no tuvo un correcto desempeño sísmico.

Posibles causas: Se puede observar que el período de vibración de la estructura se encuentra en la zona de amplificación dinámica, el espectro de respuesta elástico de aceleraciones es elevado ($S_a = 1.1$ g), provocando el colapso de la estructura.

De la tabla 46 del capítulo V del presente trabajo se obtuvieron los períodos de vibración, para el caso del edificio ECU-911 de Samborondón, el período es de 0,32 segundos. Una vez obtenidos los espectros de diseño para Guayaquil suelo tipo E (Ver ilustración 76), y con el espectro de respuesta para la ciudad de Guayaquil (Ver ilustración 67), se procede a determinar el tipo de sismo de la estructura.

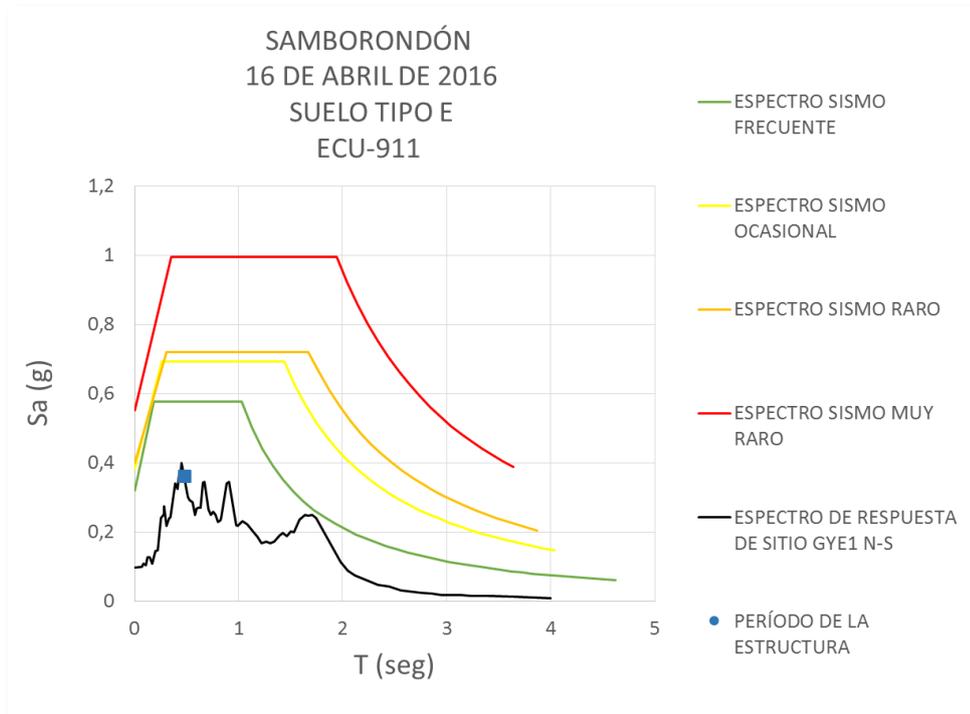


Ilustración 92. Desempeño sísmico edificio ECU-911 de Samborondón.

Sismo: Frecuente.

Observación de daños:

- Agrietamiento nivel del techo.
- Agrietamiento en paredes interiores y exteriores.
- Daños no estructurales.

Desempeño: No tuvo daños estructurales sin embargo después del sismo del 2016, el edificio continuó operando parcialmente, según el capítulo 4.3 de NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015 no tuvo un correcto desempeño sísmico.

Posibles causas: Calidad mala de construcción por que sufrió daños con valores bajos de deriva que muestra la tabla 46, no se prescencian irregularidades en planta ni elevación, valor de Sa bajo.

Para saber el valor de reducción efectivo R, se deberá tomar en cuenta el período de la estructura. Posteriormente, con el período, se puede obtener los valores de Sa sismo y Sa diseño para utilizar la siguiente ecuación.

Ecuación 12 Cálculo de R efectiva

$$R_{efectivo} = \frac{Sa\ diseño}{Sa\ sismo}$$

En las ilustraciones 93 a 100 se muestran los valores de R efectivo para las edificaciones analizadas.

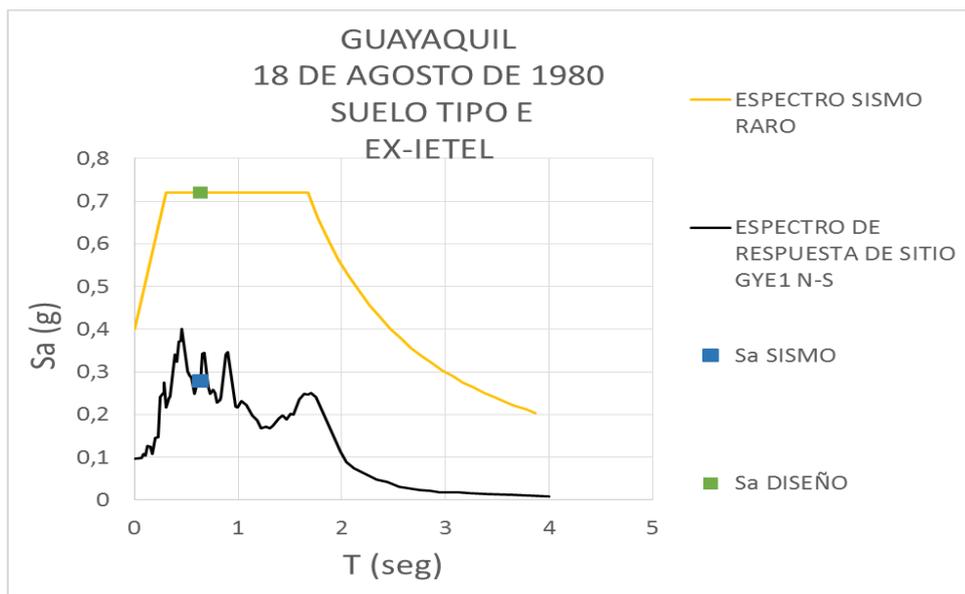


Ilustración 93. R efectivo para ex edificio IETEL de Guayaquil.

Período	0,63	Tipo de suelo	E
Sa (sismo)	0,28	R efectivo	2,57
Sa (diseño)	0,72	R norma	8

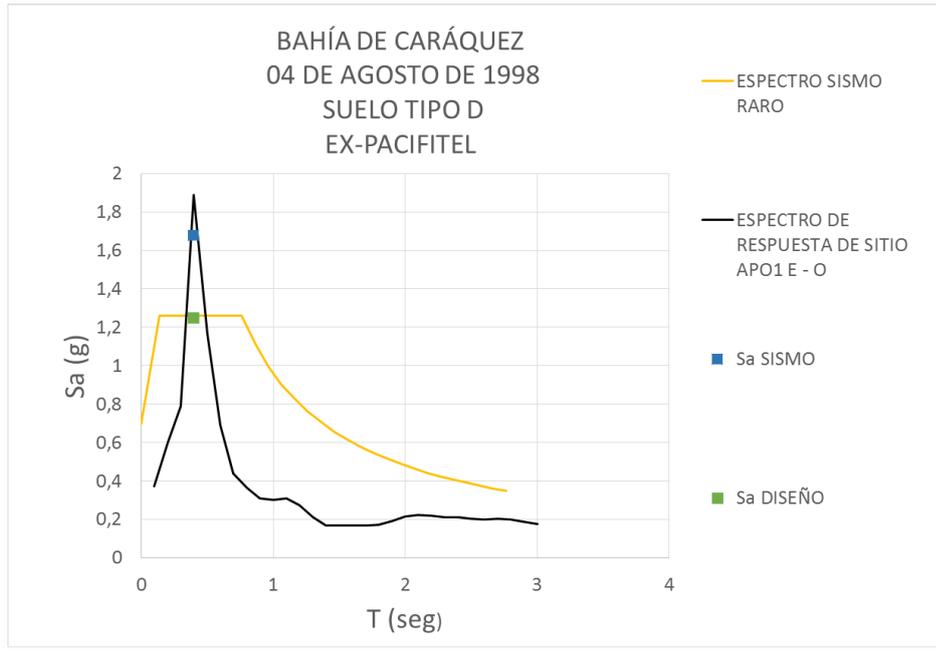


Ilustración 94. R efectivo para ex edificio PACIFITEL de Bahía de Caráquez.

Período	0,40	Tipo de suelo	D
Sa (sismo)	1,68	R efectivo	0,74
Sa (diseño)	1,25	R norma	8

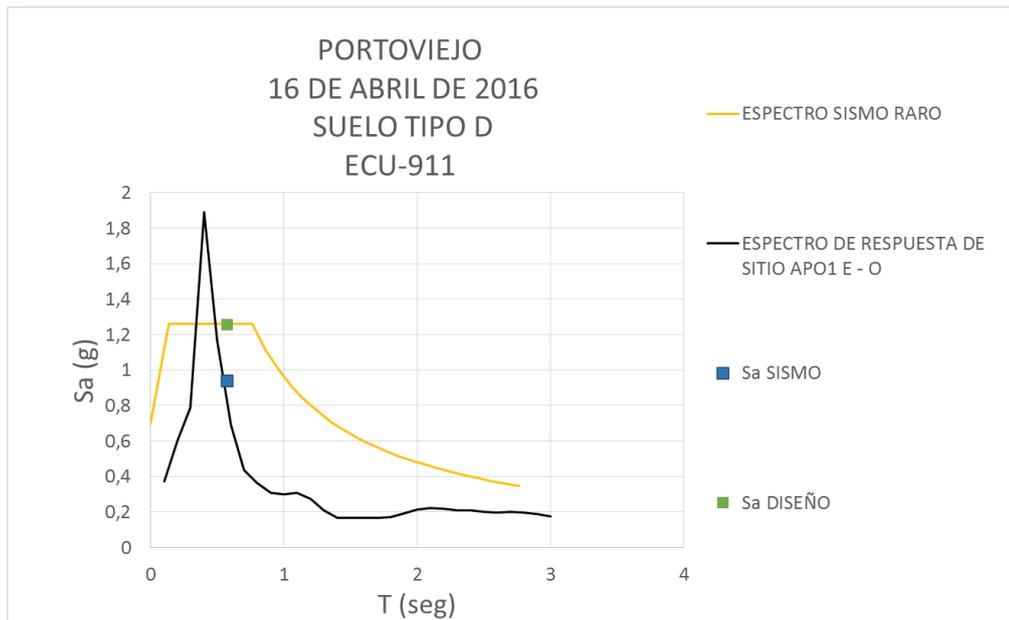


Ilustración 95. R efectivo para edificio ECU-911 de Portoviejo.

Período	0,57	Tipo de suelo	D
Sa (sismo)	0,94	R efectivo	1,34
Sa (diseño)	1,23	R norma	8

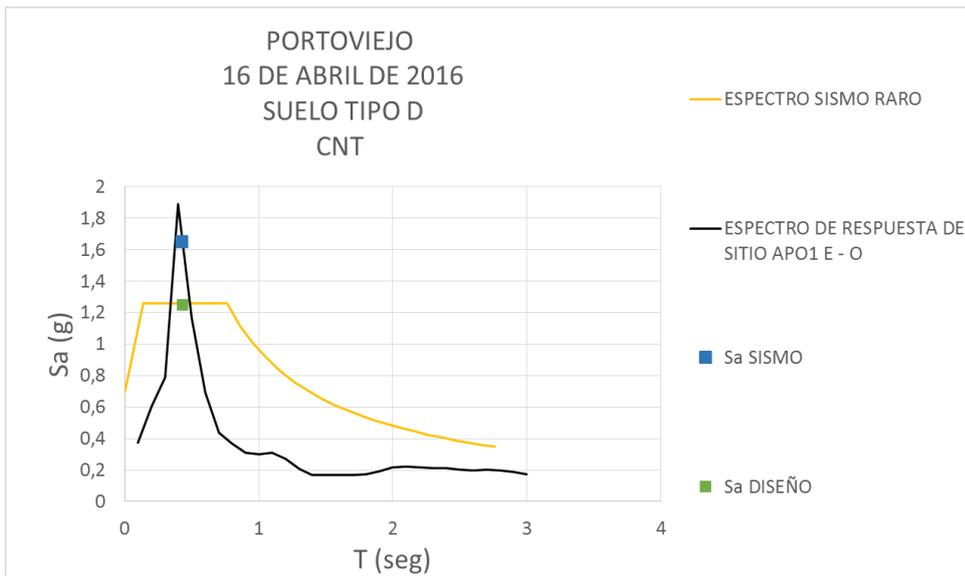


Ilustración 96. R efectivo para edificio CNT de Portoviejo.

Período	0,63	Tipo de suelo	D
Sa (sismo)	1,65	R efectivo	0,76
Sa (diseño)	1,25	R norma	8

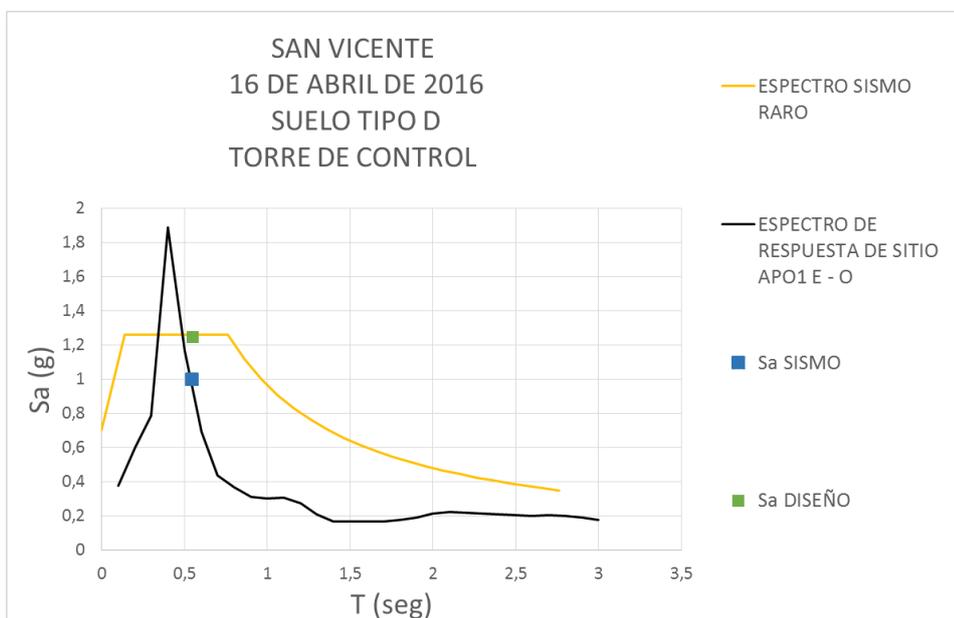


Ilustración 97. R efectivo para torre de control de San Vicente.

Período	0,55	Tipo de suelo	D
Sa (sismo)	1,00	R efectivo	1,25
Sa (diseño)	1,25	R norma	8

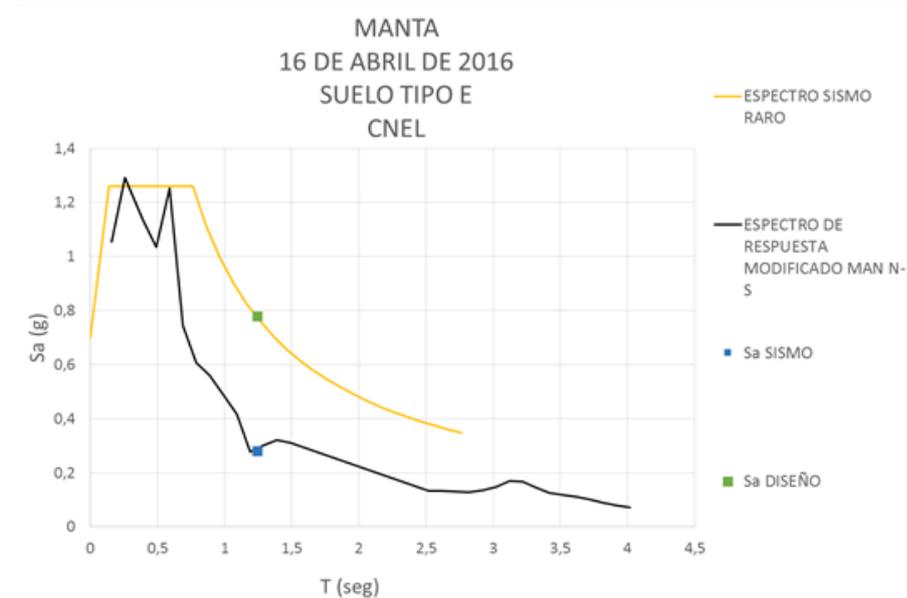


Ilustración 98. R efectivo para edificio CNEL de Manta.

Período	1,24	Tipo de suelo	E
Sa (sismo)	0,28	R efectivo	2,78
Sa (diseño)	0,78	R norma	8

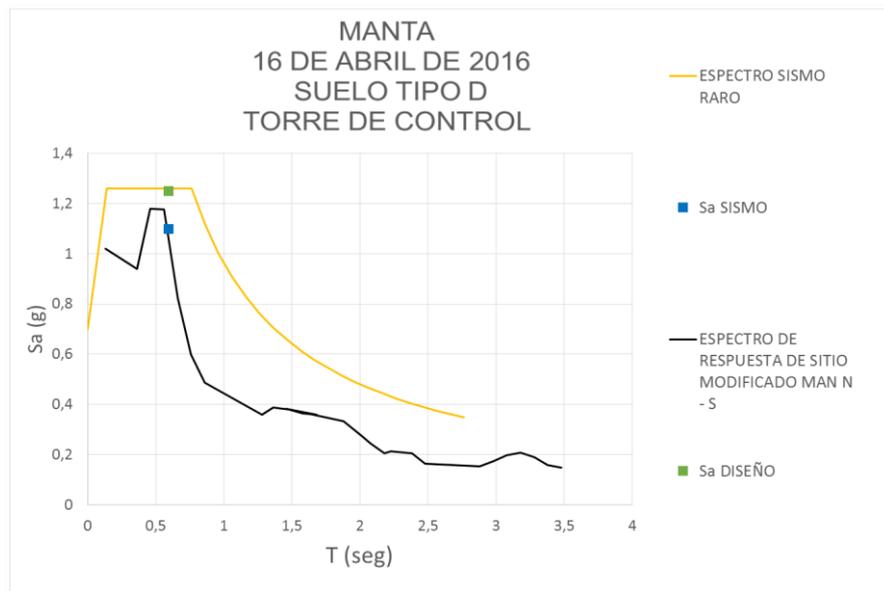


Ilustración 99. R efectivo para torre de control aérea de Manta.

Período	0,59	Tipo de suelo	D
Sa (sismo)	1,1	R efectivo	1,41
Sa (diseño)	1,55	R norma	8

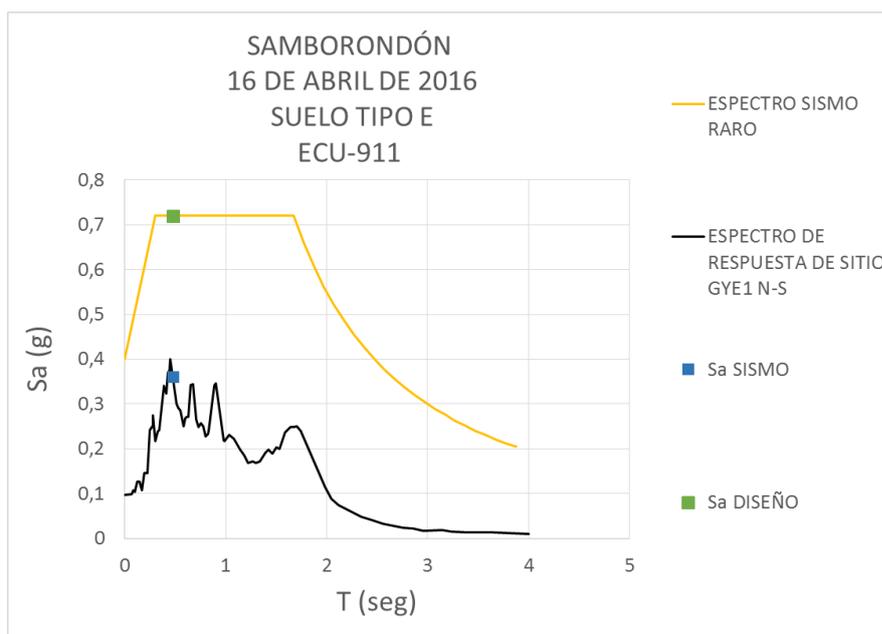


Ilustración 100. R efectivo para edificio ECU-911 de Samborondón.

Período	0,32	Tipo de suelo	E
Sa (sismo)	0,36	R efectivo	2
Sa (diseño)	0,72	R norma	8

A continuación, en la tabla 47 se muestra una tabla con los resultados obtenidos para cada estructura analizada.

Tabla 47. Tabla de valores obtenidos y sus observaciones

EDIFICACIONES AFECTADAS	T (seg)	R	Δm	IRREGULARIDAD	SIGUIÓ OPERANDO
Ex edificio IETEL Guayaquil	0,63	2,57	0,002	No hay irregularidad vertical Presencia de volados en ambos lados	SI
Ex edificio Pacifitel Bahía de Caráquez	0,40	0,744	0,006	No hay irregularidad vertical presencia de volados en ambos lados	NO
ECU 911 Samborondón	0,32	2	0,001	No hay irregularidad vertical No hay irregularidad en planta	PARCIALMENTE
ECU 911 Portoviejo	0,57	1,31	0,004	No hay irregularidad vertical No hay irregularidad en planta	SI
Aeropuerto Eloy Alfaro Manta	0,59	1,14	0,006	No hay irregularidad vertical No hay irregularidad en planta	NO
Aeropuerto Los Perales San Vicente	0,55	1,25	0,004	No hay irregularidad vertical No hay irregularidad en planta	SI
CNT Portoviejo	0,43	0,76	0,006	Presencia de volados en ambos lados	NO
CNEL Manta	1,24	3,79	0,002	No hay irregularidad vertical Irregularidad en planta	NO

6 CAPÍTULO VI

6.1 Conclusiones y recomendaciones

6.1.1. Conclusiones

En el capítulo V del presente trabajo se realizó los espectros de las diferentes ciudades afectadas, el período de vibración y se obtuvo información del espectro de respuesta de los acelerógrafos para clasificar el tipo de sismo en cada edificación y posteriormente su desempeño.

En la ciudad de Guayaquil se analizó el ex edificio IETEL cuyo período se encuentra en la meseta del espectro de diseño, su desempeño sísmico para un sismo frecuente fue aceptable ya que continuó operando. En Samborondón se analizó el ECU-911 donde el sismo fue frecuente y su período se encuentra en la meseta del espectro de diseño, dicha estructura dejó de operar parcialmente teniendo un mal desempeño sísmico para las edificaciones esenciales.

Para la ciudad de Bahía de Caráquez, el sismo fue entre raro y muy raro, el ex edificio PACIFITEL no continuó operando tras el sismo de 1980 por lo que se reforzó la estructura y en el sismo del 2016 colapsó.

En la ciudad de Portoviejo se analizó el ECU-911 y el edificio CNT, ambas edificaciones tienen el mismo tipo de suelo pero diferente período por lo tanto el sismo para el edificio ECU-911 fue entre ocasional y frecuente, mientras que en el edificio de CNT, el sismo fue entre raro y muy raro, por lo que ésta estructura colapsó.

En la ciudad de Manta se analizó el edificio CNEL y la torre de control aéreo del aeropuerto Eloy Alfaro, para el caso de CNEL, el sismo fue frecuente y su período se encuentra en la rama descendente del espectro de diseño, mientras que en la torre de control su período se encuentra en la zona de amplificación dinámica, ambas estructuras dejaron de operar.

Se puede concluir que la mayoría de las estructuras analizadas para los diferentes movimientos sísmicos ocurridos a partir del año 1977 en el Ecuador, no cumplieron con un buen desempeño sísmico tratándose de estructuras esenciales las cuales deben mantenerse operando antes, durante y aún después de la ocurrencia del movimiento sísmico de diseño. Son diversos los factores que afectaron en el correcto desempeño de dichas estructuras, en los cuales se puede apreciar derivas elevadas, en algunos casos irregularidades estructurales y valores muy bajos del factor R, teniendo

en cuenta la norma ecuatoriana de la construcción indica que el valor R es 8 para las estructuras cuyo sistema estructural sea de pórticos especiales sísmo resistentes, en el presente trabajo los valores de R son muy bajos por lo que se evidencian mayor impacto en la estructura, indicando que estos valores son poco conservadores afectando el comportamiento de las estructuras esenciales lo cual genera menor resistencia y rigidez. En el caso de las estructuras más antiguas tuvieron un mejor comportamiento que las estructuras modernas por lo tanto para el sismo de 1980 las estructuras no tuvieron graves afectaciones como en los movimientos sísmicos de 1998 y 2016 los cuales algunas colapsaron o dejaron de operar.

6.1.2. Recomendaciones

El desempeño sísmico de un edificio está condicionado por diversos factores, por lo tanto como recomendación se deberá tomar en consideración principalmente del tipo de suelo donde estará asentada la estructura, también se recomienda reducir el límite de la deriva inelástica admisibles al 1%, debido a que las estructuras pueden sufrir daños con derivas del 0.3% al 0.5%.

Diseñar los edificios enfocándose en estructuras más regulares, evitando diseños arquitectónicos que introduzcan factores de vulnerabilidad estructural.

Aumentar el período de las estructuras mediante la implementación de aisladores sísmicos, para que el período de vibración no se encuentre en la zona de amplificación dinámica y a estructura no sufra daños significativos, para poder seguir operando antes, durante y después de la emergencia.

7 Bibliografía

- A., A. J. (2001). *Manual de diseño sísmico de estructuras para Guayaquil*.
Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Aguiar, R. (Septiembre de 2017). <https://journal.espe.edu.ec>. Obtenido de
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/541/454>
- Argudo, J. (2001). *Manual de diseño sísmico de estructuras para Guayaquil*.
Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Bonifaz García , Hugo; Haro Lescano, Juan;ESPE. (s.f.).
<https://www.researchgate.net>. Obtenido de
https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Bonifaz_Garcia/publication/328367680_Docente-Investigador/links/5bc8c1aca6fdcc03c790933d/Docente-Investigador.pdf?origin=publication_detail
- Ecuavisa. (18 de abril de 2016). <https://www.ecuavisa.com>. Obtenido de
<https://www.ecuavisa.com/articulo/bbc/sociedad-cultura/146881-como-queda-manta-tras-devastador-terremoto-78-grados>
- El Comercio. (19 de octubre de 2009). <https://www.elcomercio.com>. Obtenido de
<https://www.elcomercio.com/actualidad/prensa-denuncio-lado-oscuro-obra.html>
- El Comercio. (17 de abril de 2016). <https://www.elcomercio.com>. Obtenido de
<https://www.elcomercio.com/actualidad/operaciones-aeropuerto-mariscalsucre-ecuador-sismo.html>
- El Comercio. (26 de abril de 2016). <https://www.elcomercio.com>. Obtenido de
<https://www.elcomercio.com/actualidad/eeuu-torre-movil-aeropuerto-manta.html>
- El Diario. (4 de septiembre de 2016). <http://www.eldiario.ec>. Obtenido de
<http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/404529-edificio-de-la-cncl-estara-cerrado-por-dos-anos/>
- El Universo. (04 de agosto de 2003). <https://www.eluniverso.com>. Obtenido de
<https://www.eluniverso.com/2003/08/04/0001/12/2DEEDDC7B36448318DB10636B11AFDA5.html>

- Expreso. (27 de abril de 2016). <https://www.expreso.ec>. Obtenido de <https://www.expreso.ec/actualidad/en-samborondon-hay-danos-superficiales-HY265328>
- GEER-ATC. (2016). *GEER-ATC EARTHQUAKE RECONNAISSANCE*. Muisne: Sissy Nikolaou (WSP | Parsons Brinckerhoff) Ramon Gilsanz (Gilsanz Murray Steficek, LLP) Xavier Vera-Grunauer (Universidad Católica de Guayaquil, Geoestudios).
- GEOESTUDIOS. (2017). *Manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Secretaría de Gestión de Riesgos.
- IG-EPN. (05 de agosto de 2011). <https://www.igepn.edu.ec>. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/457-sismo-de-bah%C3%ADa-de-car%C3%A1quez-4-de-agosto-de-1998>
- IG-EPN. (6 de mayo de 2016). <https://www.igepn.edu.ec>. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1325-el-instituto-geofisico-de-la-escuela-politecnica-nacional-informa-sobre-los-efectos-causados-por-el-terremoto>
- IG-EPN. (16 de abril de 2018). <https://www.igepn.edu.ec>. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1572-dos-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-actualizacion-sismica>
- NEC. (2015). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec>. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>
- RADIUS. (1999). <http://jaimeargudo.com/>. Obtenido de <http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-ANEXO-C-FICHAS-VULNERABILIDAD-EDIFICIOS.pdf>
- RADIUS. (1999). <http://jaimeargudo.com/>. Obtenido de <http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-VOLUMEN-II-ESTUDIO-AMENAZA-SISMICA.pdf>

RADIUS. (1999). *http://jaimeargudo.com//*. Obtenido de
*http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-ANEXO-A-
ENTREVISTAS-PARA-PLAN-DE-ACCION1.pdf*



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **FEIJÓO GONZÁLEZ, EDDIE RAFAEL**, con C.C: # 0923198816 autor del trabajo de titulación: **Desempeño de edificios esenciales durante sismos en Ecuador – caso garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centros de telecomunicaciones y centros de atención de emergencias** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de septiembre de 2019

f. _____

Nombre: **Feijóo González, Eddie Rafael**

C.C: 0923198816

EPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Desempeño de edificios esenciales durante sismos en Ecuador – caso garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centros de telecomunicaciones y centros de atención de emergencias.		
AUTOR(ES)	Feijóo González, Eddie Rafael		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de septiembre de 2019	No. DE PÁGINAS:	117
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estructuras e Ingeniería Sísmica.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Desempeño sísmico, estructuras, vulnerabilidad, espectros de respuesta, derivas, periodo de vibración.		
RESUMEN/ABSTRACT: El presente trabajo de titulación tiene como objetivo determinar el desempeño sísmico de edificaciones esenciales durante sismos en Ecuador a partir de 1977, enfocándose en garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias, torres de control aéreo, centro de telecomunicaciones y centro de atención de emergencias en todo el territorio ecuatoriano, ya que muchas de éstas estructuras sufrieron graves afectaciones por el cual se dará a conocer los diversos factores de vulnerabilidad afectaron al comportamiento sísmico. La metodología consiste con la recopilación de información para identificar las edificaciones esenciales durante sismos de 1980, 1998 y 2016, por medio de periódicos e informes elaborados por diferentes profesionales, donde se determinó el tipo de suelo en el cual se asentaron las edificaciones para elaborar los espectros de diseño y espectros de respuesta. Posteriormente se obtuvo el período de vibración y derivas para determinar el tipo de sismo de cada edificación con la finalidad de determinar el desempeño sísmico de acuerdo a la norma ecuatoriana de construcción.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-(982790347)	E-mail: (ed_fe_3@hotmail.com)	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			