



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**DESEMPEÑO DE EDIFICIOS ESENCIALES DURANTE SISMIOS EN
ECUADOR - CASO INSTALACIONES MILITARES, DE POLICIA,
BOMBEROS Y DEFENSA CIVIL.**

AUTOR:

AGUILAR REYES, JORGE ENRIQUE

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

ING. VILLACRÉS SÁNCHEZ, ALEX RAÚL, M.SC.

Guayaquil, Ecuador

13 de septiembre del 2019



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Aguilar Reyes, Jorge Enrique**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, M.Sc.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther. M.Sc.

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



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERIA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Aguilar Reyes, Jorge Enrique**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Desempeño de edificios esenciales durante sismos en Ecuador – caso instalaciones militares, de policía, bomberos y defensa civil** previo a la obtención del título de **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 del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR

f. _____

Aguilar Reyes, Jorge Enrique



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA INGENIERIA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, Aguilar Reyes, Jorge Enrique

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 instalaciones militares, de policía, bomberos y defensa civil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

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

EL AUTOR:

f. _____

Aguilar Reyes, Jorge Enrique

Urkund Analysis Result

Analysed Document:	Aguilar_Jorge_final.docx (D55220272)
Submitted:	9/3/2019 2:04:00 AM
Submitted By:	claglas@hotmail.com
Significance:	0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y perseverancia para alcanzar las metas propuestas en mi vida.

A mis padres, por el apoyo incondicional a lo largo de todo el tiempo que duró mi vida como universitario y por siempre darme un buen consejo cuando lo necesitaba.

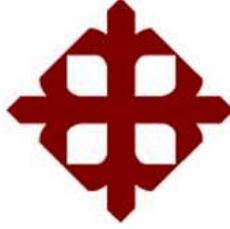
A mi querida hermana y a mi cuñado, por haberme acogido en su hogar, y hacerme sentir como en casa.

A los docentes que compartieron sus conocimientos y experiencia, durante mi formación como ingeniero.

Por último, quiero agradecer especialmente a mi tutor de tesis, el Ing. Alex Villacrés, por su constante apoyo para poder terminar el presente trabajo.

DEDICATORIA

Quiero dedicar el siguiente trabajo, a mi familia, que son lo más importante en mi vida, sin ustedes nada de esto sería posible.



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

f. _____

Ing. Alex Raúl Villacrés Sánchez, M.Sc.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas M.Sc.

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Guillermo Ponce Vásquez M.Sc.

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. José Andrés Barros Cabezas, M.Sc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

Contenido	
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXII
Capítulo I.....	2
1.Introducción.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Objetivo General:	2
1.3. Objetivos específicos:	2
1.4. Alcance:	3
1.5. Metodología	3
Capítulo II	5
2. Recopilación de información.....	5
2.1. Sismo del 18 de agosto de 1980	5
2.2. Edificaciones afectadas por el sismo del 18 de agosto de 1980 en Guayaquil	6
2.2.1. Ex cuartel de bomberos.....	6
2.2.2. Edificio II Zona Militar.....	7
2.3. Sismo de Napo del 5 de marzo de 1987.	8
2.4. Sismo del 2 de octubre de 1995.....	8
2.5. Sismo del 4 de agosto de 1998.	9
2.6. Edificaciones afectadas por el sismo del 4 de agosto de 1998 en Bahía Caráquez	10
2.6.1. Cuerpo de Bomberos.....	10
2.7. Sismo del 16 de abril de 2016	11
2.8. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Guayaquil.....	13
2.8.1. Edificio Cuartel Modelo	13
2.8.2. Jefatura del Cuerpo de Bomberos	14
2.9. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Portoviejo.....	15
2.9.1. Cuartel del Cuerpo de Bomberos	15
2.9.2. Unidad de Vigilancia Comunitaria (UVC)	16
2.9.3. Comisión de Tránsito	17
2.10. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Manta	18

2.10.1. Capitanía del Puerto	18
2.10.2. Unidad de Vigilancia Comunitaria	19
2.11. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez	21
2.11.1. Capitanía del puerto	21
2.11.2. Cuartel de Bomberos.....	22
2.12. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Jama	23
2.12.1. Unidad de policía comunitaria UPC	23
2.13. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Pedernales	24
2.13.1. Cuartel policial.....	24
2.14. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Puerto López..	24
2.14.1. Cuartel de Bomberos.....	24
2.15. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Rocafuerte	25
2.15.1. Cuartel del Cuerpo de Bomberos	25
Capítulo III	26
3. Procedimientos de consideraciones sísmicas	26
3.1. Introducción.....	26
3.2. Procedimiento para obtener el espectro de diseño de respuesta	26
3.2.1. Curvas de peligro sísmico	26
3.2.2. Espectro elástico de diseño según NEC-15	28
3.3. Espectro de respuesta de sitio de aceleración y de desplazamiento	32
3.4. Determinación del período de vibración T	32
3.5. Determinación de las derivas inelásticas máximas de piso.	33
3.6. Determinación de los valores del factor de reducción efectivo de resistencia sísmica.	33
3.7. Desempeño sísmico de estructuras esenciales.....	34
Capítulo IV	35
4. Selección de los edificios a estudiar y tipos de suelos	35
4.1. Selección de los edificios a estudiar.	35
4.2. Características de los edificios de la muestra.	36
4.2.1 Ex Cuartel de Bomberos	36
4.2.2. Edificio II Zona Militar.....	37
4.2.3. Cuartel modelo	37

4.2.4. Jefatura del Cuerpo de Bomberos	37
4.2.5. Cuartel Cuerpo de Bomberos	37
4.2.6. Unidad de Vigilancia Comunitaria	38
4.2.7. Comisión de tránsito	38
4.2.8. Capitanía del puerto	38
4.2.9. Unidad de Vigilancia Comunitaria	38
4.2.10. Capitanía del Puerto	38
4.2.11. Cuartel de Bomberos.....	39
4.3. Determinación del tipo de suelo de las estructuras	39
4.3.1. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico NEC-15	39
4.3.2. Determinación tipos de suelo	40
4.3.3. Tipos de suelos edificaciones de Portoviejo	40
4.3.4. Tipos de suelos edificaciones en Manta.....	41
4.3.5. Tipos de suelos edificaciones en Bahía de Caráquez.....	42
4.3.6. Suelos Guayaquil.....	43
4.3.7. Clasificación del tipo suelos de los edificios en Guayaquil según NEC-15.....	45
4.4. Red de acelerógrafos en el Ecuador.	46
4.4.1. Ubicación de las diferentes estaciones	46
4.4.2. Tipo de suelo de las estaciones de Manta y Portoviejo.	47
4.4.3. Red de acelerógrafos en Guayaquil.	47
4.4.4. Tipo de suelo de las estaciones en Guayaquil	48
Capítulo V	50
5. Memoria de cálculo	50
5.1. Espectros de respuesta por curvas de peligro sísmico para ciudades capitales suelo tipo B Guayaquil.....	50
5.1.1. Sismo frecuente.....	50
5.1.2. Sismo ocasional	51
5.1.3. Sismo Raro	52
5.1.4. Sismo muy raro	53
5.1.5. Espectros de respuesta curva de peligro sísmico Guayaquil suelos tipo B.....	54
5.2. Espectros de respuesta por curvas de peligro sísmico para ciudades capitales suelos tipo B Portoviejo.....	55
5.2.1. Sismo frecuente.....	55

5.2.2. Sismo ocasional	56
5.2.3. Sismo raro	57
5.2.4. Sismo muy raro	58
5.2.5. Espectros de respuesta por curva de peligro sísmico Portoviejo para suelos tipo B.....	59
5.3. Espectros de respuesta de diseño NEC-15, para suelo tipo E Guayaquil.....	60
5.3.1. Sismo Frecuente	60
5.3.2. Sismo Ocasional.....	61
5.3.3. Sismo Raro	62
5.3.4. Sismo muy Raro.....	63
5.3.5. Espectros de respuesta NEC-15, Guayaquil, suelo tipo E	64
5.4. Espectros de respuesta de diseño NEC-15, para suelo tipo D, Portoviejo	65
5.4.1. Sismo Frecuente	65
5.4.2. Sismo Ocasional.....	66
5.4.3. Sismo Raro	67
5.4.4. Sismo Muy Raro	68
5.4.5. Espectros de diseño NEC-15, Portoviejo, suelo tipo D	69
5.5. Sismo del 16 de abril de 2016, edificaciones afectadas en Guayaquil	70
5.5.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y desplazamiento	70
5.5.2. Acelerogramas	72
5.6. Edificio Cuartel Modelo en Guayaquil.....	73
5.6.1. Período de la estructura.....	73
5.6.2. Deriva inelástica.....	74
5.6.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	75
5.6.4. Ficha de desempeño sísmico, Cuartel Modelo	76
5.7. Jefatura Cuerpo de Bomberos en Guayaquil	78
5.7.1. Período de la estructura:.....	78
5.7.2. Deriva inelástica.....	79
5.7.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	80
5.7.4. Ficha de desempeño sísmico Jefatura Cuerpo de Bomberos	81
5.8. Sismo del 18 de agosto de 1980 edificaciones afectadas en Guayaquil.....	82
5.9. Ex Cuartel de bomberos en Guayaquil	82
5.9.1. Período de la estructura.....	82

5.9.2. Deriva inelástica.....	83
5.9.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	84
5.9.4. Ficha de desempeño sísmico Ex Cuartel de Bomberos	85
5.10. Edificio II Zona Militar en Guayaquil	87
5.10.1. Período de la estructura.....	87
5.10.2. Deriva inelástica.....	88
5.10.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	89
5.10.4. Ficha de desempeño sísmico II Zona Militar.....	90
5.11. Sismo del 16 de abril de 2016 en Portoviejo	92
5.11.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y desplazamiento	92
5.11.2. Acelerogramas	94
5.12. Cuartel Cuerpo de Bomberos de Portoviejo	95
5.12.1. Período de la estructura.....	95
5.12.2. Deriva inelástica.....	96
5.12.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	97
5.12.4. Ficha de desempeño sísmico Cuartel Cuerpo de Bomberos	98
5.13. Unidad de Vigilancia Comunitaria en Portoviejo	100
5.13.1. Período de la estructura.....	100
5.13.2. Deriva inelástica.....	101
5.13.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	102
5.13.4. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria	103
5.14. Edificio de la Comisión de Tránsito en Portoviejo	105
5.14.1. Período de la estructura.....	105
5.14.2. Deriva inelástica.....	106
5.14.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	107
5.14.4. Ficha de desempeño sísmico Comisión de Tránsito	108
5.15. Sismo del 16 de abril de 2016 en Manta	109
5.15.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y desplazamiento	109
5.15.2. Acelerogramas	111
5.16. Capitanía del Puerto en Manta	112
5.16.1. Período	112
5.16.2. Deriva inelástica.....	113

5.16.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	114
5.16.4. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto	115
5.17. Unidad de Vigilancia Comunitaria en Manta	116
5.17.1. Período de la estructura.....	116
5.17.2. Deriva inelástica.....	117
5.17.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	118
5.17.4. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria	119
5.18. Sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez	121
5.18.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y de desplazamiento	121
5.19. Capitanía del Puerto en Bahía de Caráquez	122
5.19.1. Período de la estructura.....	122
5.19.2. Deriva inelástica.....	123
5.19.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	124
5.19.4. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto	125
5.20. Cuerpo de Bomberos en Bahía de Caráquez	127
5.20.1. Período de la estructura:.....	127
5.20.2. Deriva inelástica.....	128
5.20.3. Factor de reducción de resistencia sísmica	129
5.20.4. Ficha de desempeño sísmico Cuartel Cuerpo de Bomberos	130
5.21. Resumen de los resultados obtenidos	131
Capítulo VI.....	133
6. Conclusiones y recomendaciones	133
6.1 Conclusiones.....	133
6.2. Recomendaciones	135
Bibliografía.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuartel de Bomberos de Bahía de Caráquez. Daños observados Sismo de 1998	10
Tabla 2. Niveles de amenaza sísmica	28
Tabla 3. Tipo de suelo y factores de sitio F_a	28
Tabla 4. Tipo de suelo y factores de sitio F_d	29
Tabla 5. Tipo de suelo y Factores de comportamiento inelástico del subsuelo F_s	29
Tabla 6. Factores C_t y α para diferentes tipos de estructuras.	32
Tabla 7. Valores de ΔM máx. expresados como fracción de la altura de piso	33
Tabla 8. Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles.....	34
Tabla 9. Niveles de desempeño sísmico para edificaciones esenciales.	34
Tabla 10. Información de los edificios a estudiar.	35
Tabla 11. Clasificación de los perfiles de suelos	39
Tabla 12. Tipo de suelo de las edificaciones en Portoviejo	41
Tabla 13. Tipo de suelo de las edificaciones en Manta.....	42
Tabla 14. Tipo de suelo de las edificaciones en Bahía de Caráquez.....	43
Tabla 15. Clasificación de los suelos en Guayaquil.....	45
Tabla 16. Caracterización Geotécnica de los materiales en función de las V_s	45
Tabla 17. Tipo de suelo de las Edificaciones en Guayaquil.....	45
Tabla 18. Estaciones de acelerómetros en Ecuador propiedad de RENAC (mantenidas por IG-EPN)	47
Tabla 19. Tipo de suelo de las estaciones acelerométricas.	47
Tabla 20. Caracterización Geotécnica de los materiales en función de las V_s	49
Tabla 21. Tipo de suelo de las estaciones en Guayaquil según NEC-15.....	49
Tabla 22. Espectro de respuesta para sismo frecuente, Guayaquil suelo tipo B	50
Tabla 23. Espectro de respuesta para sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo B.....	51
Tabla 24. Espectro de respuesta para sismo raro, Guayaquil suelo tipo B	52
Tabla 25. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Guayaquil suelo tipo B	53
Tabla 26. Espectro de respuesta para sismo frecuente, Portoviejo suelo tipo B.....	55
Tabla 27. Espectro de respuesta para sismo ocasional, Portoviejo suelo tipo B.....	56
Tabla 28. Espectro de respuesta para sismo raro, Portoviejo suelo tipo B	57
Tabla 29. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Portoviejo suelo tipo B	58
Tabla 30. Espectro de respuesta de diseño sismo frecuente, Guayaquil suelo tipo E.....	60
Tabla 31. Espectro de respuesta de diseño sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo E.....	61
Tabla 32. Espectro de respuesta de diseño sismo raro, Guayaquil suelo tipo E	62
Tabla 33. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Guayaquil, suelo tipo E	63
Tabla 34. Espectro de respuesta de diseño, sismo frecuente, Portoviejo, suelo tipo D ...	65
Tabla 35. Espectro de respuesta de diseño, sismo ocasional, Portoviejo, suelo tipo D ...	66
Tabla 36. Espectro de respuesta de diseño sismo raro, Portoviejo, suelo tipo D	67
Tabla 37. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Portoviejo, suelo tipo D.....	68
Tabla 38. Valores de desplazamiento y aceleración para espectros de respuesta.	70
Tabla 39. Período Cuartel Modelo	73

Tabla 40. Deriva Cuartel Modelo	74
Tabla 41. Factor de reducción efectivo	75
Tabla 42. Período Jefatura de Bomberos	78
Tabla 43. Deriva Jefatura de Bomberos	79
Tabla 44. Factor de reducción efectivo Jefatura de Bomberos	80
Tabla 45. Período Ex Cuartel de Bomberos	82
Tabla 46. Deriva Ex Cuartel de Bomberos	83
Tabla 47. Factor de reducción efectivo Ex Cuartel de Bomberos.....	84
Tabla 48. Período II Zona Militar	87
Tabla 49. Deriva II Zona Militar	88
Tabla 50. Factor de reducción efectivo II Zona Militar	89
Tabla 51. Valores de desplazamiento y aceleración para espectros de respuesta.	92
Tabla 52. Período Cuerpo de Bomberos	95
Tabla 53. Deriva Cuerpo de Bomberos	96
Tabla 54. Factor de reducción efectivo Cuartel Cuerpo de Bomberos	97
Tabla 55. Período Unidad de Vigilancia Comunitaria	100
Tabla 56. Deriva Unidad de Vigilancia Comunitaria.....	101
Tabla 57. Factor de reducción efectivo Unidad de Vigilancia Comunitaria	102
Tabla 58. Período Comisión de Tránsito.....	105
Tabla 59. Deriva Edificio Comisión de Tránsito	106
Tabla 60. Factor de reducción efectivo Edificio Comisión de Tránsito	107
Tabla 61. Valores de desplazamiento y aceleración para espectros de respuesta	109
Tabla 62. Período Capitanía del Puerto	112
Tabla 63. Deriva Capitanía del Puerto	113
Tabla 64. Factor de reducción sísmico efectivo Capitanía del Puerto	114
Tabla 65. Período Unidad de Vigilancia Comunitaria	116
Tabla 66. Deriva Unidad de Vigilancia Comunitaria.....	117
Tabla 67. Factor de reducción sísmico efectivo Unidad de vigilancia Comunitaria.....	118
Tabla 68. Período Capitanía del Puerto.....	122
Tabla 69. Deriva Capitanía del Puerto	123
Tabla 70. Factor de reducción sísmico efectivo Capitanía del Puerto	124
Tabla 71. Período Cuerpo de Bomberos	127
Tabla 72. Deriva Cuerpo de Bomberos	128
Tabla 73. Factor de reducción sísmico efectivo Cuerpo de Bomberos	129
Tabla 74. Resumen de Resultados.....	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sismo del 18 de agosto de 1980	6
Ilustración 2. Ex-cuartel de Bomberos, año 1980.	7
Ilustración 3. Edificio II zona Militar.....	7
Ilustración 4. Epicentro sismo 1995	9
Ilustración 5. Daños causados por el sismo de Bahía de Caráquez de 1998.....	10
Ilustración 6. Daños cuartel de bomberos Bahía.....	11
Ilustración 7. Daños cuartel de bomberos Bahía.....	11
Ilustración 8. Pedernales (Manabí), fue una de las más afectadas luego del terremoto ...	12
Ilustración 9. Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto de Pedernales en el territorio ecuatoriano (escala EMS-98). Se indican además las señales de los acelerógrafos en las distintas localidades. Estas señales evidencian la aceleración con la que se movió el suelo y que se relaciona con los efectos observados (intensidad) en estos sectores.	13
Ilustración 10. Unidad de Vigilancia Comunitaria.....	14
Ilustración 11. Jefatura del Benemérito Cuerpo de Bomberos.....	15
Ilustración 12. Configuración en planta y elevación en forma rectangular.	16
Ilustración 13. Formación de rótulas plásticas en columnas. Primer bloque.	16
Ilustración 14. Unidad de Vigilancia Comunitaria de Portoviejo.	17
Ilustración 15. Comisión de tránsito Portoviejo.....	18
Ilustración 16. Autoridades navales reconocieron los daños en la Capitanía.	19
Ilustración 17. Daños en edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria de Manta.	20
Ilustración 18. Unidad de Vigilancia Comunitaria de Manta, a) Vista general, b) Mampostería con daño extensivo en fachada principal de ingreso, c) Mampostería con daño extensivo en fachada posterior, d) Columnas de acero rellenas de hormigón, e) Falta de elementos confinantes.	20
Ilustración 19. Edificio de la Capitanía después del sismo de 2016.	21
Ilustración 20. Daños en edificación de Bomberos Bahía de Caráquez.....	22
Ilustración 21. Daños en edificación de Bomberos Bahía de Caráquez.....	22
Ilustración 22. Bahía de Caráquez, Manabí. Edificio Cuerpo de Bomberos	23
Ilustración 23. UPC Jama Manabí.....	23
Ilustración 24. Daños severos cuartel pedernales.....	24
Ilustración 25. Daños cuartel de bomberos Puerto López.....	24
Ilustración 26. Cuartel de Bomberos Rocafuerte	25
Ilustración 27. Curvas de peligro sísmico para la ciudad de Guayaquil	27
Ilustración 28. Curvas de peligro sísmico para la ciudad de Portoviejo	27
Ilustración 29. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.	30
Ilustración 30. Valores de η	31
Ilustración 31. Caracterización de suelos mediante ondas de corte Vs30-Portoviejo.....	40
Ilustración 32. Caracterización de suelos mediante ondas de corte Vs30-Manta	41

Ilustración 33. Caracterización de suelos mediante ondas de corte Vs30-Bahía de Caráquez.....	42
Ilustración 34. Leyenda del mapa de zonificación geotécnica de Guayaquil	43
Ilustración 35. Mapa de zonificación geotécnica de Guayaquil.....	44
Ilustración 36. Distribución de equipos acelerográficos en el Ecuador.	46
Ilustración 37. . Distribución espacial de las estaciones de la RENAC en Guayaquil. Se muestra el tipo de suelo en donde se ubica cada sensor.....	48
Ilustración 38. Espectro de respuesta sismo frecuente, Guayaquil suelo tipo B	50
Ilustración 39. Espectro de respuesta para sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo B.....	51
Ilustración 40. Espectro de respuesta para sismo raro, Guayaquil suelo tipo B	52
Ilustración 41. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Guayaquil suelo tipo B	53
Ilustración 42. Espectros de respuesta curva de peligro sísmico, Guayaquil suelo tipo B	54
Ilustración 43. Espectro de respuesta para sismo frecuente, Portoviejo suelo tipo B	55
Ilustración 44. Espectro de respuesta sismo ocasional, Portoviejo suelo tipo B.....	56
Ilustración 45. Espectro de respuesta para sismo raro, Portoviejo suelo tipo B	57
Ilustración 46. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Portoviejo suelo tipo B	58
Ilustración 47. Espectros de respuesta curva de peligro sísmico, Portoviejo suelo tipo B	59
Ilustración 48. Espectro de respuesta de diseño sismo frecuente Guayaquil suelo tipo E	60
Ilustración 49. Espectro de respuesta de diseño sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo E	61
Ilustración 50. Espectro de respuesta de diseño, sismo raro, Guayaquil suelo tipo E	62
Ilustración 51. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Guayaquil, suelo tipo E	63
Ilustración 52. Espectros de respuesta NEC-15, Guayaquil, suelo tipo E	64
Ilustración 53. Espectro de respuesta de diseño, sismo frecuente, Portoviejo, suelo tipo D	65
Ilustración 54. Espectro de respuesta de diseño, sismo ocasional, Portoviejo, suelo tipo D.....	66
Ilustración 55. Espectro de respuesta de diseño sismo raro, Portoviejo, suelo tipo D	67
Ilustración 56. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Portoviejo, suelo tipo D	68
Ilustración 57. Espectros de respuesta de diseño NEC-15, Portoviejo, Suelo tipo D	69
Ilustración 58. Espectro de respuesta de aceleración de sitio, estación GYE1 norte-sur, sobre suelo tipo E.	71
Ilustración 59. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, estación GYE1 norte-sur, sobre suelo tipo E.	71
Ilustración 60. Acelerogramas del sismo del 16 de abril del 2016, para las estaciones de Guayaquil	72
Ilustración 61. Desplazamiento, Cuartel Modelo	74
Ilustración 62. Espectros de respuesta de aceleraciones, Cuartel Modelo	75

Ilustración 63. Ficha desempeño sísmico, Cuartel Modelo	76
Ilustración 64. Desplazamiento Jefatura de Bomberos	79
Ilustración 65. Espectros de respuesta de aceleraciones Jefatura de Bomberos	80
Ilustración 66. Ficha técnica de desempeño Jefatura de Bomberos	81
Ilustración 67. Desplazamiento Ex cuartel de Bomberos	83
Ilustración 68. Espectros de respuesta de aceleraciones Ex Cuartel de Bomberos.....	84
Ilustración 69. Ficha de desempeño sísmico Ex Cuartel de Bomberos	85
Ilustración 70. Desplazamiento II Zona Militar	88
Ilustración 71. Espectros de respuesta de aceleraciones II Zona Militar	89
Ilustración 72. Ficha de desempeño sísmico II Zona Militar	90
Ilustración 73. Espectro de respuesta de aceleración de sitio estación APO1	93
Ilustración 74. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio estación APO1.....	93
Ilustración 75. Acelerogramas del sismo del 16 de abril de 2016, para la ciudad de Porto viejo	94
Ilustración 76. Desplazamiento Cuerpo de Bomberos	96
Ilustración 77. Espectros de respuesta de aceleraciones Cuartel Cuerpo de Bomberos ..	97
Ilustración 78. ficha de desempeño sísmico Cuartel Cuerpo de Bomberos	98
Ilustración 79. Desplazamiento Unidad de Vigilancia Comunitaria.....	101
Ilustración 80. Espectros de respuesta de aceleraciones Unidad de Vigilancia Comunitaria	102
Ilustración 81. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria.....	103
Ilustración 82. Desplazamiento edificio Comisión de Tránsito	106
Ilustración 83. Espectros de respuesta de aceleración edificio Comisión de Tránsito...	107
Ilustración 84. Ficha de desempeño sísmico Edificio Comisión de Tránsito	108
Ilustración 85. Espectro de respuesta de aceleración de sitio modificado, para Manta, estación sobre suelo tipo D.....	110
Ilustración 86. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, Manta, estación sobre suelo D.....	110
Ilustración 87. Acelerogramas del sismo del 16 de abril de 2016, para la estación de Manta.....	111
Ilustración 88. Desplazamiento Capitanía del Puerto	113
Ilustración 89. Espectros de respuesta de aceleraciones Capitanía del Puerto	114
Ilustración 90. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto	115
Ilustración 91. Desplazamiento Unidad de vigilancia Comunitaria.....	117
Ilustración 92. Espectros de respuesta de aceleración Unidad de vigilancia Comunitaria	118
Ilustración 93. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria.....	119
Ilustración 94. Espectro de respuesta de aceleración de sitio Bahía de Caráquez estación sobre suelo D.....	121
Ilustración 95. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio Bahía de Caráquez...	122
Ilustración 96. Desplazamiento Capitanía del Puerto	123
Ilustración 97. Espectros de respuesta de aceleraciones Capitanía del Puerto	124
Ilustración 98. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto	125

Ilustración 99. Desplazamiento edificio Cuerpo de Bomberos.....	128
Ilustración 100. Espectros de respuesta de aceleración Cuerpo de Bomberos.....	129
Ilustración 101. Ficha desempeño sísmico Cuerpo de Bomberos.....	130

RESUMEN

La información sobre las edificaciones afectadas en los sismos, se recopiló de los diferentes diarios en circulación en el Ecuador, revistas del sector de la construcción, informes técnicos realizados por instituciones nacionales e internacionales relacionadas al sector de la construcción, como el proyecto RADIUS, el informe presentado por el GEER. Se identificó las edificaciones afectadas; se procedió a encontrar los espectros elásticos de diseño, a partir de las curvas de peligro sísmico para las ciudades capitales, para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro, según el método indicado en la NEC-15, en la sección de peligro sísmico. Se encontró y clasificó los suelos donde se encuentran cimentadas las diferentes edificaciones y estaciones sísmicas seleccionadas, según la clasificación de la NEC-15. Con los registros de aceleración de las diferentes estaciones, se encontraron los espectros de respuesta de sitio de aceleración y de desplazamiento, para las ciudades de Guayaquil, Portoviejo, Manta y Bahía de Caráquez. Se calculó los respectivos periodos de cada una de las estructuras estudiadas, según el método indicado en NEC-15, también se obtuvieron las derivas inelásticas y se Encontró el valor del factor de reducción efectivo de respuesta elástica. Luego, se clasificó el tipo de sismo que actuó sobre la edificación estudiada. Por último, se evaluó el desempeño sísmico de las edificaciones, según lo especificado en NEC-15 y dependiendo si la estructura siguió prestando servicios después del sismo o caso contrario. También se indicaron las causas del buen o mal desempeño para cada edificio de la muestra.

Palabras Claves: Edificaciones, sismos, daños, espectros, periodos, derivas, desempeño.

ABSTRACT

The information on the buildings affected in the earthquakes, was collected from the different newspapers in circulation in Ecuador, magazines from the construction sector, technical reports made by national and international institutions related to the construction sector, such as the RADIUS project, the report presented by the GEER. With the buildings to study identified; the elastic design spectra were found, from the seismic hazard curves for capital cities, for frequent, occasional, rare and very rare earthquakes, according to the method indicated in NEC-15, in the seismic danger section. Soils were found and classified where the different buildings and seismic stations selected are based, according to the classification of NEC-15. With the acceleration records of the different stations, the acceleration and displacement site response spectra were found for the cities of Guayaquil, Portoviejo, Manta and Bahía de Caráquez. The respective periods of each of the structures studied were calculated, according to the method indicated in NEC-15, inelastic drifts were also obtained and the value of the effective reduction factor of elastic response was found. Then, the type of earthquake that acted on the building studied was classified. Finally, the seismic performance of the buildings was evaluated, as specified in NEC-15 and depending on whether the structure continued to provide services after the earthquake or otherwise. The causes of good or bad performance for each sample building were also indicated.

Key Words: Buildings, earthquakes, damages, spectra, periods, drifts, performance.

Capítulo I

1.Introducción

1.1. Antecedentes

EL desempeño o comportamiento de las edificaciones sismo-resistentes en nuestro país ha sido diferenciado por los códigos y normas de la construcción en tres categorías de estructuras definidas como edificaciones esenciales, de ocupación especial y otras estructuras.

En los sismos ocurridos después de la aparición del código Ecuatoriano de la Construcción de 1977, se observó un gran número de edificaciones de instalaciones militares, de policía, de bomberos y defensa civil, que tuvieron daños que los dejaron fuera de operación, aun cuando las características de dichos sismos en los diferentes sitios de ubicación de estas estructuras, correspondían a sismos frecuentes u ocasionales. En el caso del sismo del 16 de abril de 2016, se reportaron varios de estos casos, donde ese tipo de edificios quedaron fuera de operación e incluso varios fueron demolidos después del evento.

Por el contrario, también existieron casos de edificaciones de este tipo que continuaron operando y prestando servicios, después de sismos clasificados como ocasionales o raros.

Se hizo necesario el estudio de las causas de ese tipo de comportamiento diverso de las estructuras esenciales durante los sismos en el Ecuador, con el fin de poder reformular las normas existentes para el diseño y construcción de edificaciones sismo-resistentes en el país.

1.2. Objetivo General:

- Definir si el desempeño de instalaciones militares, de policía, bomberos y defensa civil, durante los sismos en el Ecuador a partir de 1977, cumplieron o no con las especificaciones de los códigos o normas ecuatorianas para el diseño y construcción sismo-resistentes.

1.3. Objetivos específicos:

- Definir las causas del buen o mal desempeño de esas edificaciones esenciales durante los sismos en Ecuador.

- Proponer mejoras en las especificaciones de las normas ecuatorianas de diseño y construcción sismo-resistentes, para evitar las fallas en el desempeño de esas edificaciones esenciales durante sismos frecuentes, ocasionales o raros.

1.4. Alcance:

Con la información que se recopiló, para las diferentes edificaciones del estudio se determinaron las siguientes características:

- Amenaza sísmica y nivel de frecuencia para sismos frecuentes, sismos ocasionales, sismos raros y sismos muy raros.
- El tipo de suelo de cimentación en el que se encontraron las edificaciones.
- El nivel de desempeño estructural de las edificaciones: Nivel de servicio, nivel de daño o nivel de colapso.
- Se determinó el factor de reducción efectivo de la respuesta elástica de las estructuras: Relación entre el espectro de respuesta de diseño de norma definido para un periodo de retorno de 475 años y el espectro de respuesta de sitio del movimiento sísmico real.
- Se determinó el nivel de deriva elástica o inelástica de las edificaciones, obtenida a partir del espectro de desplazamiento elástico del sismo real.
- Finalmente, para cada caso estudiado, se determinó si el desempeño o comportamiento estructural cumplió con lo definido por las normas o no. Para ambos casos ya sea positivo o negativo, se proveyó la respectiva explicación del desempeño a partir de la información encontrada.

1.5. Metodología

Se recopiló información existente sobre las edificaciones esenciales de uso militar, de policía, bomberos y defensa civil, que fueron afectadas y sufrido daños durante los sismos ocurridos en el Ecuador a partir de 1977.

Para las edificaciones seleccionadas se obtuvieron los factores de irregularidad en planta y elevación, los factores de vulnerabilidad estructural y el período de vibración fundamental para cada edificación, se utilizó lo especificado en la misma norma.

Se obtuvo información que permitió clasificar el tipo de suelo sobre el que se encontraba cada una de las edificaciones estudiadas, de acuerdo con la clasificación de

suelos que se encontró en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, que clasifica los suelos en tipo A, tipo B, Tipo C, Tipo D, Tipo E o Tipo F.

Se obtuvieron los acelerogramas y espectros de respuesta de los movimientos del suelo durante los sismos, para cada una de las ciudades donde se ubicaron las edificaciones que se estudiaron.

Capítulo II

2. Recopilación de información

En la presente investigación se recopiló información sobre las estructuras esenciales de uso militar, estaciones de bomberos, policía y defensa Civil, afectadas en los sismos de 1980 con epicentro en la ciudad de Guayaquil, el de 1987 con epicentro en la provincia de Napo, el de 1995 con epicentro en la cordillera de Cutucú, el de 1998 con epicentro en la ciudad de Bahía de Caráquez y el sismo del 16 de abril de 2016 con epicentro en Pedernales. Algunos de los edificios de la muestra ya fueron casos de estudio en el Proyecto RADIUS en el año 1999.

La información se obtuvo de diarios como El Universo, Expreso, Telégrafo y el Comercio; así como de Revistas, Informes técnicos como el GEER-ATC y proyecto RADIUS y páginas de internet.

2.1. Sismo del 18 de agosto de 1980

Su epicentro estuvo ubicado a 30 km de la ciudad de Guayaquil, cerca de Nobol, su magnitud fue $M_s = 6,1$. La intensidad en Guayaquil fue de VII grados en la escala modificada de Mercalli. Tuvo una duración de aproximadamente 60 segundos, empezó con un ligero temblor vibratorio y al transcurrir los segundos se convirtió en un movimiento fuerte, con ruido. Causó la suspensión de clases, actividades comerciales e industriales; así como la de servicios básicos como transporte, teléfono y energía eléctrica. En la Ilustración 1, se observan el nivel de daños que causó el sismo y la hora del suceso.

El saldo fueron 10 muertos y más de 100 heridos. En el 90 % de los casos de muertes y heridos en la ciudad, fueron causados por la caída de paredes de casas de construcción mixta. Se registraron más de 100 casas y edificios destruidos o con daños. No se registraron daños serios en edificaciones de hormigón armado, aunque fueron comunes en la zona del centro de la urbe daños no estructurales como: agrietamientos en mampostería, fisuras en elementos estructurales, vidrios rotos, caída de objetos de decoración y tumbados dañados (Castro, 2012).

Las escuelas y los colegios de la ciudad sufrieron daños, la mayoría de ellos construidos en hormigón armado. Transcurrida una semana del sismo, 24 colegios y 34 escuelas, un 8 % del total de planteles, no pudieron reiniciar clases porque no pasaron las inspecciones pertinentes; esto fue un porcentaje alto para un sismo de intensidad VII en

la escala modificada de Mercalli, lo que evidencio la vulnerabilidad de las estructuras educativas ante terremotos (Armas, 2012).

Se suspendieron los servicios básicos como: transporte, teléfono y energía eléctrica, hasta que pudieron ser rehabilitados entre las 10h30 y 13h00. Muchas personas quedaron atrapadas dentro de los ascensores de los edificios céntricos (Armas, 2012).



Ilustración 1. Sismo del 18 de agosto de 1980

Fuente: (Anónimo)

2.2. Edificaciones afectadas por el sismo del 18 de agosto de 1980 en Guayaquil

2.2.1. Ex cuartel de bomberos

El edificio se encuentra ubicado en la avenida Machala entre las calles Aguirre y Clemente Ballén de la ciudad de Guayaquil. En el año de 1980, el edificio funcionaba como cuartel de bomberos, hoy en día funciona como local comercial. La edificación es de hormigón armado, el sistema estructural es de pórticos resistentes a momentos, el edificio tiene 2 pisos y fue construido en 1938, la cubierta descansa sobre cerchas de madera. El Cuartel de Bomberos quedó semi-destruido en el sismo del 18 de agosto de 1980, debido a su mala calidad de construcción, gran irregularidad vertical y por el choque con el edificio vecino. Tuvo que ser sometido a reparaciones. En la Ilustración 2, se muestra el Ex Cuartel de Bomberos en el año 1999.



Ilustración 2. Ex-cuartel de Bomberos, año 1980.

Fuente: (Proyecto Radius, 1999)

2.2.2. Edificio II Zona Militar

La edificación se encuentra ubicada en la Av. 9 de Octubre y Lorenzo de Garaicoa, acera norte en el centro de la ciudad de Guayaquil, es un edificio de hormigón armado de uso militar; el sistema estructural es de pórticos resistentes a momentos, tiene 3 pisos, es un edificio medianero, regular en planta. Los factores de riesgo son que el edificio es propenso a chocar con los edificios vecinos; el edificio de la II zona militar fue construido en 1921. Los daños observados durante el sismo de 1980 fueron desprendimientos de adornos frontales. En la Ilustración 3, se muestra el edificio II Zona Militar.



Ilustración 3. Edificio II zona Militar

Fuente: (El Universo, 2018)

2.3. Sismo de Napo del 5 de marzo de 1987.

El 5 de marzo del 87, el Ecuador fue golpeado por 2 sismos, el primero con escala de magnitud de ondas superficiales $M_s = 6.1$, ocurrió a las 20h54; el segundo con $M_s = 6.9$, ocurrió a las 23h10, a lo largo de las laderas orientales de los Andes al noreste del Ecuador. Los epicentros estuvieron ubicados en la Provincia de Napo, a 25 km al norte del volcán Reventador.

EL terremoto originó pérdidas económicas y sociales pequeñas en comparación con los efectos catastróficos producidos por los deslizamientos e inundaciones en el área cerca al Volcán Reventador. Todas las muertes se reportaron en la provincia de Napo, por los deslizamientos o al ser arrastrados por acrecentadas en los ríos cargados de escombros (IG-EPN, 2013).

Deslizamientos de rocas y tierra, junto con flujos de lodo inundaron la zona oriental de los Andes, dañando aproximadamente 70 km del Oleoducto Transecuatoriano y bloqueando la única carretera entre Quito, los bosques lluviosos y campos petrolíferos ecuatorianos. Produciendo pérdidas económicas de alrededor de 1000 millones de dólares (IG-EPN, 2013).

2.4. Sismo del 2 de octubre de 1995.

El lunes 2 de octubre de 1995, un fuerte temblor de magnitud 6,1 grados en la escala de Richter se sintió en el Ecuador, aproximadamente a las 20h55, causó alarma en varias provincias fronterizas con Colombia y el colapso de viviendas en la ciudad de Tulcán. El epicentro estuvo ubicado en la Cordillera de Cutucú, región fronteriza con Perú, en el oriente ecuatoriano. En Guayaquil, varios sectores de la ciudad se quedaron sin energía eléctrica al estallar transformadores y algunas viviendas sufrieron daños parciales. En la Ilustración 4, se muestra un mapa sísmico con la ubicación del epicentro del sismo.

El día martes 3 de octubre a las 07h47, el país fue nuevamente sacudido por otro movimiento telúrico. El IGPN informó que el sismo tuvo una intensidad de 5,9 en la escala de Richter. EL epicentro estuvo localizado en la estribación central de la Cordillera de los Andes, a una profundidad de 24,4 kilómetros, en la frontera de las provincias de Morona Santiago y Pastaza, entre las localidades de Patuca y Sucúa (El Telégrafo, 1995).

En Cuenca se produjo el desprendimiento de la torre eléctrica por una serie de derrumbes, que dejaron sin fluido eléctrico a la provincia, además quedaron

incomunicados por la suspensión del servicio telefónico; también las paredes de casas viejas e iglesias se agrietaron, la función pública se paralizó y la ciudadanía durmió en parques. Se reportó una niña fallecida y tres personas heridas (El Telégrafo, 1995).



Ilustración 4. Epicentro sismo 1995

Fuente: (El Telégrafo, 1995)

2.5. Sismo del 4 de agosto de 1998.

El día 4 de agosto de 1998 a las 13h59 hora local, se produjo un terremoto de magnitud $M_s=7,1$ en la costa central ecuatoriana, cuyo epicentro se localizó a 10 km. al noroeste de Bahía de Caráquez y tuvo una duración de 11 segundos. El terremoto fue precedido por un premonitor a la 12h35 tiempo local con una magnitud de $m_b= 5,4$ que causó alarma pública y algunos daños, además hizo que muchas personas se encontraran aun afuera de sus casas cuando ocurrió el evento principal. En la Ilustración 5, se observa los daños causados por el sismo a una edificación ubicada en Bahía de Caráquez.

El balance final indicó que tres personas fallecieron y cuarenta resultaron heridos debido al terremoto, los daños ocasionados bordearon los 100 millones de dólares. El epicentro, determinado por (IG-EPN) fue localizado a una profundidad focal de 39 kilómetros. El terremoto fue sentido por toda la población ecuatoriana y en parte del sur de Colombia, este evento fue uno de los más grandes ocurridos con epicentro en esta zona, luego del terremoto principal se registraron 200 réplicas (CERESIS-UNESCO, 1998).

Las ciudades con mayor afectación fueron las ubicadas cerca de la zona epicentral como: Bahía de Caráquez, San Vicente, Canoa, Jama, Manta y Portoviejo, siendo Bahía y Canoa las mayormente afectadas. En la zona epicentral los servicios de electricidad, teléfonos y agua potable sufrieron cortes y un gran porcentaje de edificaciones

habitacionales, incluidas casas de un piso hasta edificios de más de 6 plantas, quedaron seriamente dañados (CERESIS-UNESCO, 1998).



Ilustración 5. Daños causados por el sismo de Bahía de Caráquez de 1998

Fuente: (El Universo, 2003)

2.6. Edificaciones afectadas por el sismo del 4 de agosto de 1998 en Bahía Caráquez

El ingeniero Alex Villacrés, profesor de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, realizó un informe que describía de forma general los daños que sufrieron edificaciones en la ciudad de Bahía de Caráquez en el sismo de 1998. Este informe fue tomado para la presente investigación. A continuación; en la Tabla 1, se describen los daños que sufrió el edificio del cuartel de bomberos de Bahía de Caráquez.

Tabla 1. Cuartel de Bomberos de Bahía de Caráquez. Daños observados Sismo de 1998

Nombre	Tipo	No. De pisos	Nivel de daño	Descripción de daños
Cuartel de bomberos	Mixto	2	Colapso	Colapso de segundo piso

Fuente: (Ing. Alex Villacrés)

2.6.1. Cuerpo de Bomberos

El edificio se encontraba ubicado en el Malecón Alberto Santos (Zona NE) en la ciudad de Bahía de Caráquez. La edificación de hormigón armado, el sistema estructural correspondía a losas de hormigón armado sobre pilares, la segunda planta era de mampostería y el techo contaba con láminas de zinc, el edificio tenía 2 pisos. Los daños observados en la edificación fueron que el muro de fachada colapsó y al parecer parte del muro cayó sobre uno de los carros bomba causándole daños, se consideró que la estructura fue afectada en un 100%, por lo que no prestó servicios después del sismo y tuvo que ser

demolida. En la Ilustración 6 e Ilustración 7, se aprecian los daños sufridos en la edificación, por el sismo del 4 de agosto de 1998.



Ilustración 6. Daños cuartel de bomberos Bahía.

Fuente: (CERESIS-UNESCO, 1998)



Ilustración 7. Daños cuartel de bomberos Bahía.

Fuente: (CERESIS-UNESCO, 1998)

2.7. Sismo del 16 de abril de 2016

El día 16 de abril del 2016 a las 18H58, en Pedernales se ubicó el epicentro del terremoto más destructivo en los últimos tiempos de la historia sísmica en Ecuador, con una Magnitud $M_w=7,8$ (magnitud de momento) y a una profundidad de 19,2km. Dejando un saldo de 663 personas fallecidas y 6274 personas heridas, este sismo causó daños millonarios. En la Ilustración 8, se aprecia el grado de destrucción causado por el sismo, en Pedernales.

En las ciudades de Manabí se observó que, en algunas estructuras, las columnas las cuales no se construyeron y armaron como es debido fallaron, las construcciones no

fueron realizadas por personas calificadas y no se implementaron las normas de la construcción vigentes. La mayoría de las estructuras que fallaron eran de construcción mixta, hormigón armado y madera, también se observó que, al estar asentadas en zonas costeras, los suelos son en su mayoría arenosos, donde se produjo licuefacción; por lo que las estructuras se vieron mayormente afectadas.

En Guayaquil; se reportó el colapso de un paso a desnivel en el norte de la ciudad, en la Avenida de las Américas, sobre un vehículo dejando un fallecido. En el sector de Samborondón; una joven falleció al caer de las escaleras eléctricas del centro comercial Village. También se informó que hay paredes cuarteadas en ese centro comercial (El Universo, 2016).

Debido a la gran magnitud del terremoto, muchas ciudades del país quedaron devastadas, como Pedernales, sin embargo; la ciudad de Guayaquil pese a estar alejada del epicentro sufrió afectaciones especialmente en sus edificios. Se registró que alrededor de 243 casas sufrieron daños, de las cuales 20 experimentaron colapso total, otros 147 edificios se tendrán que revisar (Bastidas, 2019).



Ilustración 8. Pedernales (Manabí), fue una de las más afectadas luego del terremoto
Fuente: (El Telégrafo, 2016)

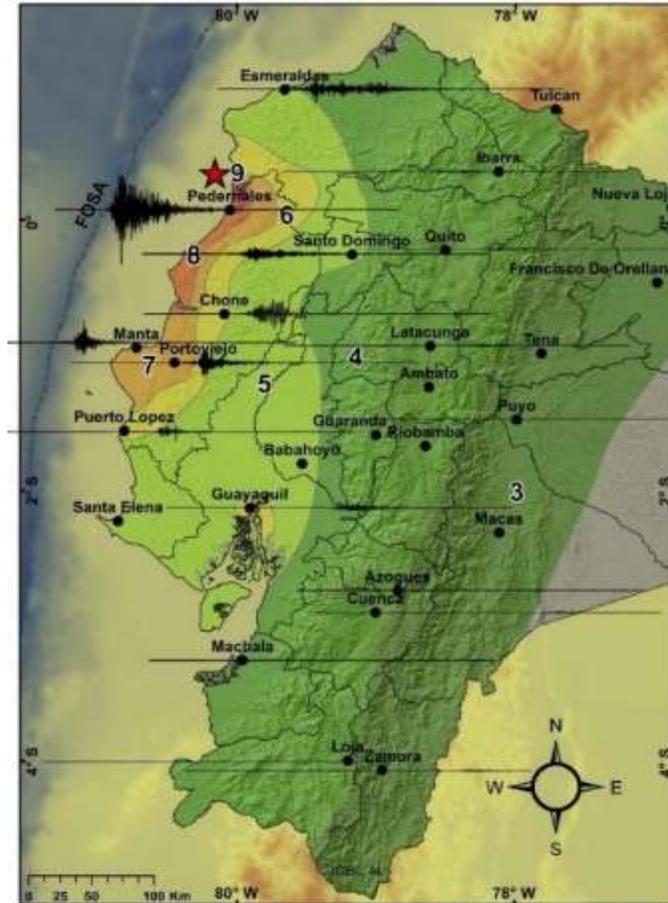


Ilustración 9. Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto de Pedernales en el territorio ecuatoriano (escala EMS-98). Se indican además las señales de los acelerógrafos en las distintas localidades. Estas señales evidencian la aceleración con la que se movió el suelo y que se relaciona con los efectos observados (intensidad) en estos sectores.

Fuente: (IG-EPN, 2018)

2.8. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Guayaquil

2.8.1. Edificio Cuartel Modelo

La unidad de vigilancia comunitaria (UVC) o mejor conocido como Cuartel modelo se encuentra ubicado en la avenida de las Américas en el centro-norte de la ciudad de Guayaquil, la edificación es de hormigón armado, cuenta con 4 pisos. Pese a ser un edificio relativamente nuevo, sufrió daños durante el sismo del 16 de abril de 2016, los daños observados en la edificación fueron no estructurales, fisuras y grietas en las paredes, vidrios rotos y desprendimiento de concreto, El cuartel modelo fue evacuado después del sismo. En la Ilustración 10, se observan los daños en la Unidad de Vigilancia Comunitaria.

El lunes 9 de enero de 2017. El diario Expreso publicó sobre. Edificios sin reparar a 8 meses del terremoto. Uno de los edificios es el complejo judicial de Flagrancia situado en las instalaciones de la Unidad de Vigilancia Centro (UVC) el conocido Cuartel Modelo, sobre la avenida de las Américas, en el centro norte de la ciudad. El sacudón de 7,8 grados destruyó gran parte de la mampostería y las puertas del edificio, como se evidencia en la fachada (El Expreso, 2017).

El martes 19 de abril de 2016. El diario Expreso publicó que. Las sedes judiciales, algunas recién estrenadas, también sufrieron el temblor. Los edificios de la unidad de Flagrancia (Cuartel Modelo) y de la familia, mujer, niñez y adolescencia (Vihcar), en Guayaquil, suspendieron actividades ante la destrucción en parte de su edificación. Desde exteriores se observan los destrozos en la unidad de flagrancia, cuyo servicio fue trasladado a la unidad judicial en el centro comercial Albán Borja (Expreso, 2016).

El 30 de junio de 2016. El diario El universo publicó. Luego del terremoto de magnitud 7.8 la edificación suspendió la atención al público. Los funcionarios fueron trasladados a la Unidad Judicial del Consejo de la Judicatura, ubicada en el Albán Borja. “Según un funcionario, en el edificio del Cuartel Modelo se hizo un estudio y se habría determinado que no tiene daños estructurales, pero sí afectación en paredes y mampostería (El Universo , 2016).



Ilustración 10. Unidad de Vigilancia Comunitaria.

Fuente: (El Universo , 2016)

2.8.2. Jefatura del Cuerpo de Bomberos

El edificio de la Jefatura Del Cuerpo de Bomberos está ubicado en la Av. 9 de octubre entre Escobedo y Boyacá, acera sur; en el centro de la ciudad de Guayaquil, la

edificación es de hormigón armado, es de uso de emergencias, cuenta con 5 pisos, su sistema estructural es de pórticos resistentes a momentos. Los factores de riesgo son poca rigidez de la planta baja y es susceptible a choques con los edificios vecinos; además la calidad de este edificio puede verse deteriorada debido a su fecha de construcción entre 1927 y 1931. Los daños observados durante el sismo del 16 de abril de 2016, fueron pequeñas grietas, pero actualmente se las ha reparado. Se registró que el edificio de Pycca golpeó al de la Jefatura de Bomberos, sin ocasionar daños mayores. En la Ilustración 11, se observa el edificio de la Jefatura de Bomberos de Guayaquil.



Ilustración 11. Jefatura del Benemérito Cuerpo de Bomberos.

Fuente: (Mera César, 2019)

2.9. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Portoviejo

2.9.1. Cuartel del Cuerpo de Bomberos

El edificio de la jefatura del cuerpo de bomberos se encuentra ubicado en la calle Córdova y Ricaurte, en el centro de la ciudad de Portoviejo, la edificación es de uso de emergencia (edificación esencial), tiene 3 pisos más terraza. El sistema estructural es de hormigón armado, formado por tres bloques de forma rectangular en planta, con vigas peraltadas (altas) y losas reticuladas sobre columnas en los bloques 1 y 3; con losas planas sobre columnas en el primer bloque. En la Ilustración 12 e Ilustración 13, se observan los daños en el primer bloque del edificio del Cuartel de Bomberos de Portoviejo.

El viernes 10 de junio de 2016. El diario El Universo publicó que. El edificio del organismo debe demolerse por los daños que causó el terremoto. Por el desastre, el edificio del Cuerpo de Bomberos de Portoviejo, ubicado en pleno centro de la ciudad, quedó endeble y por ello se recomendó deshabilitarlo y proceder a demolerlo. La edificación no

prestó servicio después del sismo, los bomberos atendieron la emergencia en carpas ubicadas junto al edificio (El Universo, 2016).

Durante el sismo de 2016 la edificación sufrió daños no estructurales en mampostería debido a un trabajo defectuoso de albañilería. No obstante, la mampostería no estalló en ningún caso, pero hubo desprendimientos después del sismo. Se observaron daños estructurales en las columnas de la planta baja en el primer bloque del edificio debido a la colisión con la losa del primer piso del segundo bloque; se observó formación de rótulas plásticas en las columnas del primer bloque en planta baja (Villacrés, 2016).



Ilustración 12. Configuración en planta y elevación en forma rectangular.
Fuente: (Villacrés, 2016)



Ilustración 13. Formación de rótulas plásticas en columnas. Primer bloque.
Fuente: (Villacrés, 2016)

2.9.2. Unidad de Vigilancia Comunitaria (UVC)

El edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria, se encuentra ubicado en la Av. José María Urbina de la ciudad de Portoviejo, la edificación es de hormigón armado, edificio de uso policial, tiene 2 pisos, esta estructura era relativamente nueva, fue construido en el año 2014; este centro alberga al personal de policía responsable de la

vigilancia de la ciudad. Los daños observados durante el sismo del 16 de abril de 2016, fueron que sufrió algunos desmoronamientos en las paredes exteriores no estructurales. En la Ilustración 14, se muestran los daños en las paredes exteriores del edificio.

El sábado 14 de mayo de 2016 el diario El Universo publicó que. Se reconoció que varias infraestructuras policiales sufrieron serias afectaciones por el sismo del pasado 16 de abril, principalmente en los comandos distritales de Manta y Chone, al igual que en la Unidad de vigilancia comunitaria (UVC) de Portoviejo (El Universo, 2016).

El jueves 08 de septiembre de 2016 El Diario publicó que. En total fueron 93 las unidades afectadas por el sismo. El daño fue notorio y en su mayoría se dejaron de utilizar para evitar alguna tragedia con motivo de las réplicas. “Fernando vallejo, jefe de la sub zona Manabí, dijo que en el caso del comando y Unidad de vigilancia Comunitaria (UVC) de Portoviejo debieron reubicarse en las propias dependencias de la vía a Crucita e hicieron una reorganización” (El Diario, 2016).

El 10 de agosto de 2016 Oromar Televisión en el informativo NTI reportó que la Unidad de Vigilancia de Policía de Portoviejo, presentó daños no solo en su fachada sino en su interior; el ascensor no funcionaba, hubo daños en los baños, presentó paredes cuarteadas, cielo raso desprendido y mampostería averiada (Cevallos, 2016).



Ilustración 14. Unidad de Vigilancia Comunitaria de Portoviejo.

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

2.9.3. Comisión de Tránsito

El edificio de la Agencia Nacional de Tránsito estaba ubicado en calle Medardo Cevallos y 15 de Abril de la ciudad de Portoviejo. La edificación era de hormigón armado y contaba con 4 pisos. Este edificio sufrió severos daños durante el sismo del 16 de abril

de 2016; por lo que fue demolido. En la Ilustración 15, se observan los daños sufridos por la edificación de la Comisión de Tránsito, después del sismo del 16 de abril de 2016.

El lunes 13 de noviembre de 2017, el periódico El Diario publicó sobre. El terremoto causó graves daños a la infraestructura estatal en la zona urbana. Instituciones que alquilaban locales, en su mayoría, se trasladaron al Centro de Atención Ciudadana (CAC) y algunas de las que perdieron sus edificios ya cuentan con nuevas edificaciones, como la Comisión de Tránsito del Ecuador y la Agencia Nacional de Tránsito (El Diario , 2017).



Ilustración 15. Comisión de tránsito Portoviejo
Fuente: (Villacrés, 2016)

2.10. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Manta

2.10.1. Capitanía del Puerto

El edificio de la Capitanía del puerto de Manta, está ubicado en el malecón de la ciudad, es una edificación de hormigón armado, tiene 4 pisos, es de uso naval. Los daños observados después del sismo del 16 de abril de 2016, fueron que las paredes del mezzanine II colapsaron y otras se averiaron; el personal tuvo que ser evacuado. En la Ilustración 16, se observan daños en mampostería en el edificio de la Capitanía.



Ilustración 16. Autoridades navales reconocieron los daños en la Capitanía.

Fuente: (Expreso, 2016)

2.10.2. Unidad de Vigilancia Comunitaria

El edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria, ubicado en la Ciudad de Manta se encuentra en las calles 304 entre Av. 113 y Av. 4 de Noviembre, tiene 4 pisos, es un edificio de uso policial, la estructura es de acero A 57 (grado 50), con columnas tipo ‘H’ y vigas tipo ‘I’. El sistema estructural presenta nueve pórticos en sentido transversal y tres pórticos que luego pasan a ser dos en sentido longitudinal, tiene poca redundancia en sentido longitudinal. La cimentación del edificio es Directa (sin pilotes) con plintos aislados. Los daños observados en la estructura durante el sismo del 2016 fueron: daño extensivo en la mampostería de la planta baja, porque la estructura de acero es flexible y se colocó una mampostería de bloques, sin elementos confinantes. El daño se concentró exclusivamente en la planta baja del bloque de vivienda, la causa principal fue la ausencia de columnetas para confinar la mampostería, en las fachadas donde se tiene voladizo. En la Ilustración 17 e Ilustración 18, se observan los daños que sufrió el edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria en Manta.

EL 14 de mayo del 2016. El diario el Universo publicó sobre. Graves afectaciones y cuarteamientos, se observaron en las paredes del área de cocina del distrito de la Policía Nacional en Manta. Allí en la unidad de seguridad, no era lo único que se observó afectado, pues las paredes del exterior también quedaron deterioradas y se demolía parte de lo que quedó tras el terremoto de 7,8 (El Universo, 2016).



*Ilustración 17. Daños en edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria de Manta.
Fuente: (El Universo, 2016).*



Ilustración 18. Unidad de Vigilancia Comunitaria de Manta, a) Vista general, b) Mampostería con daño extensivo en fachada principal de ingreso, c) Mampostería con daño extensivo en fachada posterior, d) Columnas de acero rellenas de hormigón, e) Falta de elementos confinantes.

Fuente: (Aguar, 2016)

2.11. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez

2.11.1. Capitanía del puerto

El edificio de la Capitanía del Puerto se encuentra ubicado en El malecón Alberto F. Santos de la Ciudad de Bahía de Caráquez, la edificación fue inaugurada en 1971, tiene 3 pisos, construido en hormigón armado, de uso naval. Los daños reportados en el sismo del 16 de abril de 2016, fueron asentamiento diferencial, agrietamiento de la losa de entrepiso causado por el asentamiento. EL edificio tuvo que ser demolido ya que su estructura estaba comprometida. En la Ilustración 19, se observan los daños sufridos en el edificio de la Capitanía de Bahía de Caráquez.

El 26 de mayo del 2016, El Diario, reportó que. El inmueble de la Capitanía, estaba ubicado en el malecón Alberto F. Santos, se mantuvo operativo 45 años, desde que fuera inaugurado en 1971 por las autoridades navales, deberá ser demolido por las afectaciones que sufriera a causa del terremoto del 16 de abril de 2016. Álvaro Cruz, capitán de Puerto de Bahía de Caráquez, manifestó que el terremoto dejó bastante sentida la edificación, por lo que ha sido inspeccionada por varias entidades como el Cuerpo de Bomberos, Cuerpo de Ingenieros del Ejército, un grupo de profesionales de la Universidad de Houston de Estados Unidos, y de la misma Armada Nacional, Llegando a la misma conclusión de se tenía que demoler la estructura (El Diario, 2016).



Ilustración 19. Edificio de la Capitanía después del sismo de 2016.

Fuente: (El Diario, 2016)

2.11.2. Cuartel de Bomberos

El edificio del Cuartel de Bomberos, ubicado en el malecón Alberto Santos de la ciudad de Bahía de Caráquez, es una edificación de hormigón armado, de uso de emergencias, tiene 2 pisos, el sistema estructural correspondiente es de pórticos resistentes a momento. Los daños observados durante el sismo del 16 de abril de 2016, fueron fisuras en mampostería de las 2 plantas y algunas paredes colapsaron. En la Ilustración 20, Ilustración 21 e Ilustración 22, se observan las afectaciones del edificio Cuartel de Bomberos en la ciudad de Bahía de Caráquez.

El 9 de abril de 2017, el diario El Universo reportó sobre. Paredes cuarteadas y un edificio demolido también tiene el Cuerpo de Bomberos en Bahía de Caráquez y Allí funciona. En la fachada de la primera planta está una pared rota y junto funciona el centro de mando, con una computadora y radios. Los bomberos pernoctan en una carpa, en un terreno aledaño. En el edificio con paredes caídas y cuarteadas operan los bomberos de esta ciudad (Olmos, 2017).



Ilustración 20. Daños en edificación de Bomberos Bahía de Caráquez
Fuente: (Villacrés, 2016).



Ilustración 21. Daños en edificación de Bomberos Bahía de Caráquez.
Fuente: (Villacrés, 2016).



Ilustración 22. Bahía de Caráquez, Manabí. Edificio Cuerpo de Bomberos (Olmos, 2017)

2.12. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Jama

2.12.1. Unidad de policía comunitaria UPC

El sábado 14 de mayo de 2016, el diario El Universo publicó que. Por otra parte, en la parroquia Boca de Bigua, de Jama, el terremoto destruyó prácticamente el edificio de dos pisos de la UPC, la edificación presentó resquebrajamientos en la mayoría de paredes. Las paredes contiguas a la escalera cedieron y las bases fallaron. Como se muestra en la Ilustración 23 (El Universo, 2016).



*Ilustración 23. UPC Jama Manabí.
Fuente: (El Universo, 2016)*

2.13. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Pedernales

2.13.1. Cuartel policial

El miércoles 27 de abril de 2016, el diario El Telégrafo publicó que. El segundo piso del Cuartel de Pedernales está caído, como se muestra en la Ilustración 24, así como una UPC del norte de la localidad. Los policías brindan servicios con 6 UPC móviles, pero también se habilitaron 2 campamentos en lugares estratégicos de la ciudad para el albergue de 1500 policías, encargados de controlar el orden (El Telégrafo, 2016).



Ilustración 24. Daños severos cuartel pedernales.

Fuente: (El Telégrafo, 2016)

2.14. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Puerto López

2.14.1. Cuartel de Bomberos

El viernes 22 de abril de 2016, el diario El Universo Publicó sobre. El Cuartel de Bomberos de Puerto López es una de las estructuras con riesgo de colapso. En el edificio de tres pisos el terremoto provocó que varias paredes se cayeran, partió la escalera de cemento, los equipos quedaron a la intemperie y la motobomba fue estacionada a un costado del cuartel. Lo que queda de la escalera ha sido apuntalado con cañas. Como se muestra en la Ilustración 25 (El Universo, 2016).



Ilustración 25. Daños cuartel de bomberos Puerto López

Fuente: (El Universo, 2016)

2.15. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016 en Rocafuerte

2.15.1. Cuartel del Cuerpo de Bomberos

El jueves 20 de octubre de 2016, EL Diario publicó sobre. La edificación demolida estaba en las calles Bolívar y Pichincha, frente al parque central. El Cuartel del Cuerpo de Bomberos de Rocafuerte fue demolido porque estaba afectado en su estructura por el terremoto, en la Ilustración 26 se muestra el terreno que ocupaba el Cuartel de Bomberos (El Diario, 2016).



Ilustración 26. Cuartel de Bomberos Rocafuerte

Fuente: (El Diario, 2016)

Capítulo III

3. Procedimientos de consideraciones sísmicas

3.1. Introducción

En el presente capítulo; se muestra el procedimiento para la obtención de los espectros de respuesta por medio de las curvas de peligro sísmico para las ciudades capitales, espectros de respuesta de diseño según el método de la NEC-15, para sismos frecuentes, ocasionales, raros y muy raros. También se muestra el procedimiento para la obtención de los periodos de las estructuras, el cálculo de las derivas y el cálculo de los factores de reducción efectiva. También se muestra el procedimiento para la obtención de los espectros de aceleración y de desplazamiento de sitio, obtenidos a partir de los registros de aceleración del sismo dependiendo de la estación que sea necesario utilizar. Con la obtención de estos datos podemos ser capaces de clasificar el sismo que actuó sobre las estructuras estudiadas, en sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro. Por último, se obtendrá el desempeño sísmico de la estructura según lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

3.2. Procedimiento para obtener el espectro de diseño de respuesta

3.2.1. Curvas de peligro sísmico

Para el diseño de estructuras de ocupación esencial; es necesario utilizar diferentes niveles de peligro sísmico con el fin de verificar el cumplimiento de diferentes niveles de desempeño.

Mediante las curvas de peligro sísmico que se encuentran en la NEC-15, se obtuvo los espectros de respuesta para suelos tipo B, para sismos: frecuentes, ocasionales, raros y muy raros. Con el valor de la tasa anual de excedencia del sismo se ingresó a las curvas de peligro sísmico de las ciudades capitales y se obtuvo los valores de la aceleración en roca (PGA).

A continuación; en la Ilustración 27 e Ilustración 28. Se muestran las curvas de peligro sísmico para las ciudades de Guayaquil y Portoviejo, donde se ingresaron los valores de la tasa anual de excedencia, para los diferentes niveles de sismo y se obtuvo los valores de aceleración en roca, que se utilizaron para armar los espectros de respuesta de aceleración para dichas ciudades.

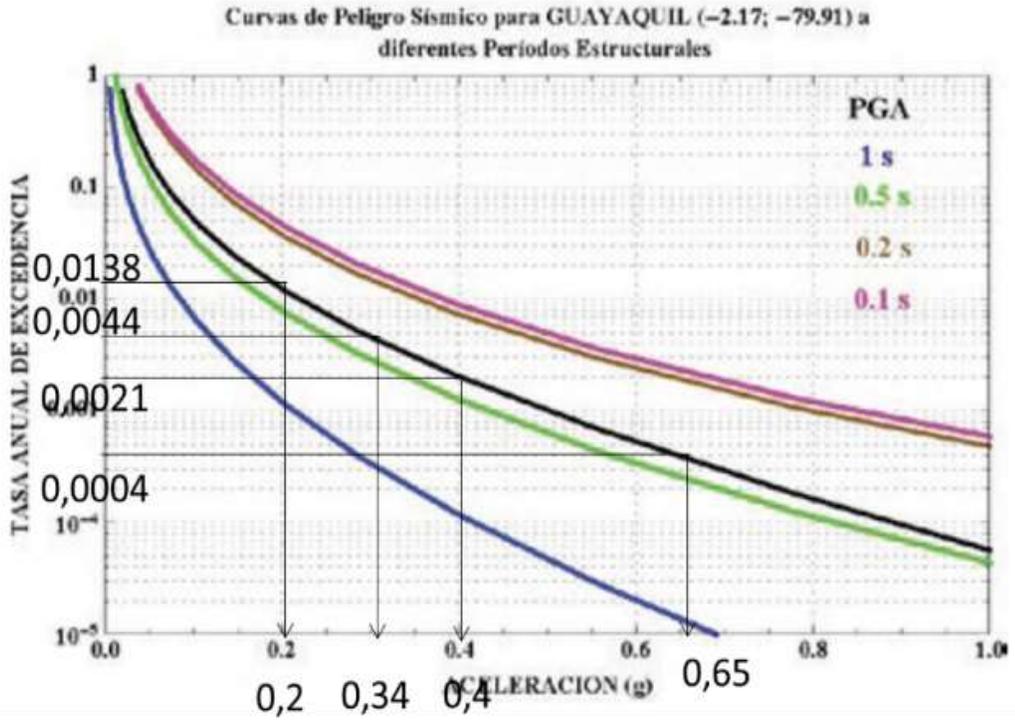


Ilustración 27. Curvas de peligro sísmico para la ciudad de Guayaquil (NEC, 2015, pág. 117)

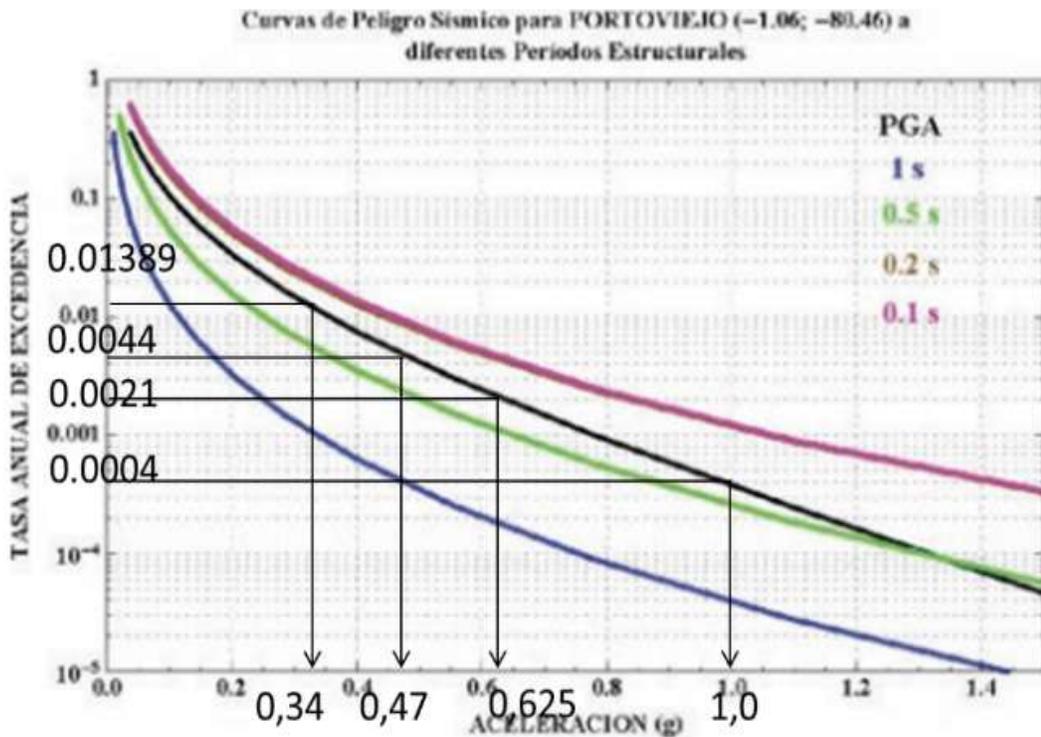


Ilustración 28. Curvas de peligro sísmico para la ciudad de Portoviejo Fuente: (NEC, 2015, pág. 115)

A continuación; en la Tabla 2. Se muestran los valores de las tazas anuales de excedencias utilizados para sismos: frecuentes, ocasionales, raros y muy raros.

Tabla 2. Niveles de amenaza sísmica

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno T_r (años)	Tasa anual de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro* (extremo)	2%	2 500	0.00040

Fuente: (NEC, 2015, pág. 41)

Una vez obtenidos los valores del PGA, se obtuvo los valores de aceleración para los periodos de 0.1 segundos, 0.2 segundos, 0.5 segundos y 1segundo; lo que nos permitió obtener los espectros de respuesta de aceleración en roca para las ciudades antes mencionadas.

3.2.2. Espectro elástico de diseño según NEC-15

Se obtuvo los valores de los coeficientes de amplificación F_a de la Tabla 3, F_d de la Tabla 4 y F_s de la Tabla 5. Estos valores dependen del tipo de suelo y del factor Z .

Tabla 3. Tipo de suelo y factores de sitio F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 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, 2015, pág. 31)

Tabla 4. Tipo de suelo y factores de sitio F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 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, 2015, pág. 31)

Tabla 5. Tipo de suelo y Factores de comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 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, 2015, pág. 32)

Una vez obtenidos los valores de los factores F_a , F_d y F_s ; se obtuvo el espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. Dicho espectro, obedece a un amortiguamiento del 5%, se lo obtuvo mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración T que pertenecen a los siguientes rangos:

- $S_a = ZF_a$, para $T=0$
- $S_a = \eta ZF_a$, para $0 \leq T \leq T_c$
- $S_a = \eta ZF_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$, para $T > T_c$

Donde:

- η : Razón entre la aceleración espectral S_a ($T= 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- r : Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.
- $r= 1$, para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.
- $r=1.5$, para tipo de suelo E.
- S_a : Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.
- T : Período fundamental de vibración de la estructura.
- Z : Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

(NEC, 2015, pág. 34)

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la Ilustración 29, que depende de: el factor de zona sísmica Z , el tipo de suelo del sitio donde se encuentra la estructura y de la consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s .

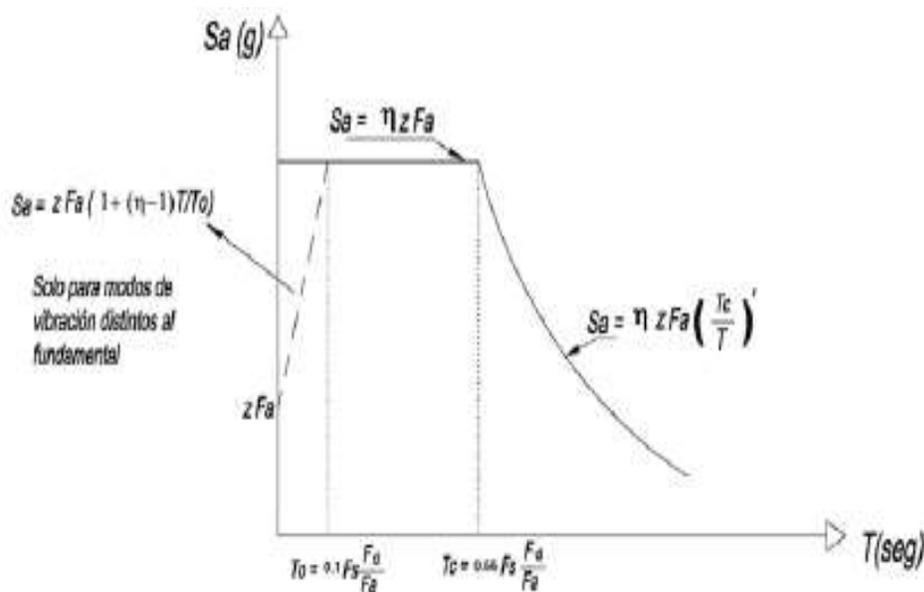


Ilustración 29. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Fuente: (NEC, 2015, pág. 33)

Los valores de la relación de amplificación espectral, η (S_a/Z , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, se muestran en la Ilustración 30:

- $\eta= 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta= 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta= 2.60$: Provincias del Oriente

Ilustración 30. Valores de η .
Fuente: (NEC, 2015, pág. 34)

Por último, se definieron los límites para el periodo de vibración con las siguientes expresiones, que se muestran, a continuación:

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$
$$T_l = 2.4 F_d$$

Donde:

- F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- F_d : coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- F_s : Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.
- T_c : es el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- T_l : es el período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamiento.

Fuente: (NEC, 2015, pág. 34)

3.3. Espectro de respuesta de sitio de aceleración y de desplazamiento

Para obtener los espectros de respuesta de aceleración y de desplazamiento, de sitio; para el sismo del 16 de abril de 2016, se lo realizó a partir de los datos de aceleración, que se obtuvieron de las estaciones de la REMAC. Para la ciudad de Guayaquil se utilizó la estación GYE1, para Portoviejo la estación APO1, para Manta la estación AMNT y para Bahía de Caráquez, se utilizó la estación de Portoviejo APO1, debido a su cercanía y similitud de los registros obtenidos en dichas ciudades.

3.4. Determinación del período de vibración T

Para determinar el período de vibración de cada estructura estudiada se utilizó el método 1, explicado en NEC-15. Con la expresión que se muestra a continuación:

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

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.

Fuente: (NEC, 2015, pág. 62)

De acuerdo al tipo de estructura que se analizó, se seleccionaron los factores C_t y α en la Tabla 6; que se muestra a continuación:

Tabla 6. Factores C_t y α para diferentes tipos de estructuras.

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

(NEC, 2015)

3.5. Determinación de las derivas inelásticas máximas de piso.

Para encontrar las derivas máximas de piso, de las edificaciones estudiadas. Se procedió de acuerdo a lo estipulado en la NEC-15, en la sección 6.3.9. La deriva máxima inelástica Δ_M para cada piso se calculó mediante la expresión que se muestra, a continuación:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E$$

Donde:

- Δ_M : Deriva máxima inelástica.
- Δ_E : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.
- R: Factor de reducción de resistencia.

Fuente: (NEC, 2015, pág. 69)

Para obtener el valor de Δ_E , se utilizó la expresión:

$$\Delta_E = \frac{Sd}{H}$$

Donde Sd es el desplazamiento real de la edificación que se lo obtuvo, ingresando en el gráfico del desplazamiento de la estructura en las abscisas con el valor del periodo (T) de la estructura y el punto que se obtuvo en las ordenadas, corresponde al valor de Sd. Por último; se dividió este valor para la altura de la edificación y se obtuvo Δ_E .

Según NEC-15, se debe verificar que:

$$\Delta_M < \Delta_{Mmax}$$

Δ_{Mmax} se determinó conforme a la sección 4.2.2 de NEC-15. A continuación; se muestran los valores de Δ_M max en la Tabla 7:

Tabla 7. Valores de Δ_M máx. expresados como fracción de la altura de piso

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

(NEC, 2015, pág. 40)

3.6. Determinación de los valores del factor de reducción efectivo de resistencia sísmica.

El factor de reducción efectivo de la respuesta elástica, se lo obtuvo comparando la relación entre el espectro de respuesta de norma definido para 475 años de período de

retorno y el espectro de respuesta de movimiento sísmico real, se ubicó los S_a de diseño y S_a del sismo para cada período de las edificaciones estudiadas.

Se dividió el valor S_a diseño que se obtuvo, para el valor de S_a sismo y se obtuvo el valor de R efectivo, este valor se comparó con los valores definidos en la NEC-15, dependiendo del caso estudiado. Los valores de R definidos en NEC-15, se muestran a continuación en la Tabla 8:

Tabla 8. Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Fuente: (NEC, 2015, pág. 65)

3.7. Desempeño sísmico de estructuras esenciales.

Para evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones esenciales estudiadas; se lo realizó en base a lo que indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en el capítulo de Peligro Sísmico, en la sección 4.3.4 literal c. Como se muestra en la Tabla 9:

Tabla 9. Niveles de desempeño sísmico para edificaciones esenciales.

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

Fuente: (NEC, 2015, pág. 42)

Capítulo IV

4. Selección de los edificios a estudiar y tipos de suelos

En el presente capítulo se muestra la selección de los edificios que se analizaron con sus respectivas características. Se muestra también el procedimiento utilizado para la obtención y clasificación de los tipos de suelos en los que se encuentran las diferentes edificaciones y las estaciones de medición sísmica que se utilizaron para el estudio en las ciudades de Portoviejo, Manta, Bahía de Caráquez y Guayaquil.

4.1. Selección de los edificios a estudiar.

La muestra de los edificios que se analizaron en el presente trabajo, consta de un total de 11 edificaciones esenciales que sufrieron daños en sismos ocurridos en Ecuador, desde 1980 hasta el 2016, ubicados en las ciudades de Guayaquil, Portoviejo, Manta y Bahía de Caráquez, en la Tabla 10 se muestra los edificios con sus respectivas características.

Tabla 10. Información de los edificios a estudiar.

Número	Edificios	Características	
1	Ex Cuartel de Bomberos	Provincia	Guayas
		Ciudad	Guayaquil
		Dirección	Av. Machala entre las calles Aguirre y Clemente Ballén.
		# de Pisos	2
2	II Zona Militar	Provincia	Guayas
		Ciudad	Guayaquil
		Dirección	Av. 9 de Octubre y Lorenzo de Garaicoa
		# de Pisos	3
3	Cuartel Modelo	Provincia	Guayas
		Ciudad	Guayaquil
		Dirección	Av. de las Américas en el centro-norte de la ciudad.
		# de Pisos	4
4	Jefatura Cuerpo de Bomberos	Provincia	Guayas
		Ciudad	Guayaquil
		Dirección	Av. 9 de Octubre entre Escobedo y Boyacá
		# de Pisos	5

Número	Edificios	Características	
5	Cuartel Cuerpo de Bomberos	Provincia	Manabí
		Ciudad	Portoviejo
		Dirección	Calle Córdova y Ricaurte
		# de Pisos	3
6	Unidad de Vigilancia Comunitaria	Provincia	Manabí
		Ciudad	Portoviejo
		Dirección	Av. José María Urbina
		# de Pisos	2
7	Comisión de Tránsito	Provincia	Manabí
		Ciudad	Portoviejo
		Dirección	Calle Medardo Cevallos y 15 de Abril
		# de Pisos	4
8	Capitanía del Puerto	Provincia	Manabí
		Ciudad	Manta
		Dirección	Av. Malecón
		# de Pisos	4
9	Unidad de Vigilancia Comunitaria	Provincia	Manabí
		Ciudad	Manta
		Dirección	Calle 304 entre AV. 113 y Av. 4 de Noviembre
		# de Pisos	4
10	Capitanía del Puerto	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Dirección	Malecón Alberto F. Santos
		# de Pisos	3
11	Cuartel de Bomberos	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Dirección	Malecón Alberto Santos
		# de Pisos	2

Fuente: (Autor)

4.2. Características de los edificios de la muestra.

4.2.1 Ex Cuartel de Bomberos

El edificio se encuentra ubicado en la avenida Machala entre las calles Aguirre y Clemente Ballén de la ciudad de Guayaquil, la edificación es de hormigón armado. En el año de 1980 la edificación funcionaba como Cuartel de Bomberos, hoy en día es de uso comercial. El edificio es de 2 pisos y tiene una altura de 9 metros, el sistema estructural correspondiente es pórticos resistentes a momentos. El Ex Cuartel de Bomberos quedo

semi-destruido, en el sismo del 18 de agosto de 1980 y tuvo que ser sometido a reparaciones.

4.2.2. Edificio II Zona Militar

El edificio ubicado en la Av. 9 de octubre y Lorenzo de Garaicoa de la ciudad de Guayaquil, es una edificación de hormigón armado, de uso militar, el edificio es 3 pisos y tiene una altura de 12 metros, el sistema estructural correspondiente es de pórticos resistentes a momento. El edificio de la II zona militar sufrió desprendimientos de adornos frontales; en el sismo del 18 de agosto de 1980.

4.2.3. Cuartel modelo

La Unidad de Vigilancia Comunitaria o mejor conocido como Cuartel Modelo, se encuentra ubicado en la avenida de las Américas de la ciudad de Guayaquil, es un edificio de Hormigón armado, de uso policial, cuenta con 4 pisos y tiene una altura de 14 metros, el sistema estructural correspondiente es de pórticos resistentes a momento. Los daños observados durante el sismo del 2016 fueron; daños no estructurales, fisuras y grietas en las paredes, vidrios rotos y desprendimiento del concreto.

4.2.4. Jefatura del Cuerpo de Bomberos

La Jefatura del Cuerpo de Bomberos se encuentra ubicada en la Av. 9 de Octubre entre Escobedo y Boyacá de la ciudad de Guayaquil, la edificación es de hormigón armado, de uso de emergencias, cuenta con 5 pisos y tiene una altura de 20 metros, el sistema estructural correspondiente es pórticos resistentes a momento. Los daños observados durante el sismo del 2016 fueron; pequeñas grietas en todos los pisos.

4.2.5. Cuartel Cuerpo de Bomberos

La edificación se encuentra ubicada en la calle Córdova y Ricaurte de la Ciudad de Portoviejo, edificio de Hormigón armado, de uso de emergencia, cuenta con 3 pisos más terraza y tiene una altura de 11 metros, el sistema estructural correspondiente es de pórticos resistentes a momento. Los daños observados durante el sismo del 16 de abril de 2016 fueron; que el edificio sufrió daños no estructurales en mampostería, daños estructurales en columnas de la planta baja, se observó formación de rótulas plásticas en las columnas del primer bloque.

4.2.6. Unidad de Vigilancia Comunitaria

La Unidad de Vigilancia Comunitaria se encuentra ubicada en la Av. José María Urbina de la ciudad de Portoviejo, es un edificio de hormigón armado, de uso policial, la edificación cuenta con 2 pisos y tiene una altura total de 7 metros, el sistema estructural corresponde a pórticos resistentes a momento. Los daños que sufrió durante el sismo del 2016 fueron; algunos desmoronamientos en las paredes exteriores no estructurales.

4.2.7. Comisión de tránsito

El edificio de la Comisión de Tránsito se encontraba ubicada en la calle Medardo Cevallos y 15 de Abril de la ciudad de Portoviejo, la edificación era de hormigón armado, de uso policial, contaba con 4 pisos y su altura total era de 17.5 metros, el sistema estructural correspondía a pórticos resistentes a momento. La edificación sufrió severos daños durante el sismo del 2016; por lo que fue demolida.

4.2.8. Capitanía del puerto

El edificio de la capitanía del puerto ubicado en la Av. Malecón de la ciudad de Manta, es una edificación de hormigón armado, de uso naval, cuenta con 4 pisos y su altura total es de 14.5 metros, el sistema estructural correspondiente es pórticos resistentes a momentos. Los daños observados en el sismo del 2016 fueron; que las paredes del mezzanine II colapsaron y otras se averiaron.

4.2.9. Unidad de Vigilancia Comunitaria

El edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria ubicado en la calle 304 entre Av. 113 y Av. 4 de Noviembre en la ciudad de Manta, es una edificación de Acero, de uso policial, cuenta con 4 pisos y su altura total es de 16 metros, el sistema estructural correspondiente es de pórticos resistentes a momento. Los daños observados durante el sismo del 2016 fueron daños extensivos en la mampostería de la planta baja.

4.2.10. Capitanía del Puerto

El edificio de la Capitanía del Puerto ubicado en el malecón Alberto Santos de la ciudad de Bahía de Caráquez, es un edificio de hormigón armado, de uso naval, cuenta con 3 pisos y su altura total es de 12 metros, el sistema estructural correspondiente es de pórticos resistentes a momento. Los daños observados en el sismo del 2016 fueron; asentamiento diferencial y agrietamiento de la losa de entrepiso.

4.2.11. Cuartel de Bomberos

El edificio del Cuartel de Bomberos ubicado en el malecón Alberto Santos de la ciudad de Bahía de Caráquez, es un edificio de hormigón armado, de uso de emergencias, cuenta con 2 pisos y tiene una altura total de 8 metros, el sistema estructural correspondiente es de pórticos resistentes a momento. Los daños observados durante el sismo del 2016 fueron; algunas paredes cuarteadas y otras colapsaron.

4.3. Determinación del tipo de suelo de las estructuras

4.3.1. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico NEC-15

Según la clasificación de tipos de perfiles de suelo que se encuentra en NEC-15, en la sección 3.2. Se definen seis tipos de perfil de suelos; perfiles tipo A, B, C, D, E y F, los cuales se presentan en la Tabla 11:

Tabla 11. Clasificación de los perfiles de suelos

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelo rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones.	$50 > N \geq 15$ 100 KPa $> S_u \geq 50$ KPa
E	Perfil que cumple el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas.	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50$ KPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5$ m con índice de plasticidad $IP > 75$).	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 30$ m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidad de onda de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: (NEC, 2015)

4.3.2. Determinación tipos de suelo

Para determinar el tipo de suelo donde se encuentran ubicadas las estructuras estudiadas se utilizó un mapa de caracterización de suelos mediante ondas de corte; dependiendo del sector donde se ubican las estructuras, varía el valor de las ondas de corte. Una vez conocido el valor de V_s , se procede a clasificar el tipo de suelo según NEC-15 en suelo tipo A, B, C, D, E y Tipo F. Este estudio fue realizado por la Escuela Superior Politécnica Militar, para las ciudades de Portoviejo, Manta y Bahía de Caráquez.

4.3.3. Tipos de suelos edificaciones de Portoviejo

En el mapa de caracterización de suelo mediante ondas de corte $V_s 30$, para la ciudad de Portoviejo; se ubicó las edificaciones que se encuentran en esta ciudad como: la Unidad de Vigilancia Comunitaria, el cuartel del Cuerpo de Bomberos y el edificio de la Comisión de Tránsito; se obtuvo el valor de la velocidad de ondas de corte para cada edificación; como se muestra en la Ilustración 31:

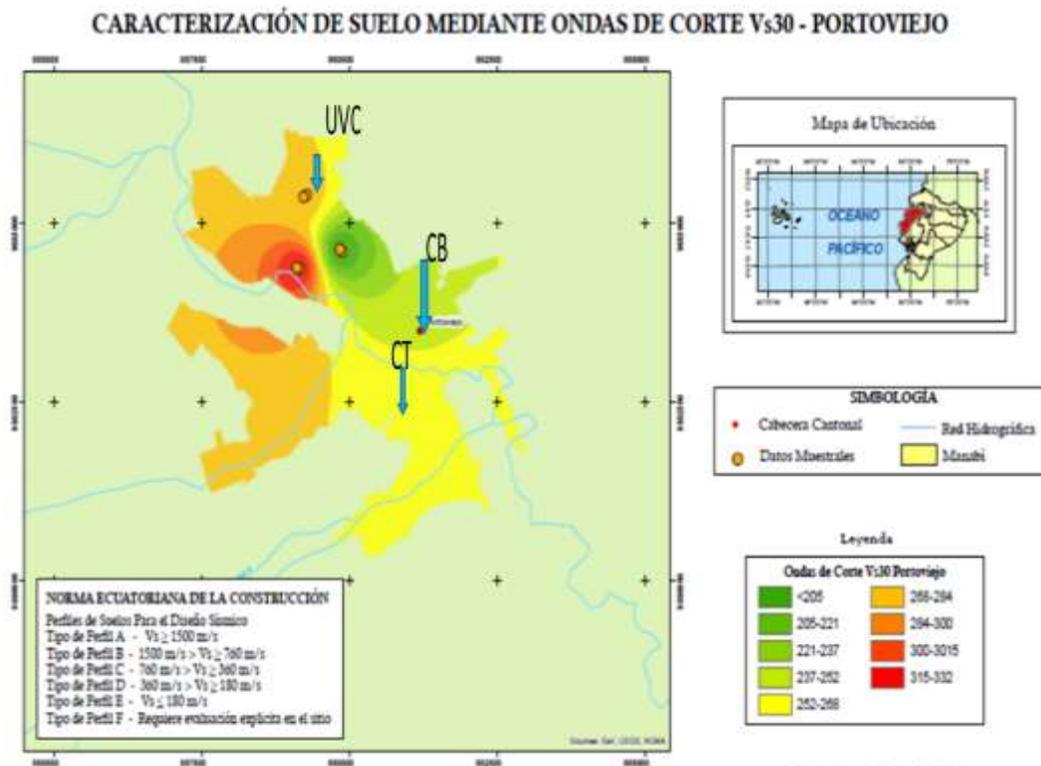


Ilustración 31. Caracterización de suelos mediante ondas de corte V_s30 -Portoviejo
Fuente: (Bonifaz & Haro, 2018)

Según la caracterización de suelos mediante ondas de corte V_s30 , de la ciudad de Portoviejo, elaborado por la Escuela Superior Politécnica del Ejército; los edificios del

Cuerpo de Bomberos, la Unidad de Vigilancia Comunitaria y la Comisión de Tránsito, se encuentran sobre un suelo tipo D; según los valores que se obtuvieron de la velocidad de onda Vs 30. Como se muestra en la Tabla 12:

Tabla 12. Tipo de suelo de las edificaciones en Portoviejo

Edificación	Velocidad de onda Vs	Tipo de suelo según NEC-15
Cuerpo de bomberos	237-252	D
UVC	268-284	D
Comisión de tránsito	252-268	D

Fuente: (Autor)

4.3.4. Tipos de suelos edificaciones en Manta

En el mapa de caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs 30, para la ciudad de Manta; se ubicó las edificaciones que se encuentran en esta ciudad como: la Unidad de Vigilancia Comunitaria y el edificio de la Capitanía del Puerto; se obtuvo el valor de la velocidad de ondas de corte para cada edificación; como se muestra en la Ilustración 32:

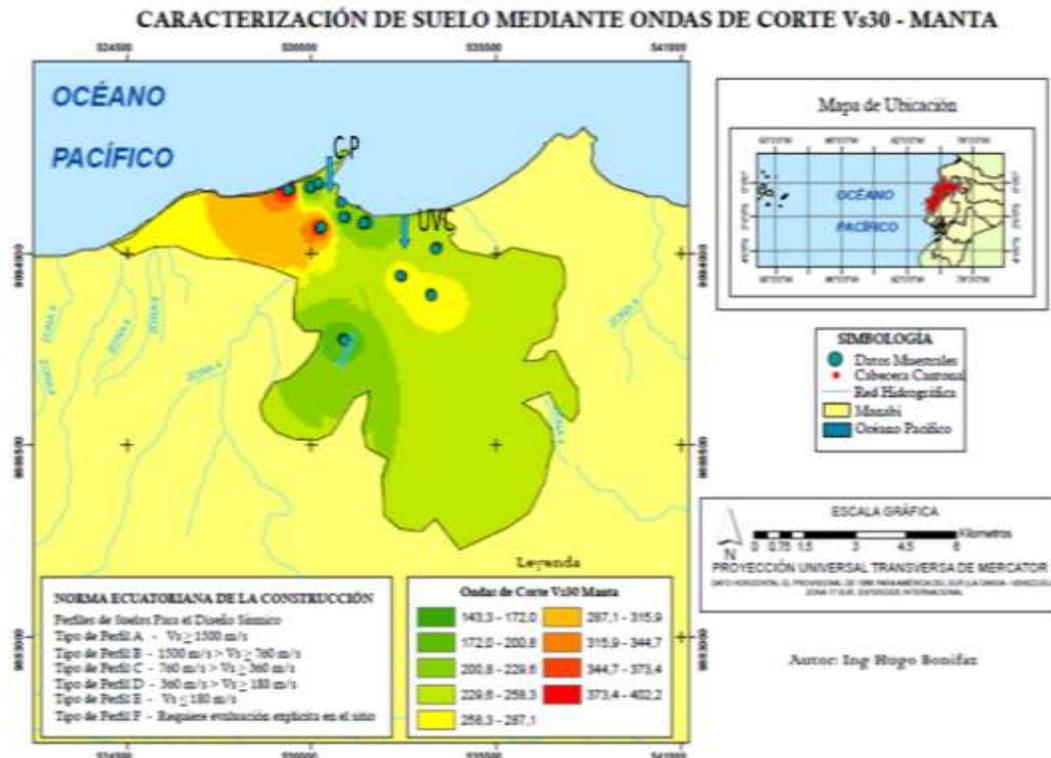


Ilustración 32. Caracterización de suelos mediante ondas de corte Vs30-Manta

Fuente: (Bonifaz & Haro, 2018)

Según la caracterización de suelos mediante ondas de corte Vs30, de la ciudad de Manta, elaborado por la Escuela Superior Politécnica del Ejercito; los edificios de la Capitanía del Puerto y la Unidad de Vigilancia Comunitaria, se encuentran sobre un suelo tipo D; según los valores que se obtuvieron de la velocidad de onda Vs30. Como se muestra en la Tabla 13:

Tabla 13. Tipo de suelo de las edificaciones en Manta

Edificación	Velocidad de onda Vs (m/s)	Tipo de suelo según NEC-15
Capitanía del Puerto	229,6-258,3	D
Unidad de vigilancia Comunitaria	229,6-258,3	D

Fuente: (Autor)

4.3.5. Tipos de suelos edificaciones en Bahía de Caráquez

En el mapa de caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs 30, para la ciudad de Bahía de Caráquez; se ubicó las edificaciones que se encuentran en esta ciudad como: el cuartel del Cuerpo de Bomberos y el edificio de la Capitanía del Puerto; se obtuvo el valor de la velocidad de ondas de corte para cada edificación; como se muestra en la Ilustración 33:

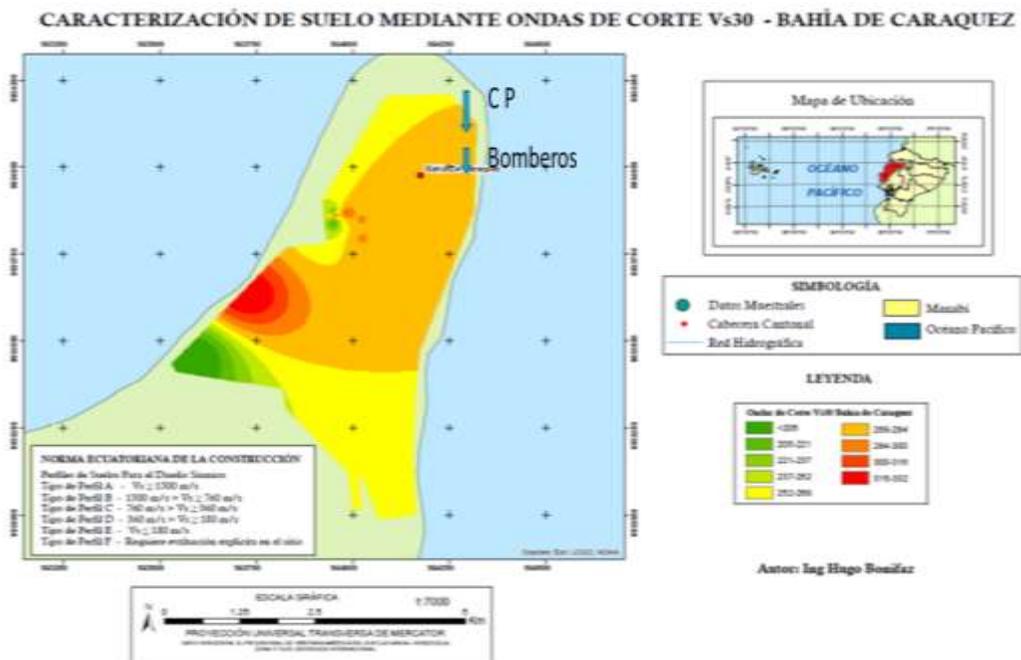


Ilustración 33. Caracterización de suelos mediante ondas de corte Vs30-Bahía de Caráquez

Fuente: (Bonifaz & Haro, 2018)

Según la caracterización de suelos mediante ondas de corte Vs30, de la ciudad de Bahía de Caráquez, elaborado por la Escuela Superior Politécnica del Ejercito; los edificios de la Capitanía del Puerto y el Cuartel del Cuerpo de Bomberos, se encuentran sobre un suelo tipo D; según los valores que se obtuvieron de la velocidad de onda Vs30. Como se muestra en la Tabla 14:

Tabla 14. Tipo de suelo de las edificaciones en Bahía de Caráquez

Edificación	Velocidad de onda Vs (m/s)	Tipo de suelo según NEC-15
Capitanía del Puerto	268-284	D
Cuerpo de Bomberos	268-284	D

Fuente: (Autor)

4.3.6. Suelos Guayaquil

Para determinar el tipo de suelo de las estructuras estudiadas en la ciudad de Guayaquil; se utilizó el mapa geológico actualizado de la ciudad de Guayaquil, realizado por GEO ESTUDIOS. Donde se ubicó las edificaciones y luego con la tabla de caracterización geotécnica de los materiales en función de las Vs, se encontró las velocidades de onda y así poder comparar con la clasificación de suelos de NEC-15. Como se muestra en la Ilustración 35:



Ilustración 34. Leyenda del mapa de zonificación geotécnica de Guayaquil (Geo Estudios, 2005-2006)

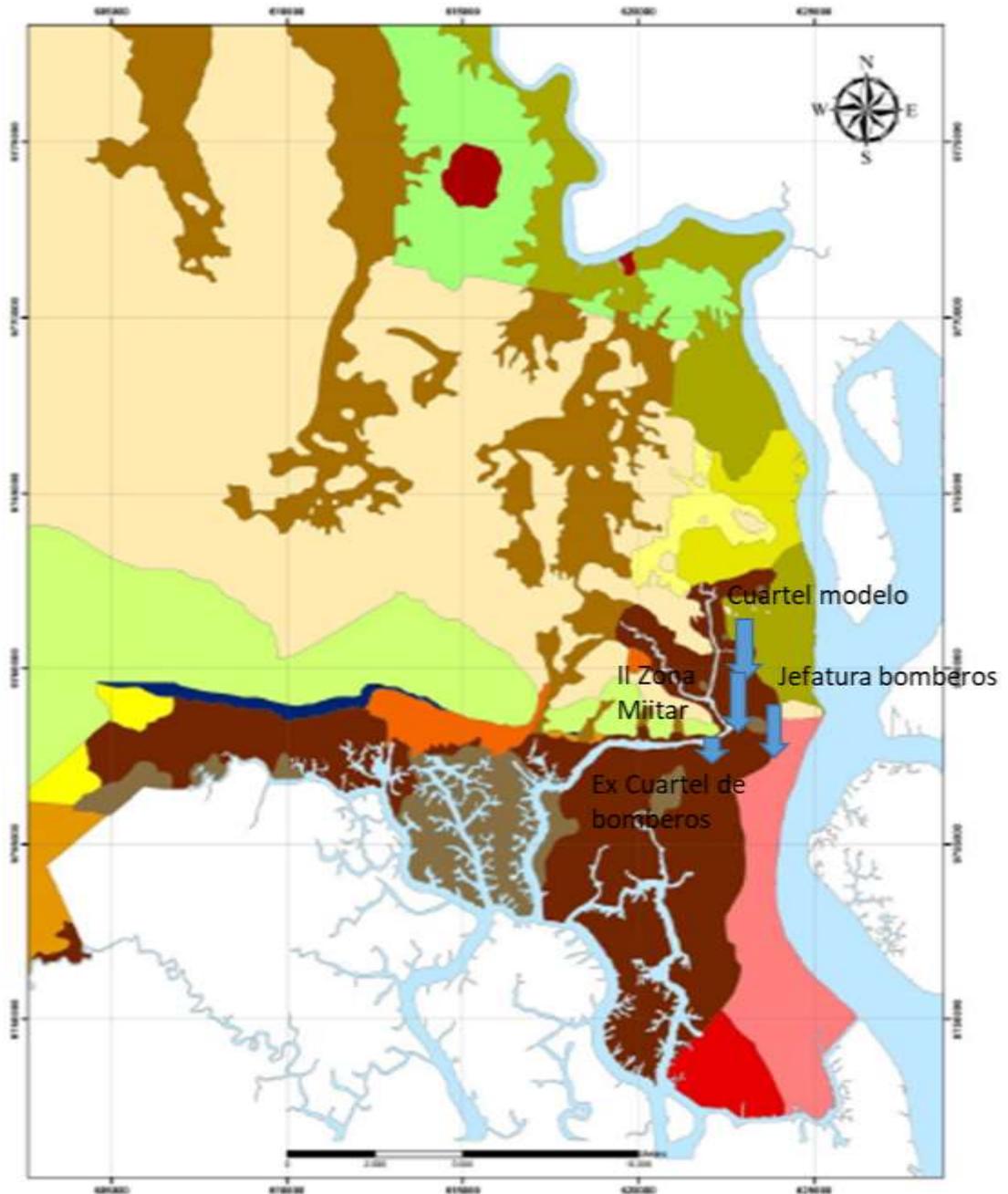


Ilustración 35. Mapa de zonificación geotécnica de Guayaquil (Geo Estudios, 2005-2006)

Del mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de Guayaquil se obtuvo que; las edificaciones: Cuartel Modelo, II Zona Militar y el EX Cuartel de Bomberos se encuentran en la zona D3A, correspondiente a una arcilla de coloración gris verdosa y la Jefatura de Bomberos se encuentra en la zona D1, correspondiente a una arcilla; según el manual práctico para la caracterización geológica, geotécnica y sísmica de la ciudad de Guayaquil. Como se muestra en la Tabla 15:

Tabla 15. Clasificación de los suelos en Guayaquil

Zona	Tipo de suelo
D3A Depósito Deltaico-Estuarino (Oeste-Norte-Trinitaria)	Arcilla de coloración gris verdosa
D1 Depósito Deltaico-Estuarino (Este-Centro)	Arcilla

(Geo Estudios, 2005-2006)

Los suelos sobre los que se encuentran las edificaciones estudiadas en la ciudad de Guayaquil se clasificaron como arcilla; según la caracterización geotécnica de los materiales en función de las Vs (velocidad de onda de corte), se obtuvo que estos suelos corresponden a suelos blandos, con velocidades de onda Vs= 130-180 m/s. Como se muestra en la Tabla 16:

Tabla 16. Caracterización Geotécnica de los materiales en función de las Vs

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		

Fuente: (Geo Estudios, 2011)

4.3.7. Clasificación del tipo suelos de los edificios en Guayaquil según NEC-15

Una vez obtenidos los valores de la velocidad de onda de corte Vs; se los comparó con la clasificación de tipos de suelos según la NEC-15; en la Tabla 14 y se obtuvo que los suelos para las edificaciones estudiadas, se encuentran sobre un suelo tipo E. Como se muestra en la Tabla 17:

Tabla 17. Tipo de suelo de las Edificaciones en Guayaquil

Edificación	Velocidad de onda Vs (m/seg)	Tipo de suelo según NEC-15
Cuartel Modelo	130-180	E
Edificio II Zona Militar	130-180	E
Ex cuartel de Bomberos	130-180	E
Jefatura Cuerpo de Bomberos	130-180	E

Fuente: (Autor)

4.4. Red de acelerógrafos en el Ecuador.

El Ecuador cuenta con una red permanente de acelerómetros RENAC, ubicados en puntos estratégicos del territorio nacional, permitiendo llevar a cabo el registro de las señales sísmicas de mayor impacto y destrucción (IG-EPN, 2019). La distribución de dichos acelerómetros; se muestra en la Ilustración 36:



Ilustración 36. Distribución de equipos acelerográficos en el Ecuador.
Fuente: (IG-EPN, 2019)

4.4.1. Ubicación de las diferentes estaciones

A continuación; en la Tabla 18, se muestra la ubicación de las diferentes estaciones con sus respectivas coordenadas, se indicó el tipo de instrumento y el valor de la velocidad de onda Vs30 en m/seg.; lo que permitió obtener el tipo de suelo sobre el cual se encontraban ubicadas las estaciones y su valor de aceleración medida en roca (PGA) para las componentes este-oeste, norte-sur y componente vertical. Obtenido del informe realizado por el GEER.

Tabla 18. Estaciones de acelerómetros en Ecuador propiedad de RENAC (mantenidas por IG-EPN)

Estación	Ciudad	Coordenadas geográficas		Tipo	Vs30 (m/s)	PGA (g)		
		Latitud	Longitud			EO	NS	Vertical
APO1	Portoviejo	-1.038	-80.460	Reftek	224	0.318	0.380	0.104
AMNT	Manta	-0.941	-80.735	Guralp	496	0.405	0.524	0.165
AGYE	Guayaquil	-2.054	-79.952	Guralp	1800	0.019	0.023	0.015
GYE1	Guayaquil	-2.251	-79.910	Reftek	178	0.059	0.070	0.020
GYE2	Guayaquil	-2.199	-79.899	Reftek	101	0.094	0.097	0.038

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

4.4.2. Tipo de suelo de las estaciones de Manta y Portoviejo.

A continuación; en la Tabla 19, se obtuvieron los tipos de suelo de las estaciones, según la clasificación de suelos de la NEC-15; para las estaciones de las ciudades de Pedernales, Manta y Portoviejo; que son algunas de las ciudades de interés para el estudio realizado. Información extraída del informe realizado por el GEER.

Tabla 19. Tipo de suelo de las estaciones acelerométricas.

Estación	Z	Tipo de Suelo	Vs30 (m/seg)	η	r	Fa	Fd	Fs
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

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

4.4.3. Red de acelerógrafos en Guayaquil.

En la ciudad de Guayaquil existen 3 estaciones, las cuales son las encargadas de realizar los registros de los diferentes eventos sísmicos en la urbe. A continuación; se muestra la Ilustración 37. Donde se detalla un mapa con los sectores donde se encuentran ubicadas dichas estaciones. Información extraída del proyecto RADIUS.

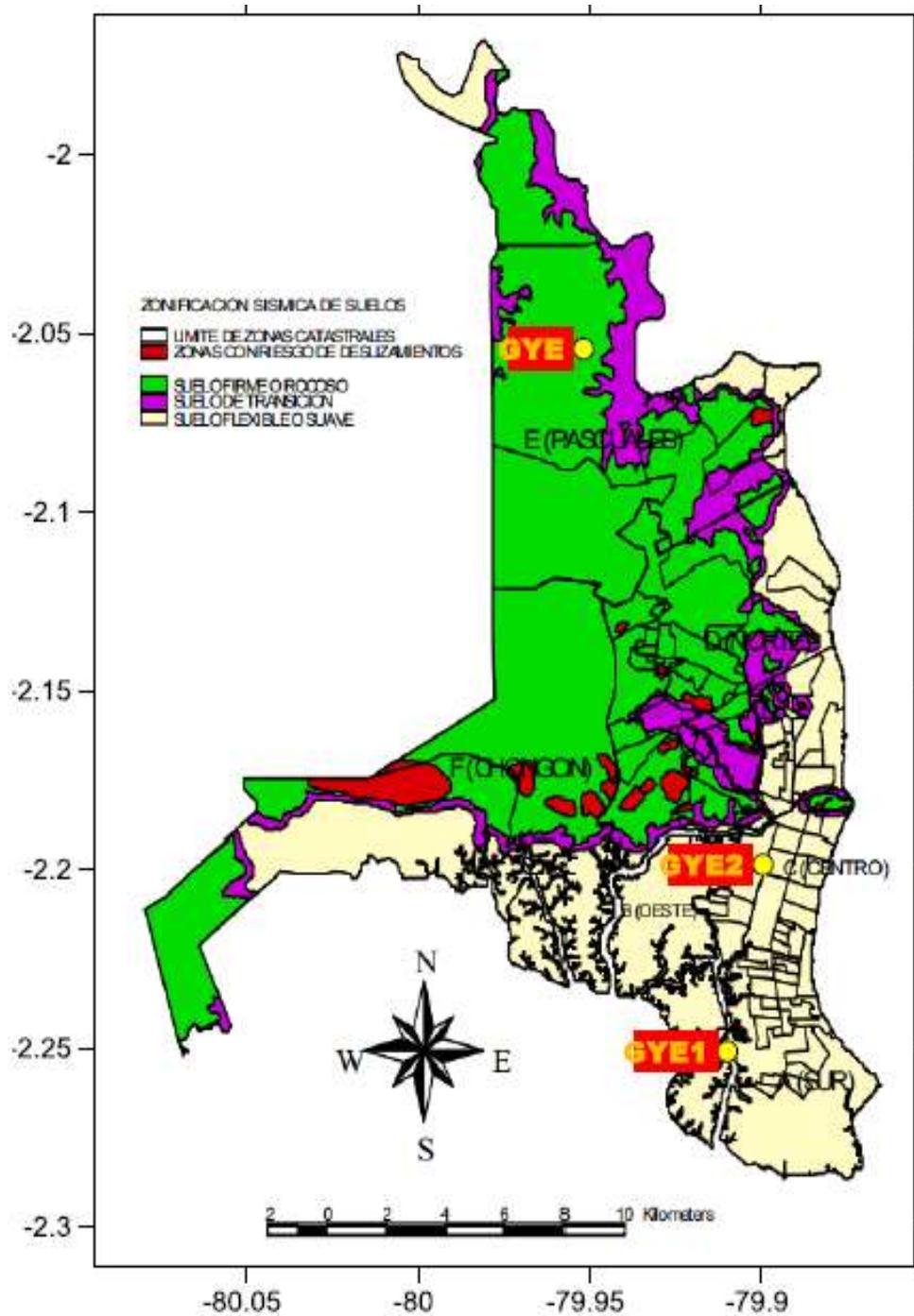


Ilustración 37. . Distribución espacial de las estaciones de la RENAC en Guayaquil. Se muestra el tipo de suelo en donde se ubica cada sensor.

Fuente: (Proyecto Radius, 1999)

4.4.4. Tipo de suelo de las estaciones en Guayaquil

DE acuerdo con la información obtenida del proyecto RADIUS y de los análisis preliminares realizados por el IG-EPN, la estación GYE se encuentra ubicada sobre un

suelo denominado “Firme o Rocoso”; mientras que las estaciones GYE1 y GYE2, se encuentran sobre un suelo denominado “Flexible o Suave”.

Se logró clasificar el tipo de suelo de las estaciones de la Ciudad de Guayaquil según la Clasificación de tipos de suelos según NEC-15, se utilizó la tabla de caracterización geotécnica de los materiales en función de las Velocidades de onda de corte, elaborada por GEO ESTUDIOS. Se obtuvo que para la estación GYE las velocidades de onda de corte fueron de $V_s = 360-610$ m/s y la para las estaciones GYE1 y GYE2; las velocidades de onda de corte fueron $V_s = 130-180$ m/s. Como se muestra en la Tabla 20:

Tabla 20. Caracterización Geotécnica de los materiales en función de las V_s .

Caracterización geotécnica	V_s 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		

Fuente: (Geo Estudios, 2011)

Con los valores de velocidad de onda de corte que se obtuvieron; se comparó con la clasificación de tipos de suelo de NEC-15 y se obtuvo que la estación GYE, se encontraba sobre un suelo tipo B y que las estaciones GYE1 y GYE2, se encontraban sobre un suelo tipo E. Como se muestra en la Tabla 21:

Tabla 21. Tipo de suelo de las estaciones en Guayaquil según NEC-15

Estación	Caracterización geotécnica	V_s (m/seg)	Tipo de Suelo Según NEC-15
GYE	Semiroca	360-610	B
GYE1	Suelo blando	130-180	E
GYE2	Suelo blando	130-180	F

Fuente: (Autor)

Capítulo V

5. Memoria de cálculo

5.1. Espectros de respuesta por curvas de peligro sísmico para ciudades capitales suelo tipo B Guayaquil

5.1.1. Sismo frecuente

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Guayaquil, para un sismo frecuente; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 22:

Tabla 22. Espectro de respuesta para sismo frecuente, Guayaquil suelo tipo B

SISMO FRECUENTE	
Sa	Aceleración (g)
PGA	0.2
1	0.075
0.5	0.16
0.2	0.325
0.1	0.35

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 22; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo frecuente, en la ciudad de Guayaquil. Como se muestra en la Ilustración 38:

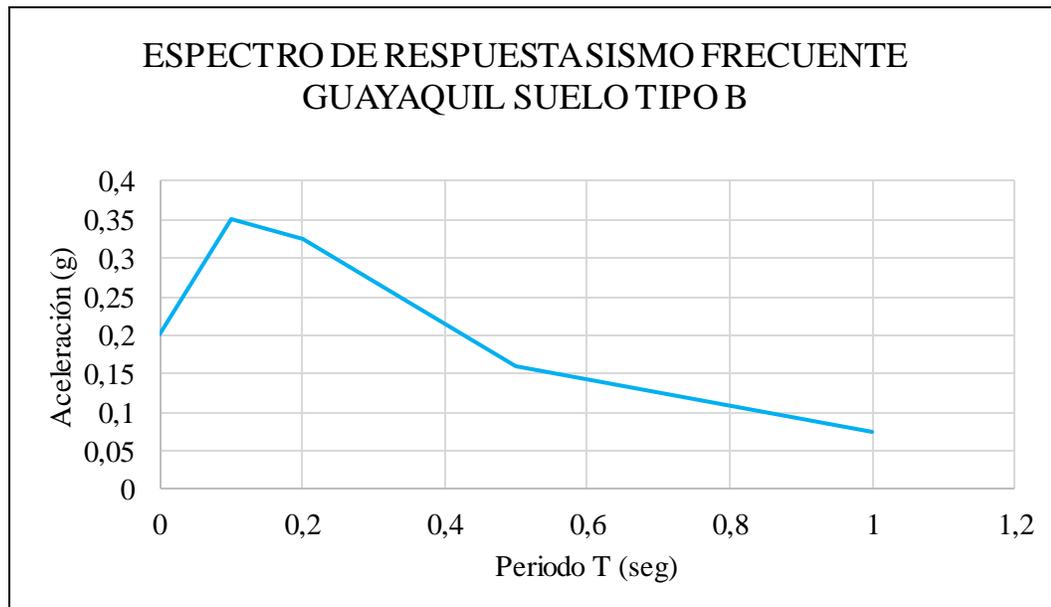


Ilustración 38. Espectro de respuesta sismo frecuente, Guayaquil suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.1.2. Sismo ocasional

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Guayaquil, para un sismo ocasional; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 23:

Tabla 23. Espectro de respuesta para sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo B

SISMO OCASIONAL	
Sa	Aceleración (g)
PGA	0,34
1	0,14
0.5	0,28
0.2	0,53
0.1	0,57

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 23; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo ocasional, en la ciudad de Guayaquil. Como se muestra en la Ilustración 39:



Ilustración 39. Espectro de respuesta para sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.1.3. Sismo Raro

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Guayaquil, para un sismo raro; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 24:

Tabla 24. Espectro de respuesta para sismo raro, Guayaquil suelo tipo B

SISMO RARO	
Sa	Aceleración (g)
PGA	0,4
1	0,19
0.5	0,36
0.2	0,71
0.1	0,72

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 24; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo raro, en la ciudad de Guayaquil. Como se muestra en la Ilustración 40:

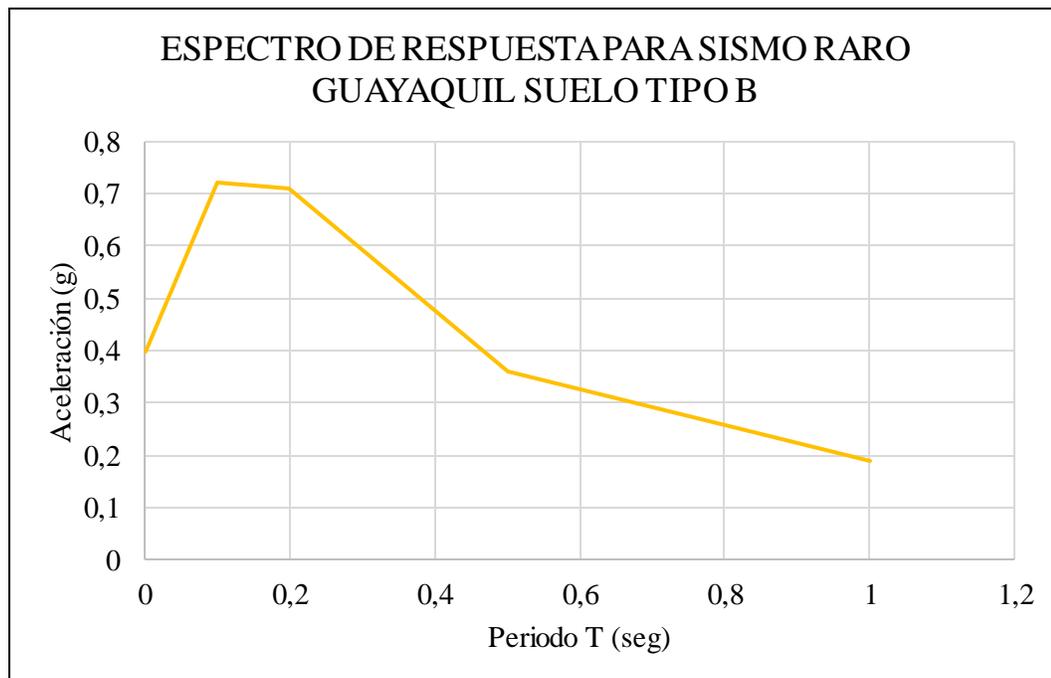


Ilustración 40. Espectro de respuesta para sismo raro, Guayaquil suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.1.4. Sismo muy raro

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Guayaquil, para un sismo muy raro; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 25:

Tabla 25. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Guayaquil suelo tipo B

SISMO MUY RARO	
Sa	Aceleración (g)
PGA	0,65
1	0,29
0.5	0,56
0.2	1
0.1	1

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 25; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo muy raro, en la ciudad de Guayaquil. Como se muestra en la Ilustración 41:



Ilustración 41. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Guayaquil suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.1.5. Espectros de respuesta curva de peligro sísmico Guayaquil suelos tipo B

En la Ilustración 42; se muestran los espectros de respuesta obtenidos, para sismo: frecuente, ocasional, raro y muy raro, de la ciudad de Guayaquil.

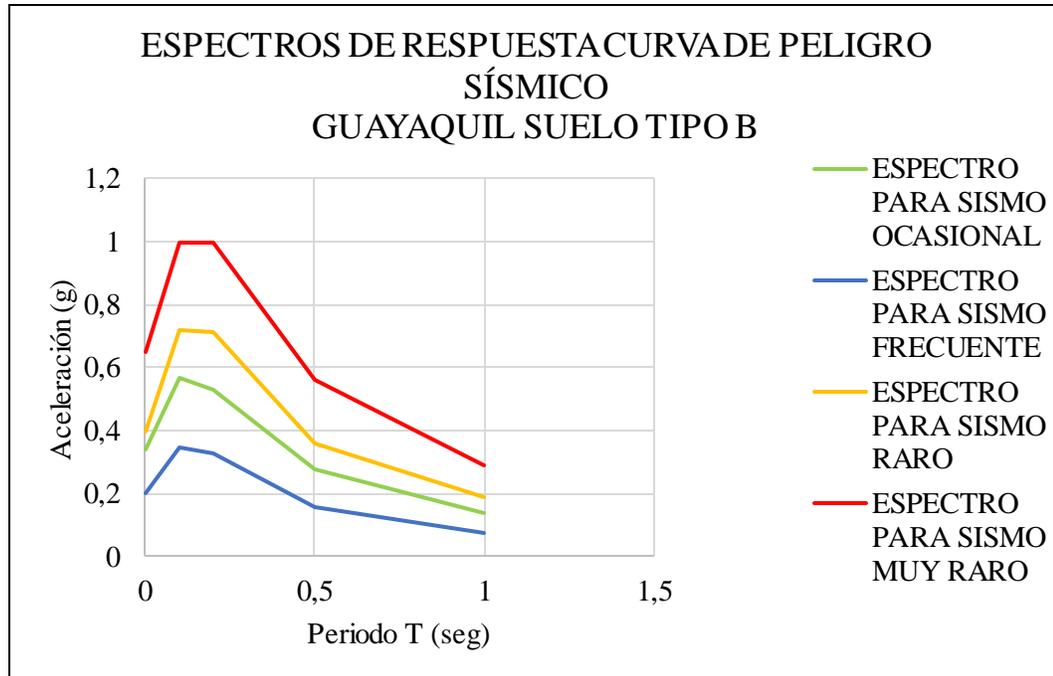


Ilustración 42. Espectros de respuesta curva de peligro sísmico, Guayaquil suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.2. Espectros de respuesta por curvas de peligro sísmico para ciudades capitales suelos tipo B Portoviejo

5.2.1. Sismo frecuente

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Portoviejo, para un sismo frecuente; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 26:

Tabla 26. Espectro de respuesta para sismo frecuente, Portoviejo suelo tipo B

SISMO FRECUENTE	
Sa	Aceleración (g)
PGA	0,34
1	0,1
0,5	0,2
0,2	0,36
0,1	0.38

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 26; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo frecuente, en la ciudad de Portoviejo. Como se muestra en la Ilustración 43:



Ilustración 43. Espectro de respuesta para sismo frecuente, Portoviejo suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.2.2. Sismo ocasional

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Portoviejo, para un sismo ocasional; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 27:

Tabla 27. Espectro de respuesta para sismo ocasional, Portoviejo suelo tipo B

SISMO OCASIONAL	
Sa	Aceleración (g)
PGA	0,47
1	0,2
0,5	0,4
0,2	0,7
0,1	0,71

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 27; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo ocasional, en la ciudad de Portoviejo. Como se muestra en la Ilustración 44:



Ilustración 44. Espectro de respuesta sismo ocasional, Portoviejo suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.2.3. Sismo raro

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Portoviejo, para un sismo raro; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 28:

Tabla 28. Espectro de respuesta para sismo raro, Portoviejo suelo tipo B

SISMO RARO	
Sa	Aceleración (g)
PGA	0,625
1	0,24
0,5	0,48
0,2	0,8
0,1	0,81

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 28; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo raro, en la ciudad de Portoviejo. Como se muestra en la Ilustración 45:

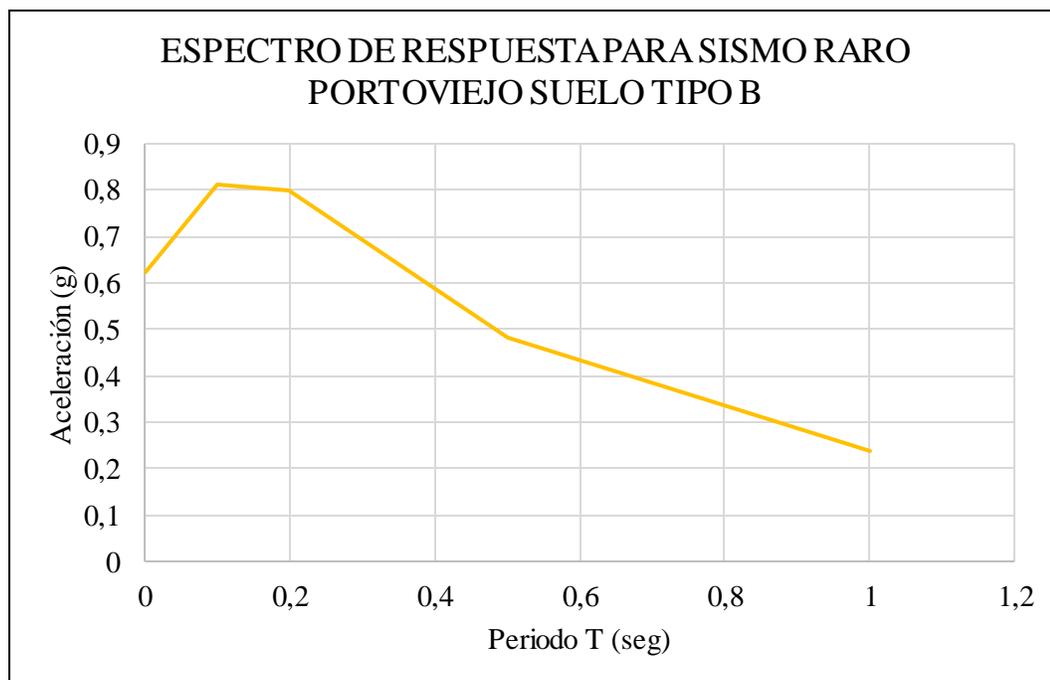


Ilustración 45. Espectro de respuesta para sismo raro, Portoviejo suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.2.4. Sismo muy raro

A partir de las curvas de peligro sísmico, de la ciudad de Portoviejo, para un sismo muy raro; se obtuvo el valor de aceleración en roca (PGA), junto con los valores de aceleración para los periodos en segundos: $T=0.1$, $T=0.2$, $T=0.5$ y $T=1$. Como se muestra en la Tabla 29:

Tabla 29. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Portoviejo suelo tipo B

SISMO MUY RARO	
Sa	Aceleración (g)
PGA	1
1	0,48
0,5	0,91
0,2	1,5
0,1	1,5

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 29; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo muy raro, en la ciudad de Portoviejo. Como se muestra en la Ilustración 46:

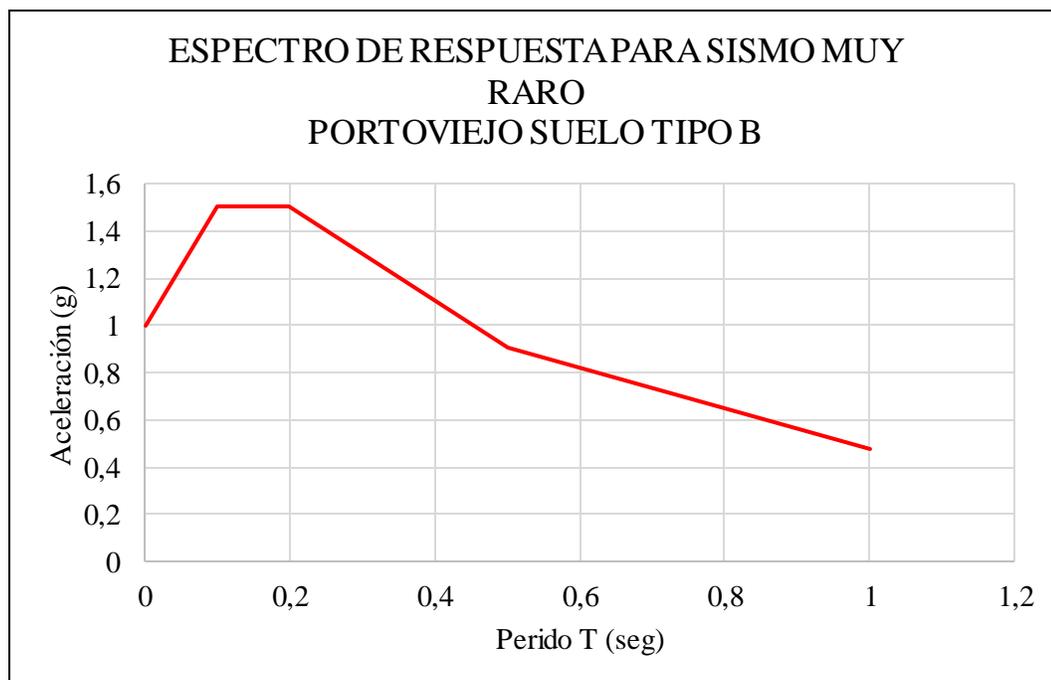


Ilustración 46. Espectro de respuesta para sismo muy raro, Portoviejo suelo tipo B

Fuente: (Autor)

5.2.5. Espectros de respuesta por curva de peligro sísmico Portoviejo para suelos tipo B

En la Ilustración 47; se muestran los espectros de respuesta obtenidos, para sismo: frecuente, ocasional, raro y muy raro, de la ciudad de Portoviejo.

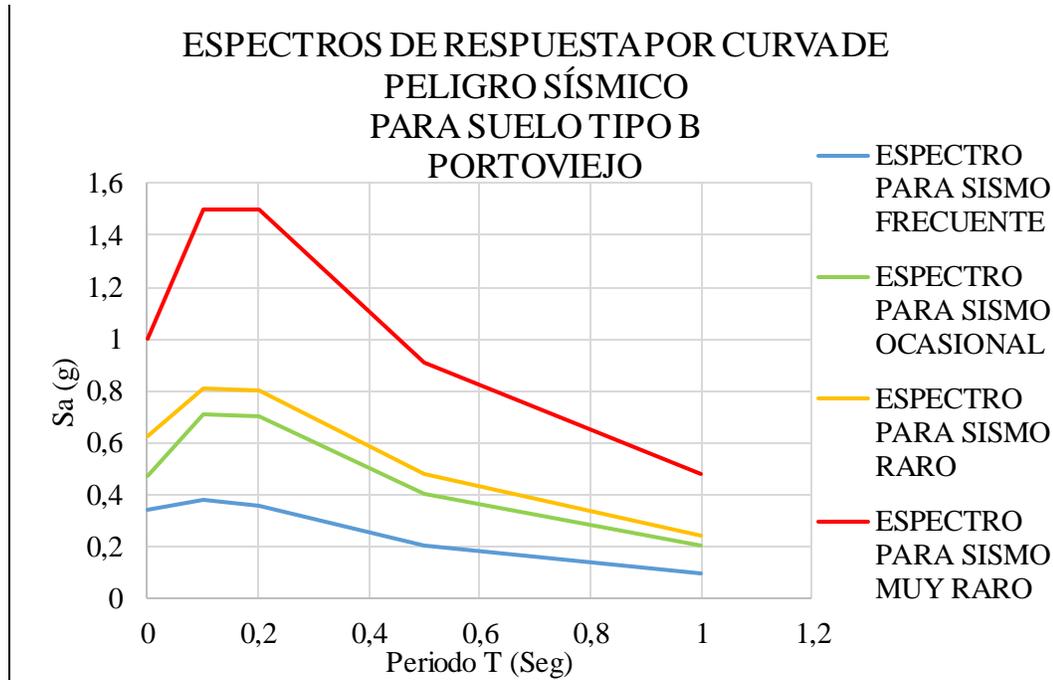


Ilustración 47. Espectros de respuesta curva de peligro sísmico, Portoviejo suelo tipo B
Fuente: (Autor)

5.3. Espectros de respuesta de diseño NEC-15, para suelo tipo E Guayaquil

5.3.1. Sismo Frecuente

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo frecuente en la ciudad de Guayaquil, sobre suelo tipo E. Se muestran a continuación en la Tabla 30:

Tabla 30. Espectro de respuesta de diseño sismo frecuente, Guayaquil suelo tipo E

SUELO TIPO E	
Z	0,20
$\eta Z F_a$	0,58
T_o	0,19
T_c	1,03
T_l	4,62

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 30; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo frecuente, en la ciudad de Guayaquil para suelo tipo E. Como se muestra en la Ilustración 48:

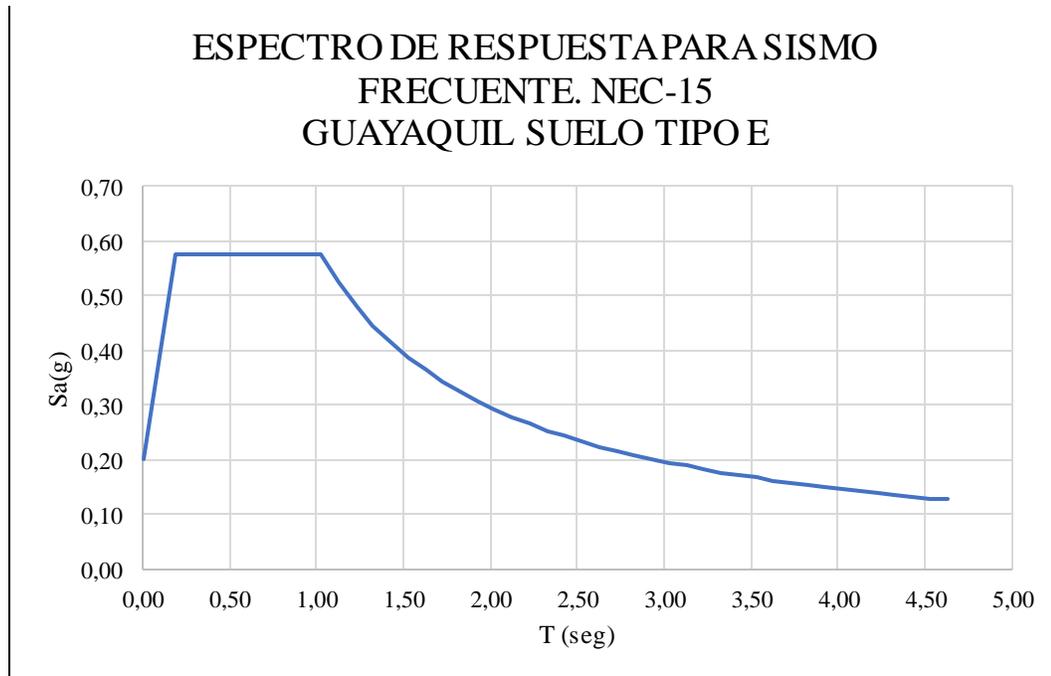


Ilustración 48. Espectro de respuesta de diseño sismo frecuente Guayaquil suelo tipo E

Fuente: (Autor)

5.3.2. Sismo Ocasional

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo ocasional en la ciudad de Guayaquil, sobre suelo tipo E. Se muestran a continuación en la Tabla 31:

Tabla 31. Espectro de respuesta de diseño sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo E

SUELO TIPO E	
Z	0,34
$\eta Z F_a$	0,69
T_o	0,26
T_c	1,44
T_l	3,98

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 31; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo ocasional, en la ciudad de Guayaquil para suelo tipo E. Como se muestra en la Ilustración 49:

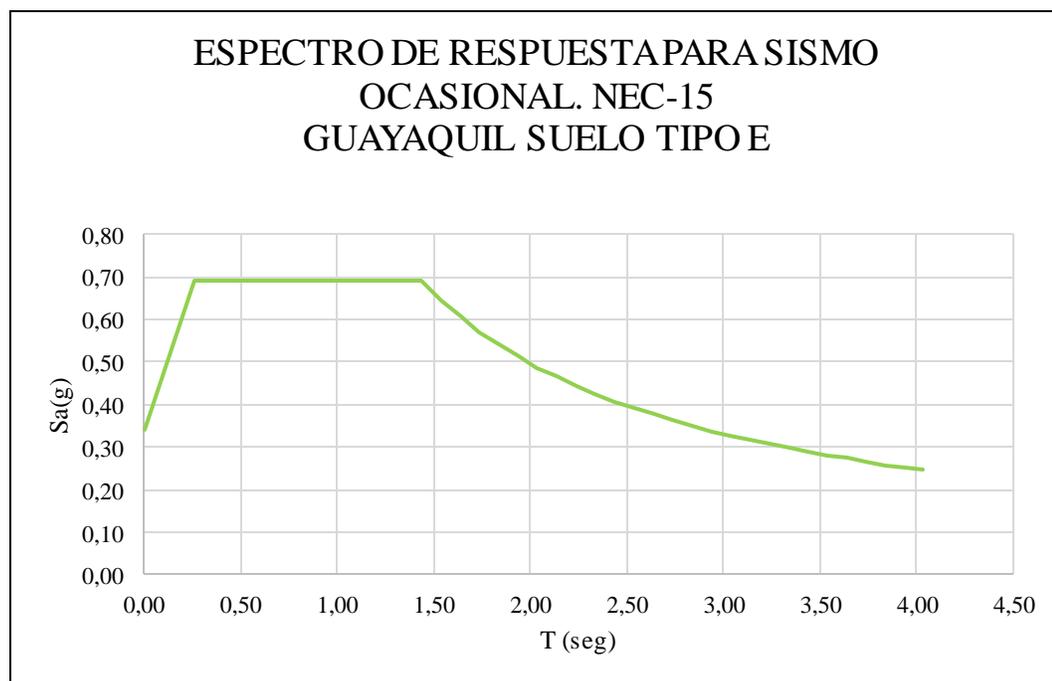


Ilustración 49. Espectro de respuesta de diseño sismo ocasional, Guayaquil suelo tipo E

Fuente: (Autor)

5.3.3. Sismo Raro

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo raro en la ciudad de Guayaquil, sobre suelo tipo E. Se muestran a continuación en la Tabla 32:

Tabla 32. Espectro de respuesta de diseño sismo raro, Guayaquil suelo tipo E

SUELO TIPO E	
Z	0,4
$\eta Z F_a$	0,72
T_o	0,30
T_c	1,67
T_l	3,84

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 32; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo raro, en la ciudad de Guayaquil para suelo tipo E. Como se muestra en la Ilustración 50:

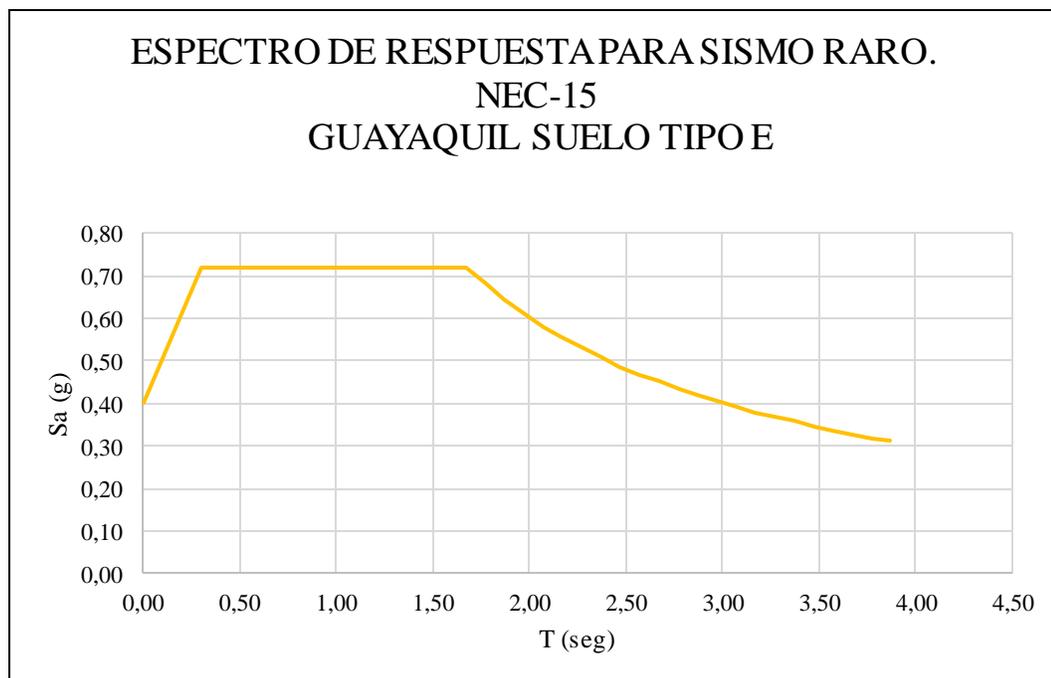


Ilustración 50. Espectro de respuesta de diseño, sismo raro, Guayaquil suelo tipo E

Fuente: (Autor)

5.3.4. Sismo muy Raro

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo muy raro en la ciudad de Guayaquil, sobre suelo tipo E. Se muestran a continuación en la Tabla 33:

Tabla 33. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Guayaquil, suelo tipo E

SUELO TIPO E	
Z	0,65
$\eta Z F_a$	0,99
T_o	0,35
T_c	1,94
T_l	3,6

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 33; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo muy raro, en la ciudad de Guayaquil para suelo tipo E. Como se muestra en la Ilustración 51:

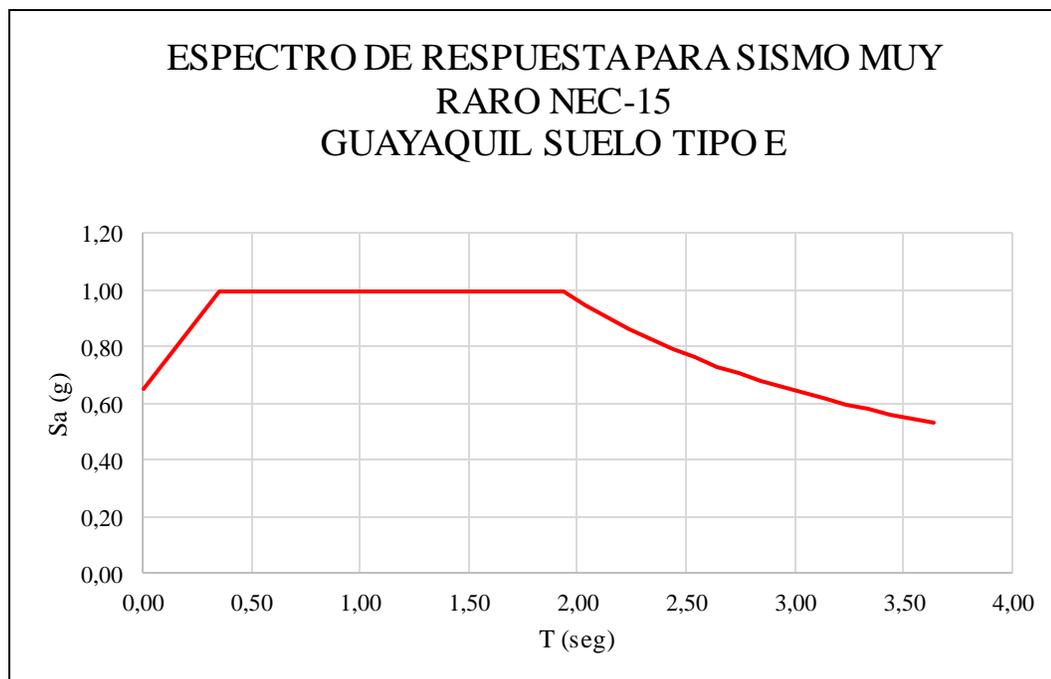


Ilustración 51. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Guayaquil, suelo tipo E

Fuente: (Autor)

5.3.5. Espectros de respuesta NEC-15, Guayaquil, suelo tipo E

En la Ilustración 52; se muestran los espectros de respuesta obtenidos, para sismo: frecuente, ocasional, raro y muy raro, en la ciudad de Guayaquil sobre suelo tipo E.

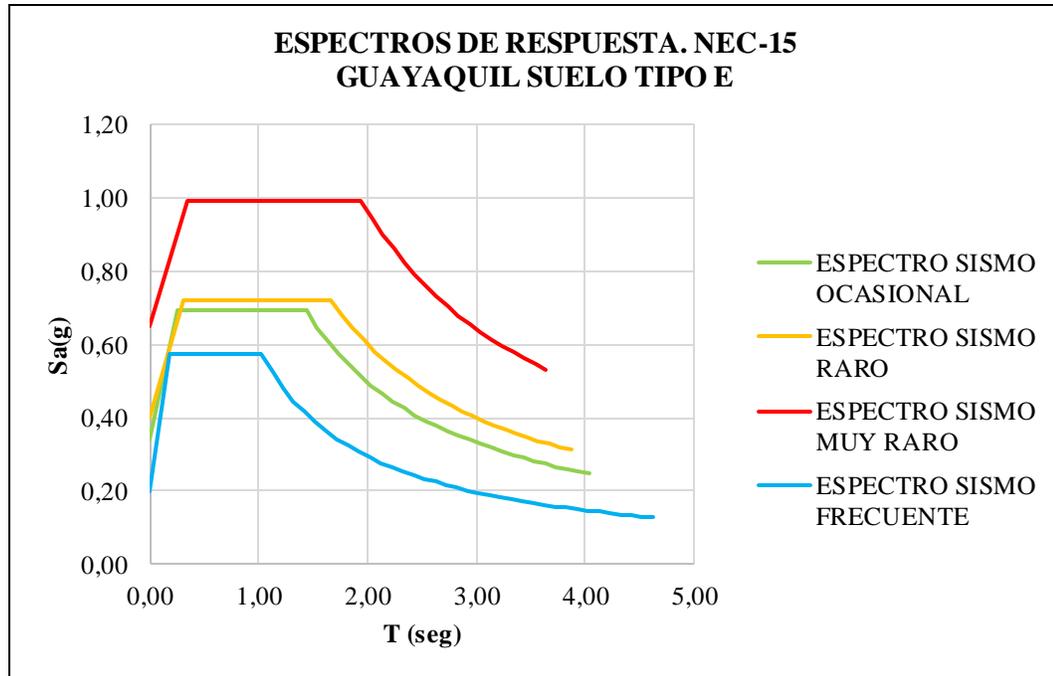


Ilustración 52. Espectros de respuesta NEC-15, Guayaquil, suelo tipo E

Fuente: (Autor)

5.4. Espectros de respuesta de diseño NEC-15, para suelo tipo D, Portoviejo

5.4.1. Sismo Frecuente

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo frecuente en la ciudad de Portoviejo, sobre suelo tipo D. Se muestran a continuación en la Tabla 34:

Tabla 34. Espectro de respuesta de diseño, sismo frecuente, Portoviejo, suelo tipo D

SUELO TIPO D	
Z	0,34
$\eta z F_a$	0,77
T_o	0,13
T_c	0,70
T_l	3,26

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 34; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo frecuente, en la ciudad de Portoviejo para suelo tipo D. Como se muestra en la Ilustración 53:

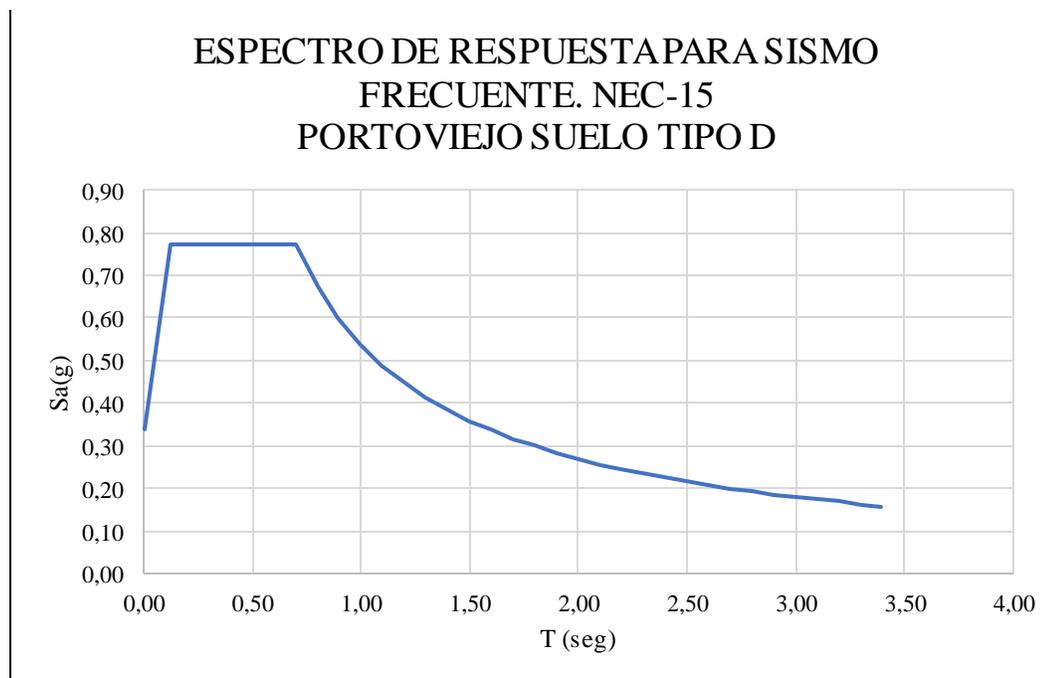


Ilustración 53. Espectro de respuesta de diseño, sismo frecuente, Portoviejo, suelo tipo D

Fuente: (Autor)

5.4.2. Sismo Ocasional

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo ocasional en la ciudad de Portoviejo, sobre suelo tipo D. Se muestran a continuación en la Tabla 35:

Tabla 35. Espectro de respuesta de diseño, sismo ocasional, Portoviejo, suelo tipo D

SUELO TIPO D	
Z	0,47
$\eta z F_a$	0,96
T_o	0,13
T_c	0,74
T_l	2,71

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 35; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo ocasional, en la ciudad de Portoviejo para suelo tipo D. Como se muestra en la Ilustración 54:

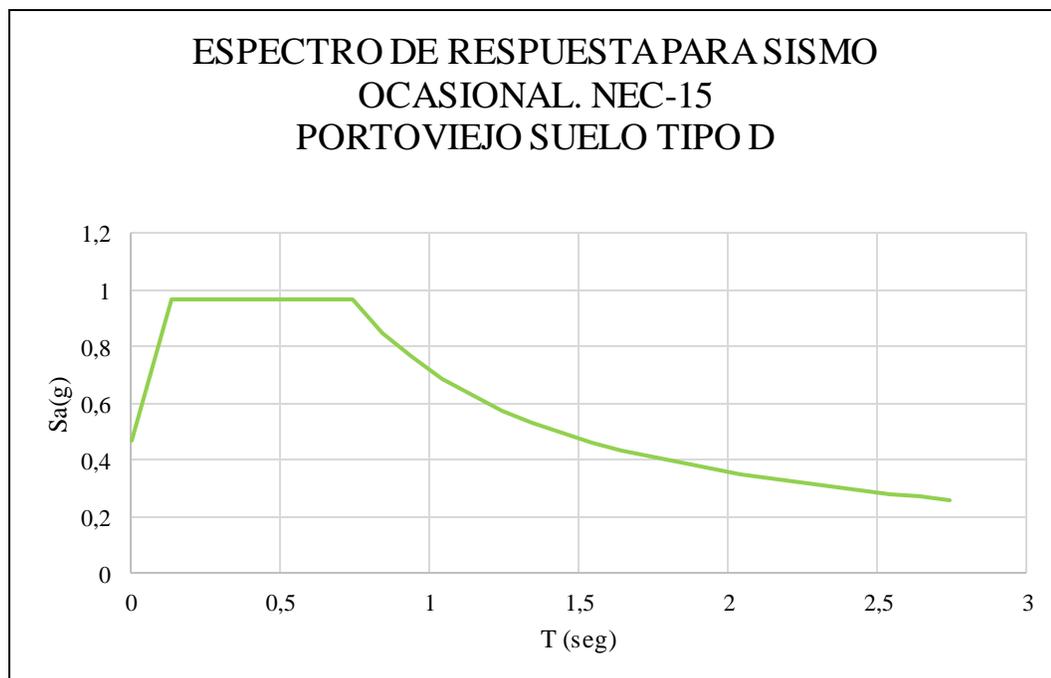


Ilustración 54. Espectro de respuesta de diseño, sismo ocasional, Portoviejo, suelo tipo D

Fuente: (Autor)

5.4.3. Sismo Raro

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo raro en la ciudad de Portoviejo, sobre suelo tipo D. Se muestran a continuación en la Tabla 36:

Tabla 36. Espectro de respuesta de diseño sismo raro, Portoviejo, suelo tipo D

SUELO TIPO D	
Z	0,63
$\eta z F_a$	1,26
T_o	0,14
T_c	0,76
T_l	2,66

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 36; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo raro, en la ciudad de Portoviejo para suelo tipo D. Como se muestra en la Ilustración 55:

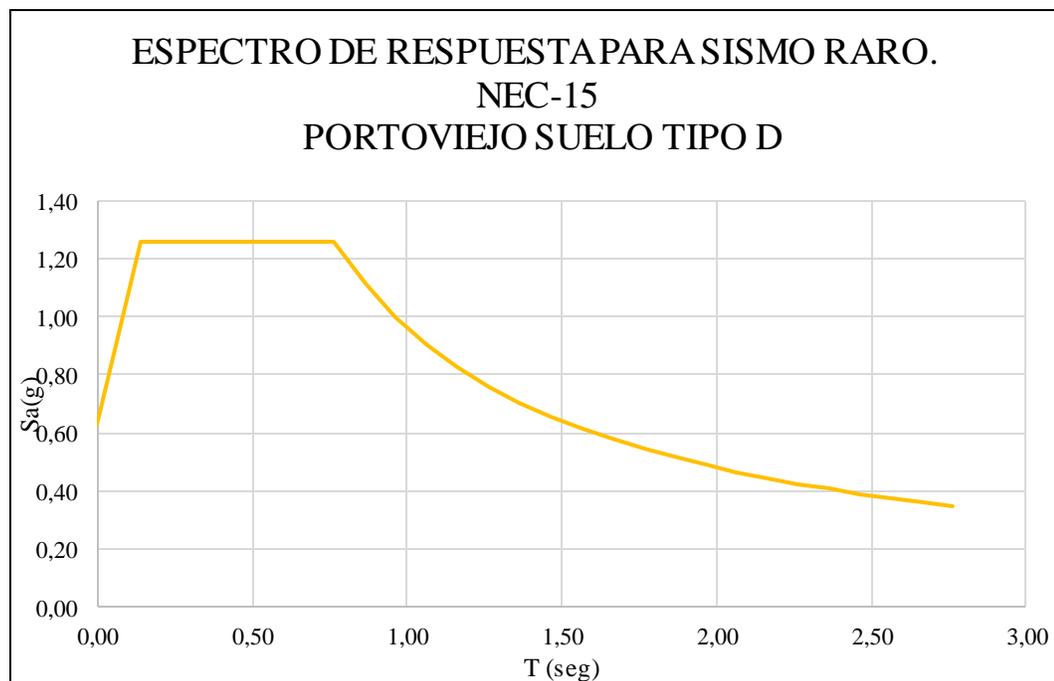


Ilustración 55. Espectro de respuesta de diseño sismo raro, Portoviejo, suelo tipo D

Fuente: (Autor)

5.4.4. Sismo Muy Raro

Los valores de Z , $\eta Z F_a$, T_o , T_c y T_l ; que se obtuvieron, para un sismo muy raro en la ciudad de Portoviejo, sobre suelo tipo D. Se muestran a continuación en la Tabla 37:

Tabla 37. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Portoviejo, suelo tipo D

SUELO TIPO D	
Z	1,00
$\eta z F_a$	2,02
T_o	0,14
T_c	0,76
T_l	2,66

Fuente: (Autor)

Con los datos que se obtuvieron en la Tabla 37; se obtuvo el espectro de respuesta, para sismo muy raro, en la ciudad de Portoviejo para suelo tipo D. Como se muestra en la Ilustración 56:



Ilustración 56. Espectro de respuesta de diseño sismo muy raro, Portoviejo, suelo tipo D

Fuente: (Autor)

5.4.5. Espectros de diseño NEC-15, Portoviejo, suelo tipo D

En la Ilustración 57; se muestran los espectros de respuesta obtenidos, para sismo: frecuente, ocasional, raro y muy raro, en la ciudad de Portoviejo sobre suelo tipo D.

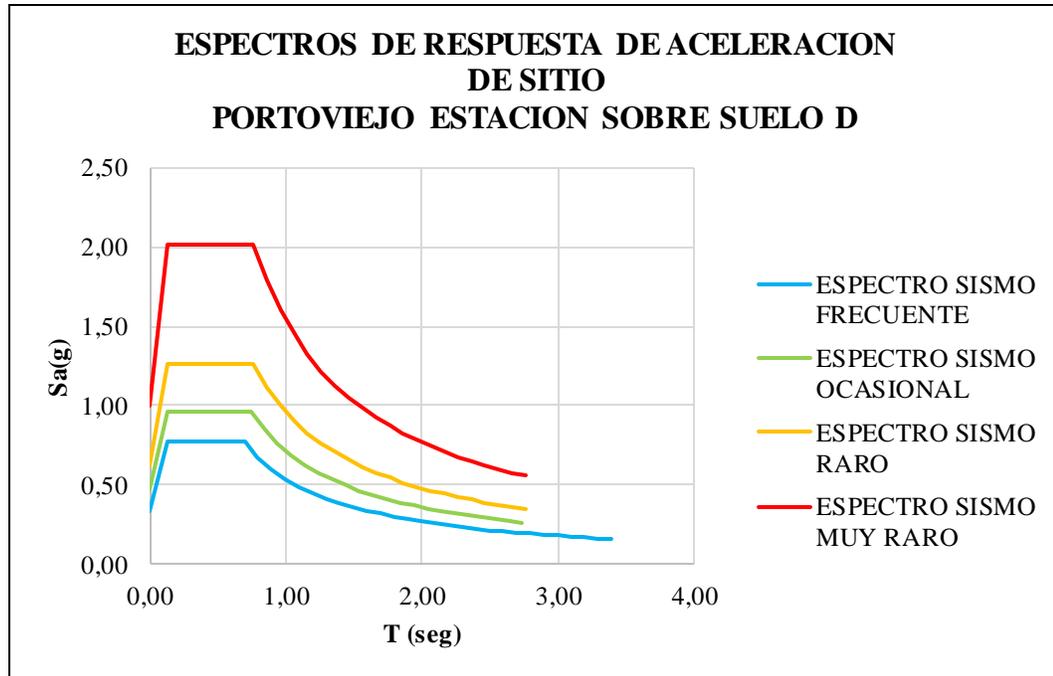


Ilustración 57. Espectros de respuesta de diseño NEC-15, Portoviejo, Suelo tipo D

Fuente: (Autor)

5.5. Sismo del 16 de abril de 2016, edificaciones afectadas en Guayaquil

5.5.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y desplazamiento

Para analizar las edificaciones afectadas en la ciudad de Guayaquil, se utilizó la estación GYE1, perteneciente a la RENAC, que se encuentra sobre suelo tipo E, el tipo de suelo coincide con el de las edificaciones afectadas en dicha ciudad. A continuación, se muestran, los valores de desplazamiento y aceleración obtenidos de la estación GYE1, en la Tabla 38:

Tabla 38. Valores de desplazamiento y aceleración para espectros de respuesta.

T (seg)	Sd (m)	Sa (g)
0,1	0,000	0,066
0,2	0,001	0,090
0,3	0,004	0,170
0,4	0,004	0,113
0,5	0,010	0,156
0,6	0,011	0,126
0,7	0,029	0,235
0,8	0,049	0,309
0,9	0,040	0,198
1	0,041	0,166
1,1	0,039	0,129
1,2	0,040	0,112
1,3	0,047	0,113
1,4	0,070	0,145
1,5	0,089	0,161
1,6	0,114	0,181
1,7	0,126	0,176
1,8	0,124	0,155
1,9	0,137	0,153
2	0,122	0,124
2,1	0,106	0,097
2,2	0,093	0,078
2,3	0,075	0,058
2,4	0,067	0,048
2,5	0,057	0,037
2,6	0,055	0,033
2,7	0,052	0,029
2,8	0,051	0,027
2,9	0,051	0,025
3	0,047	0,021

Fuente: (Autor)

Con los valores obtenidos de la Tabla 38, se obtuvo el espectro de respuesta de aceleración de sitio, ver Ilustración 58 y se obtuvo también el espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, ver Ilustración 59, para Guayaquil, estación GYE1, sobre suelo tipo E.

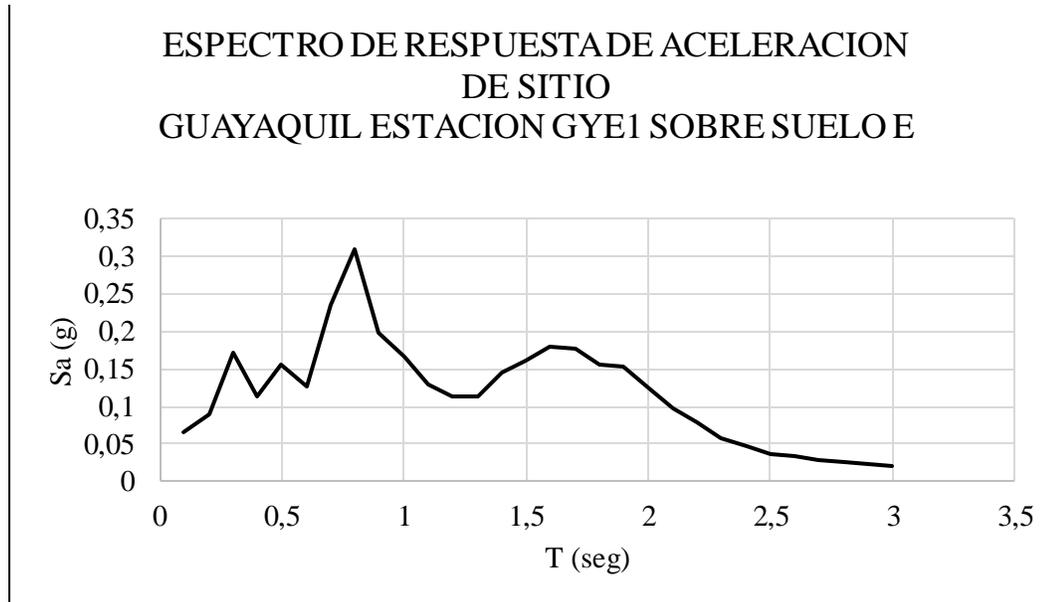


Ilustración 58. Espectro de respuesta de aceleración de sitio, estación GYE1 norte-sur, sobre suelo tipo E.

Fuente: (Autor)



Ilustración 59. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, estación GYE1 norte-sur, sobre suelo tipo E.

Fuente: (Autor)

5.5.2. Acelerogramas

Según el IG-EPN en el informe sísmico especial número 9, en la Ilustración 60, se muestran los registros de las señales de aceleración de la componente N-S, la cual presentó la máxima aceleración pico del terreno (PGA), para las estaciones de la ciudad de Guayaquil. Las duraciones de las vibraciones para las dos primeras estaciones GYE1 y GYE2 fueron de alrededor de 200 segundos y para la estación AGYE fue de alrededor de 100 segundos (IG-EPN, 2016).

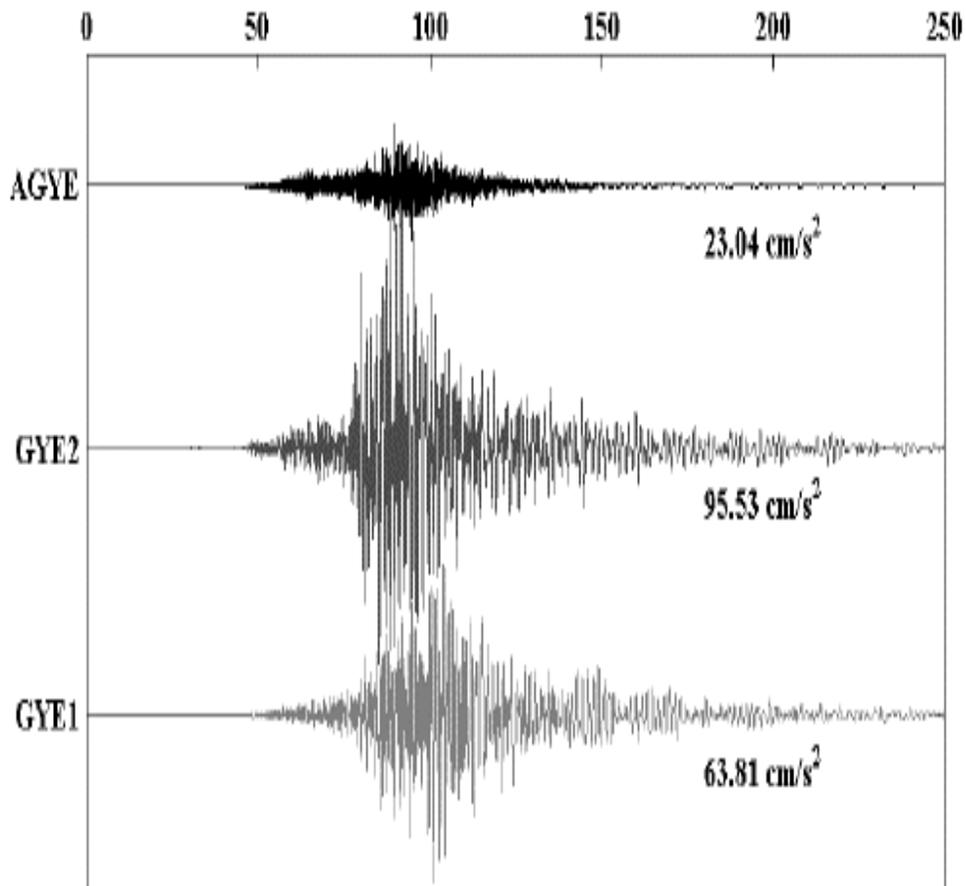


Ilustración 60. Acelerogramas del sismo del 16 de abril del 2016, para las estaciones de Guayaquil

Fuente: (IG-EPN, 2016)

5.6. Edificio Cuartel Modelo en Guayaquil

El edificio Cuartel Modelo en la ciudad de Guayaquil, se encuentra sobre un suelo tipo E, tiene una altura total de 14 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.6.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 39:

Tabla 39. Período Cuartel Modelo

Período Cuartel Modelo	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m.)	14
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,59

Fuente: (Autor)

5.6.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0.59$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 61:

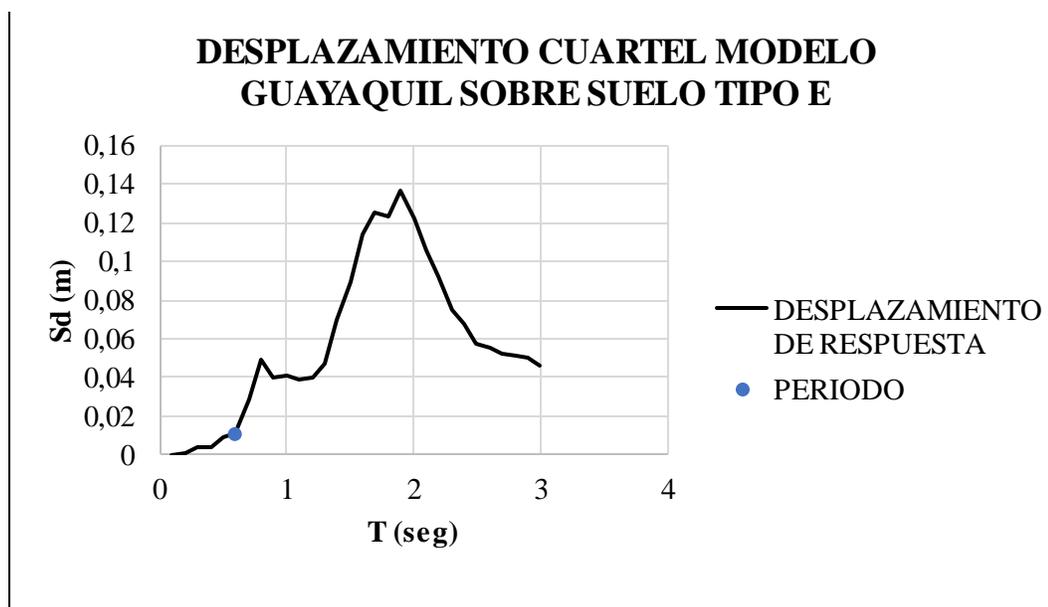


Ilustración 61. Desplazamiento, Cuartel Modelo
Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el Cuartel Modelo y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 40:

Tabla 40. Deriva Cuartel Modelo

Deriva Cuartel Modelo	
Sd	0,01086
$\Delta E = \frac{Sd}{H}$	
ΔE	0.00078
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,00058 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.6.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el S_a diseño y el S_a sismo. Como se muestra en la Ilustración 62:

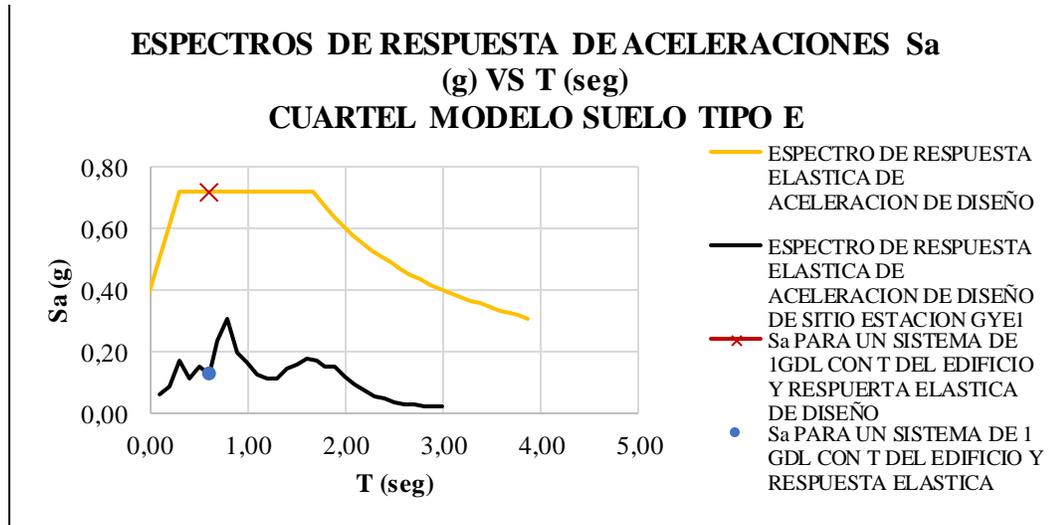


Ilustración 62. Espectros de respuesta de aceleraciones, Cuartel Modelo

Fuente: (Autor)

En la Tabla 41, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el Cuartel Modelo.

Tabla 41. Factor de reducción efectivo

Factor de reducción sísmico Cuartel Modelo	
Sa Diseño	0,72
Sa Sismo	0,13
R NEC-15	8
R Efectivo	5,59

Fuente: (Autor)

5.6.4. Ficha de desempeño sísmico, Cuartel Modelo

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Cuartel Modelo, sobre un suelo tipo E, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación GYE1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 63:

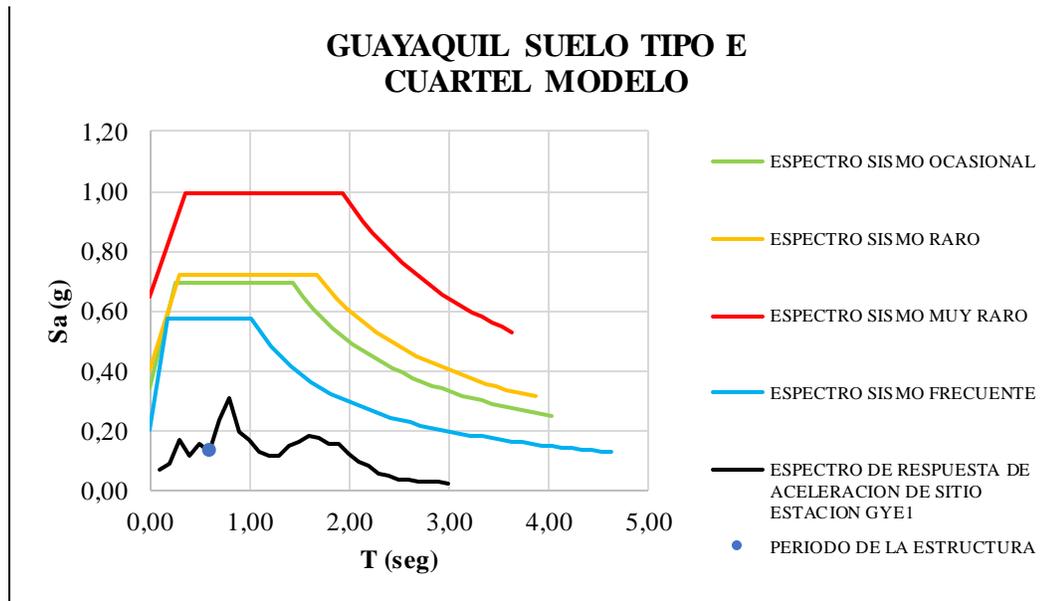


Ilustración 63. Ficha desempeño sísmico, Cuartel Modelo

Fuente: (Autor)

Observación de daños:

- La edificación presentó daños no estructurales.
- Fisuras y grietas en las paredes.
- Vidrios rotos.
- Desprendimiento de concreto.

Causas de los daños:

- La mampostería de la edificación carecía de adherencia suficiente hacia los elementos estructurales, por esta razón se originaron los desprendimientos en la mayor parte de la estructura, principalmente en el bloque central (Ponguillo & Quinancela, 2016).
- Ausencia de chicotes en algunas paredes, lo que ocasionó que éstas se desprendan de las columnas y en algunos casos la separación de estos elementos era muy

grande; por lo que se produjo el colapso parcial del muro de mampostería (Ponguillo & Quinancela, 2016).

Sismo:

- El sismo que sintió la estructura puede ser clasificado como sismo frecuente

Desempeño:

- La edificación quedó fuera de servicio después del sismo del 2016.
- La edificación no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo de tipo frecuente.

5.7. Jefatura Cuerpo de Bomberos en Guayaquil

El edificio de la Jefatura de Bomberos en la ciudad de Guayaquil, se encuentra sobre un suelo tipo E, tiene una altura total de 20 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.7.1. Período de la estructura:

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 42:

Tabla 42. Período Jefatura de Bomberos

Período Jefatura de Bomberos	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m.)	20
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,815

Fuente: (Autor)

5.7.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0.815$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 64:

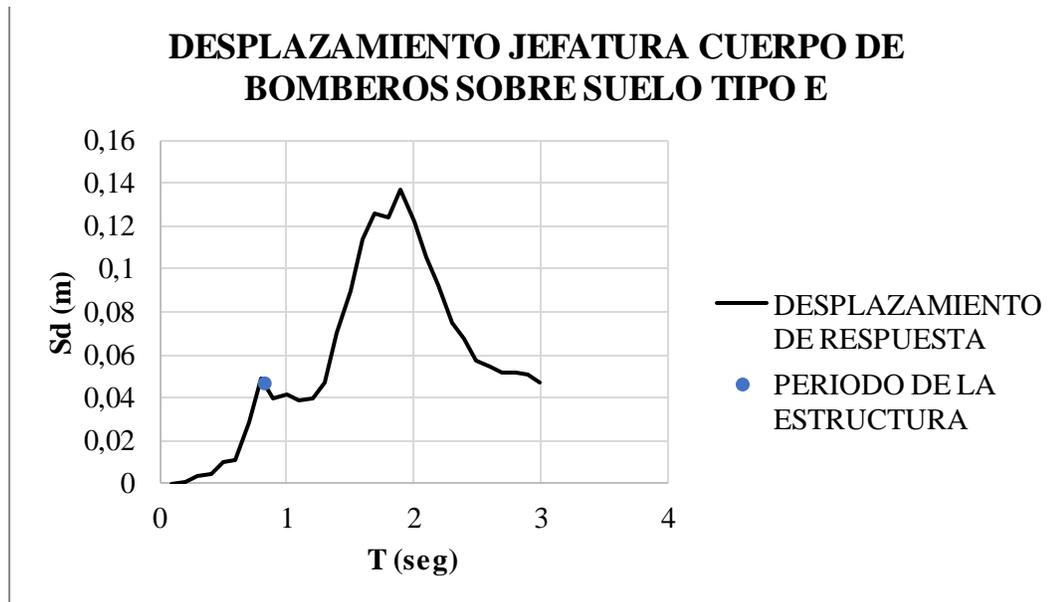


Ilustración 64. Desplazamiento Jefatura de Bomberos
Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para la Jefatura de Bomberos y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 43:

Tabla 43. Deriva Jefatura de Bomberos

Deriva Jefatura de Bomberos	
Sd	0,0462
$\Delta E = \frac{Sd}{H}$	
ΔE	0.0023
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,0017 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.7.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el periodo de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el Sa diseño y el Sa sismo. Como se muestra en la Ilustración 65:

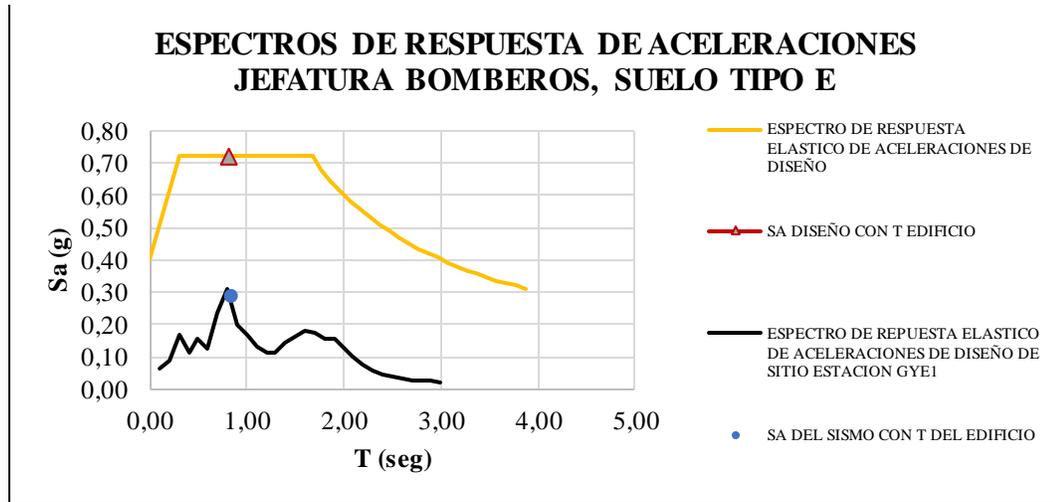


Ilustración 65. Espectros de respuesta de aceleraciones Jefatura de Bomberos

Fuente: (Autor)

En la Tabla 44, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para la Jefatura de Bomberos.

Tabla 44. Factor de reducción efectivo Jefatura de Bomberos

Factor de reducción sísmico Jefatura de Bomberos	
Sa Diseño	0,72
Sa Sismo	0,29
R NEC-15	8
R Efectivo	2,48

Fuente: (Autor)

5.7.4. Ficha de desempeño sísmico Jefatura Cuerpo de Bomberos

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio de la Jefatura de Bomberos, sobre un suelo tipo E, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación GYE1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 66:

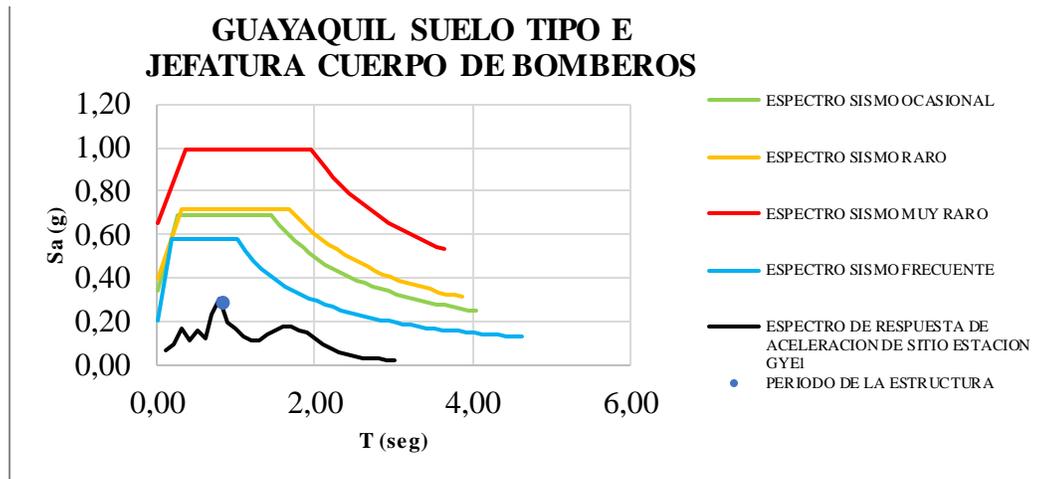


Ilustración 66. Ficha técnica de desempeño Jefatura de Bomberos

Fuente: (Autor)

Observación de daños:

- Pequeñas grietas en todos los pisos

Causas de los daños:

- Poca rigidez de la planta baja.
- Se registró que el edificio vecino golpeó la estructura, sin ocasionar daños mayores.
- La calidad de este edificio puede verse deteriorada debido a su antigüedad.

Sismo:

- El sismo que sintió la estructura puede ser clasificado como sismo frecuente

Desempeño:

- La estructura siguió prestando servicio después del sismo.
- La estructura presentó un correcto desempeño sísmico, para un sismo de tipo frecuente.

5.8. Sismo del 18 de agosto de 1980 edificaciones afectadas en Guayaquil

Para analizar las estructuras afectadas por el sismo de 1980 se utilizaron los registros del sismo del 16 de abril de 2016 de la estación GYE1; ya que para este sismo no se tenía registros de aceleraciones, debido a que en ese año no se contaba con la red de acelerómetros que se tiene hoy en día.

5.9. Ex Cuartel de bomberos en Guayaquil

El edificio del Ex Cuartel de Bomberos en la ciudad de Guayaquil, se encuentra sobre un suelo tipo E, tiene una altura total de 9 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.9.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 45:

Tabla 45. Período Ex Cuartel de Bomberos

Período Ex Cuartel de Bomberos	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m.)	9
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,397

Fuente: (Autor)

5.9.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,397$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 67:

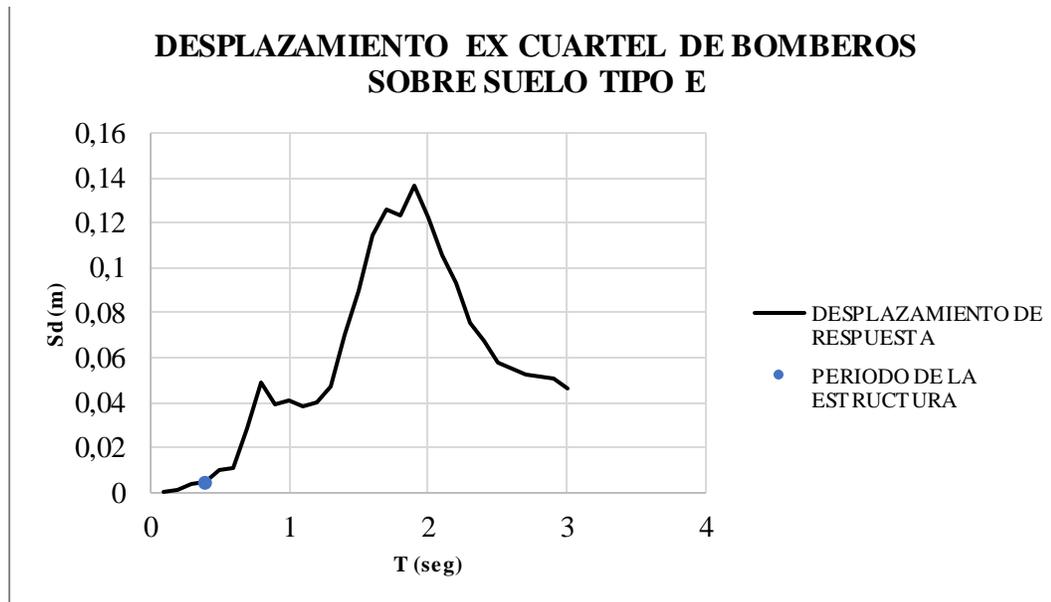


Ilustración 67. Desplazamiento Ex cuartel de Bomberos
Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el EX Cuartel de Bomberos y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 46:

Tabla 46. Deriva Ex Cuartel de Bomberos

Deriva Ex Cuartel de Bomberos	
Sd	0,0043
$\Delta E = \frac{Sd}{H}$	
ΔE	0.00047
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,00035 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.9.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el periodo de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el S_a diseño y el S_a sismo. Como se muestra en la Ilustración 68:

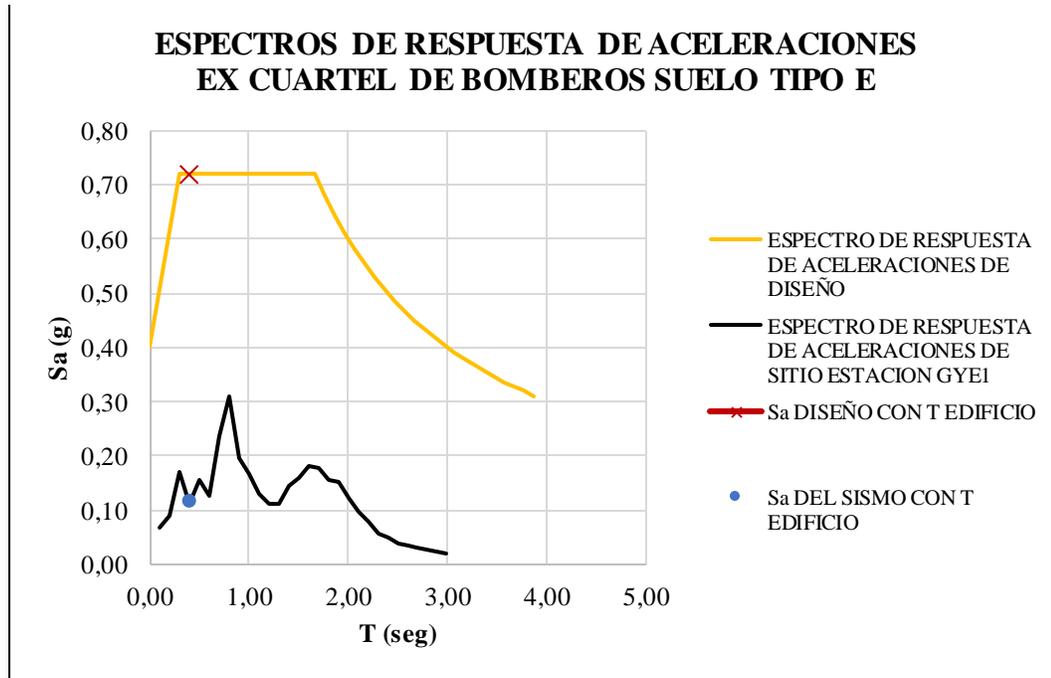


Ilustración 68. Espectros de respuesta de aceleraciones Ex Cuartel de Bomberos
Fuente: (Autor)

En la Tabla 47, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el Ex Cuartel de Bomberos.

Tabla 47. Factor de reducción efectivo Ex Cuartel de Bomberos

Factor de reducción sísmico Ex Cuartel de Bomberos	
Sa Diseño	0,72
Sa Sismo	0,12
R NEC-15	8
R Efectivo	6,00

Fuente: (Autor)

5.9.4. Ficha de desempeño sísmico Ex Cuartel de Bomberos

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Ex Cuartel de Bomberos, sobre un suelo tipo E, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación GYE1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 69:

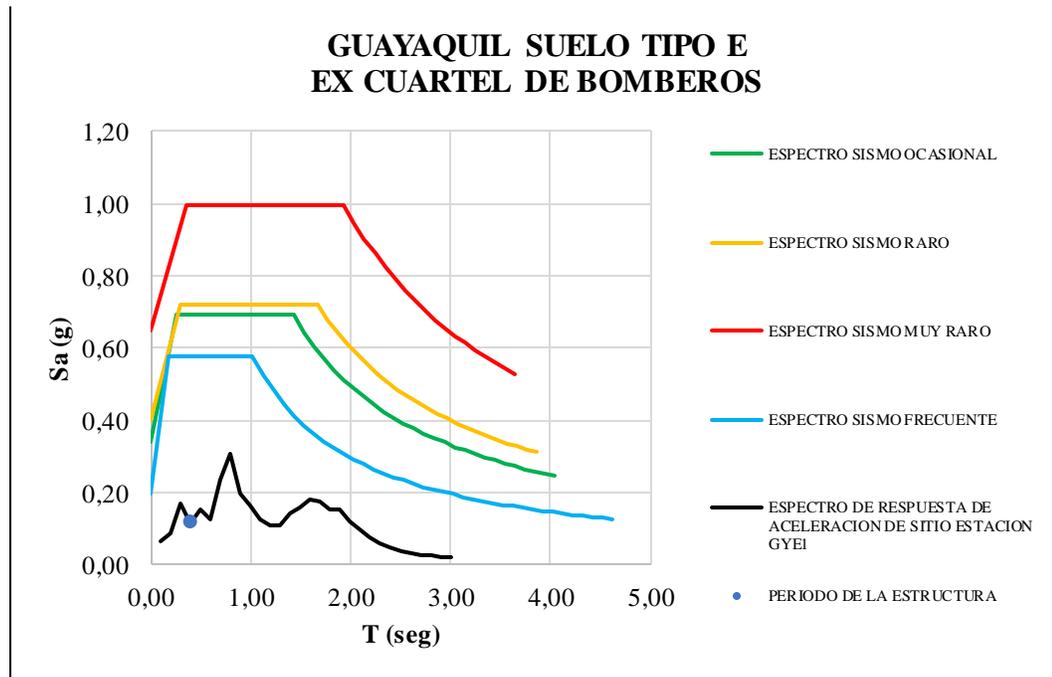


Ilustración 69. Ficha de desempeño sísmico Ex Cuartel de Bomberos

Fuente: (Autor)

Daños observados:

- El cuartel de Bomberos quedó semi-destruido en el sismo del 18 de agosto de 1980.

Causas de los daños:

- Mala calidad de construcción
- Gran irregularidad vertical
- La edificación Chocó con el edificio vecino.

Sismo:

- El sismo que actuó sobre la edificación puede ser clasificado como sismo frecuente

Desempeño:

- La edificación no siguió prestando servicios después del sismo.
- La edificación no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo de tipo frecuente.

5.10. Edificio II Zona Militar en Guayaquil

El edificio de la II Zona Militar en la ciudad de Guayaquil, se encuentra sobre un suelo tipo E, tiene una altura total de 12 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.10.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 48:

Tabla 48. Período II Zona Militar

Período Edificio II Zona Militar	
Ct	0,055
α	0,9
hn (m.)	12
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,51

Fuente: (Autor)

5.10.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,51$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 70:

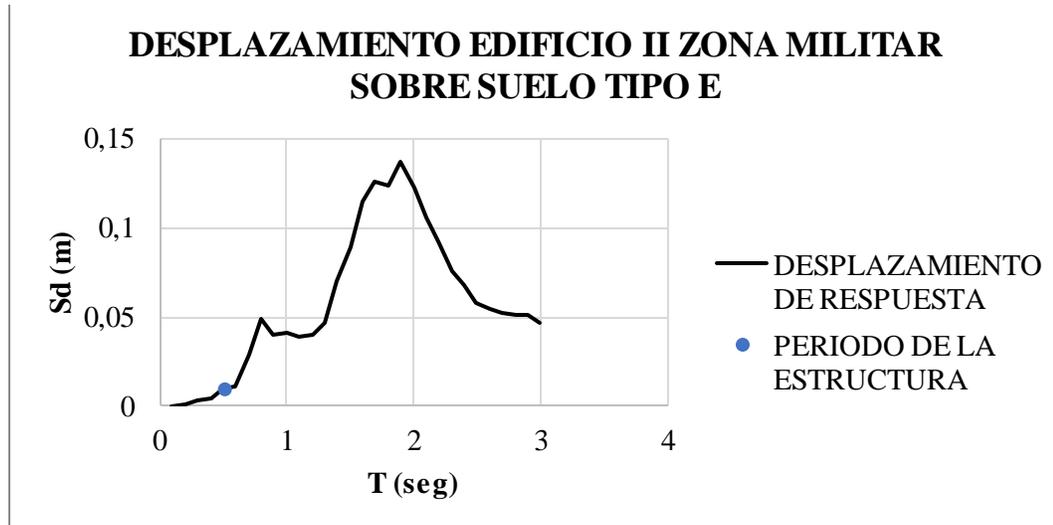


Ilustración 70. Desplazamiento II Zona Militar

Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para la II Zona Militar y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 49:

Tabla 49. Deriva II Zona Militar

Deriva II Zona Militar	
S_d	0,0097
$\Delta E = \frac{S_d}{H}$	
ΔE	0,0008
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,0006 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.10.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el Sa diseño y el Sa sismo. Como se muestra en la Ilustración 71:

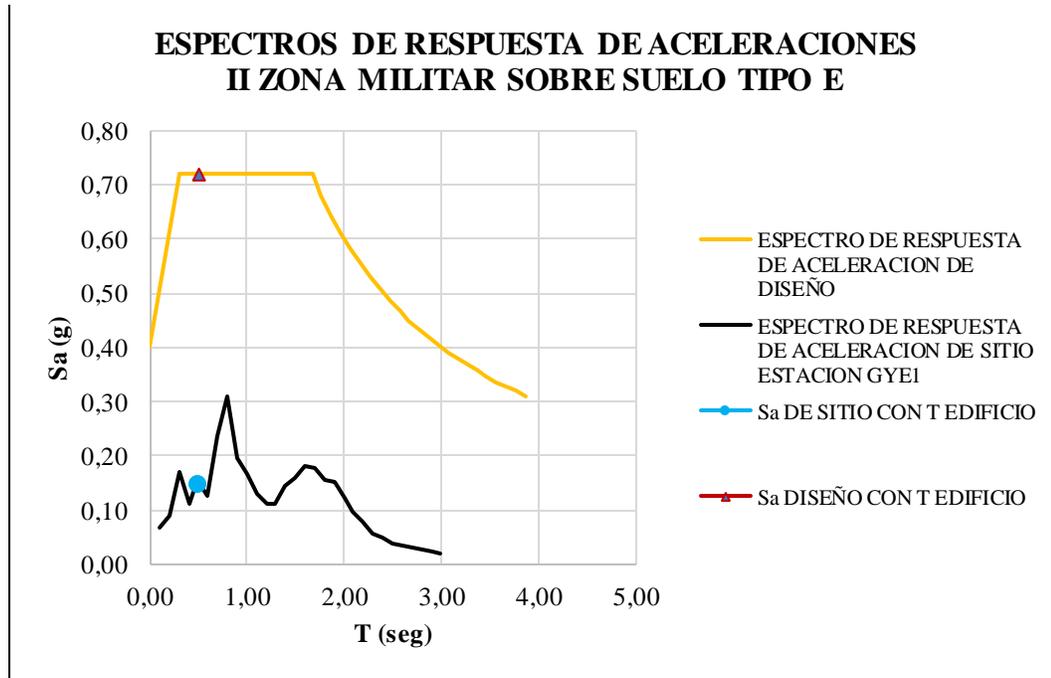


Ilustración 71. Espectros de respuesta de aceleraciones II Zona Militar

Fuente: (Autor)

En la Tabla 50, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio II Zona Militar.

Tabla 50. Factor de reducción efectivo II Zona Militar

Factor de reducción sísmico II Zona Militar	
Sa Diseño	0,72
Sa Sismo	0,15
R NEC-15	8
R Efectivo	4,80

Fuente: (Autor)

5.10.4. Ficha de desempeño sísmico II Zona Militar

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio II Zona Militar, sobre un suelo tipo E, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación GYE1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 72:

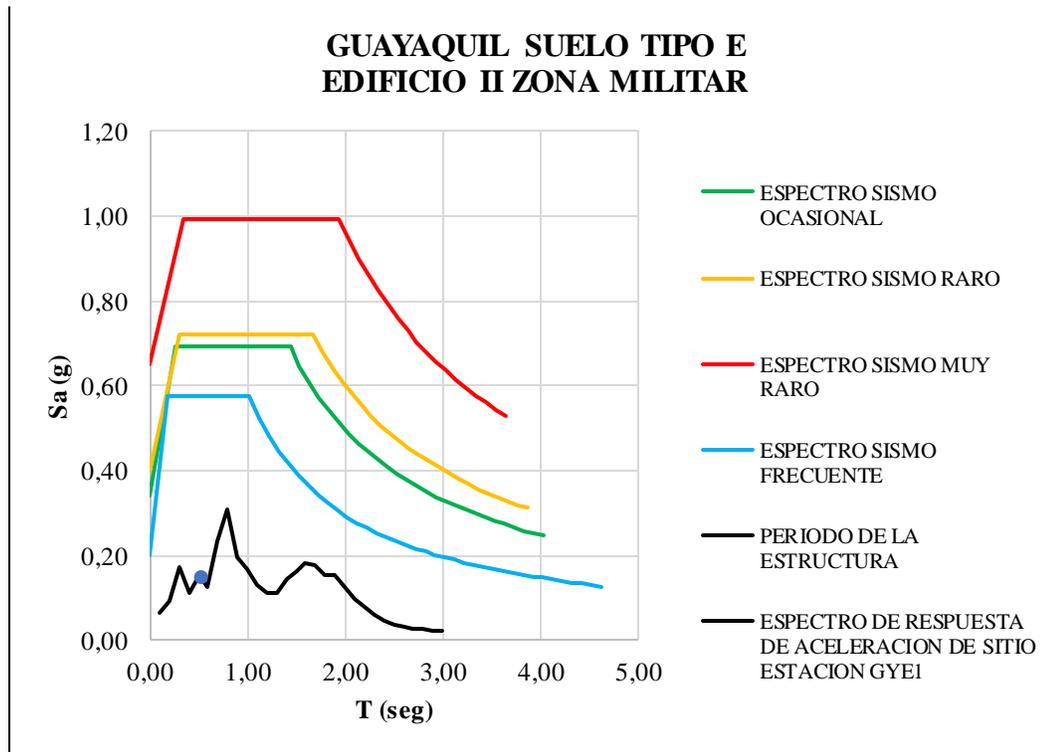


Ilustración 72. Ficha de desempeño sísmico II Zona Militar

Fuente: (Autor)

Daños observados:

- Los daños observados después del sismo de 1980 fueron desprendimientos de adornos frontales.

Causas de los daños:

- La edificación chocó con los edificios vecinos.

Sismo:

- El sismo que actuó sobre la edificación puede ser clasificado como sismo frecuente.

Desempeño:

- El edificio siguió operando después del sismo.
- El edificio tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo de categoría frecuente.

5.11. Sismo del 16 de abril de 2016 en Portoviejo

5.11.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y desplazamiento

Para analizar las edificaciones afectadas en la ciudad de Portoviejo, se utilizó la estación APO1, perteneciente a la RENAC, que se encuentra sobre suelo tipo D, el tipo de suelo coincide con el de las edificaciones afectadas en dicha ciudad. A continuación, se muestran, los valores de desplazamiento y aceleración obtenidos de la estación APO1, en la Tabla 51:

Tabla 51 Valores de desplazamiento y aceleración para espectros de respuesta.

T (seg)	Sd (cm)	Sa (g)
0,1	0,001	0,374
0,2	0,006	0,601
0,3	0,018	0,788
0,4	0,075	1,890
0,5	0,072	1,166
0,6	0,062	0,692
0,7	0,053	0,439
0,8	0,058	0,367
0,9	0,062	0,309
1	0,075	0,303
1,1	0,092	0,309
1,2	0,097	0,273
1,3	0,087	0,210
1,4	0,081	0,168
1,5	0,093	0,167
1,6	0,106	0,169
1,7	0,120	0,168
1,8	0,139	0,174
1,9	0,172	0,192
2	0,212	0,215
2,1	0,243	0,224
2,2	0,262	0,219
2,3	0,278	0,212
2,4	0,299	0,210
2,5	0,314	0,204
2,6	0,334	0,199
2,7	0,366	0,203
2,8	0,384	0,199
2,9	0,390	0,189
3	0,386	0,175

Fuente: (Autor)

Con los valores obtenidos de la Tabla 54; se obtuvo el espectro de respuesta de aceleración de sitio, ver Ilustración 73, se obtuvo también el espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, ver Ilustración 74, para Portoviejo, estación APO1, sobre suelo tipo D.

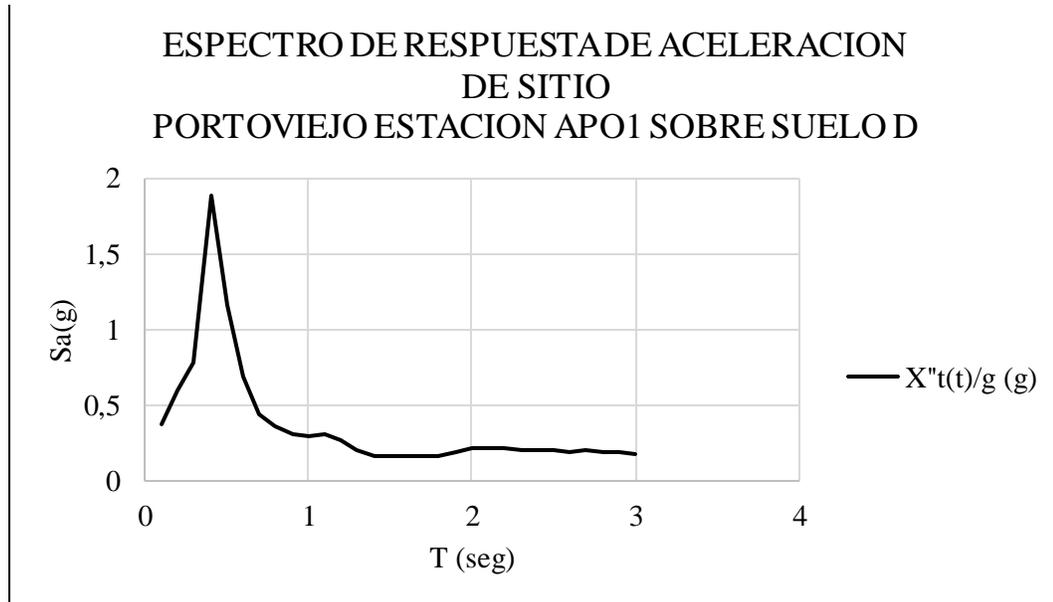


Ilustración 73. Espectro de respuesta de aceleración de sitio estación APO1
Fuente: (Autor)

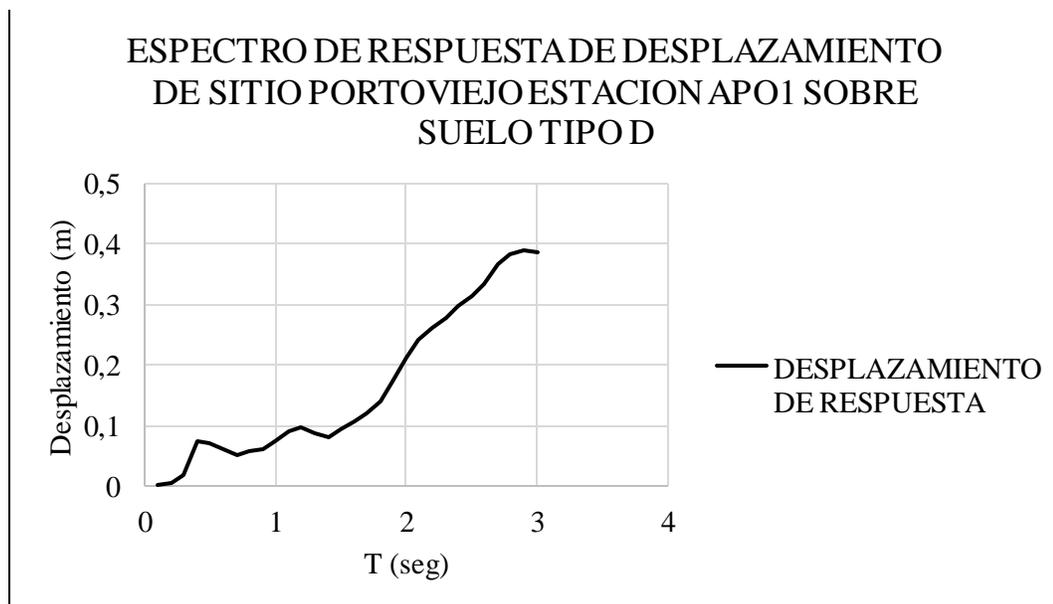


Ilustración 74. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio estación APO1
Fuente: (Autor)

5.11.2. Acelerogramas

Según el IG-EPE en su informe especial sísmico número 18, en la Ilustración 75, se muestran los registros de las señales de aceleración, obtenidos de la estación de la ciudad de Portoviejo, estación APO1, en sus 3 componentes.

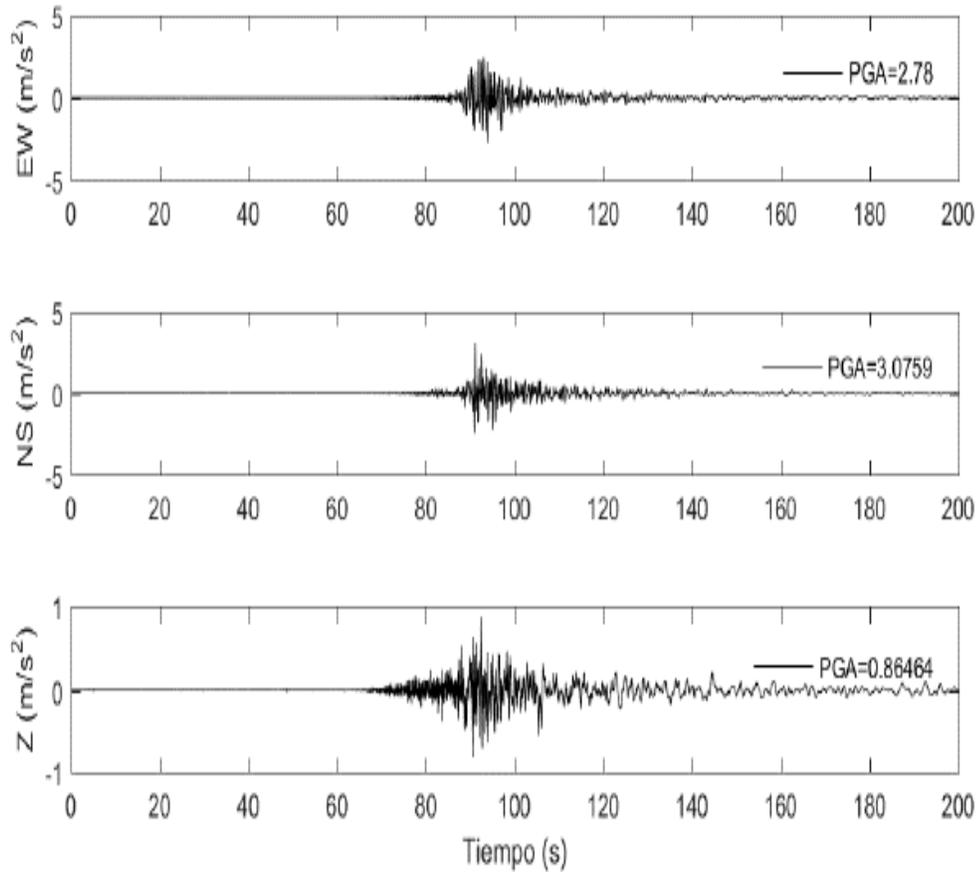


Ilustración 75. Acelerogramas del sismo del 16 de abril de 2016, para la ciudad de Portoviejo

Fuente: (IG-EPN, 2016)

5.12. Cuartel Cuerpo de Bomberos de Portoviejo

El edificio Cuartel Cuerpo de Bomberos en la ciudad de Portoviejo, se encuentra sobre un suelo tipo D, tiene una altura total de 11 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.12.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 52:

Tabla 52. Período Cuerpo de Bomberos

Período Cuerpo de Bomberos	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m.)	11
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,48

Fuente: (Autor)

5.12.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,48$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 76:

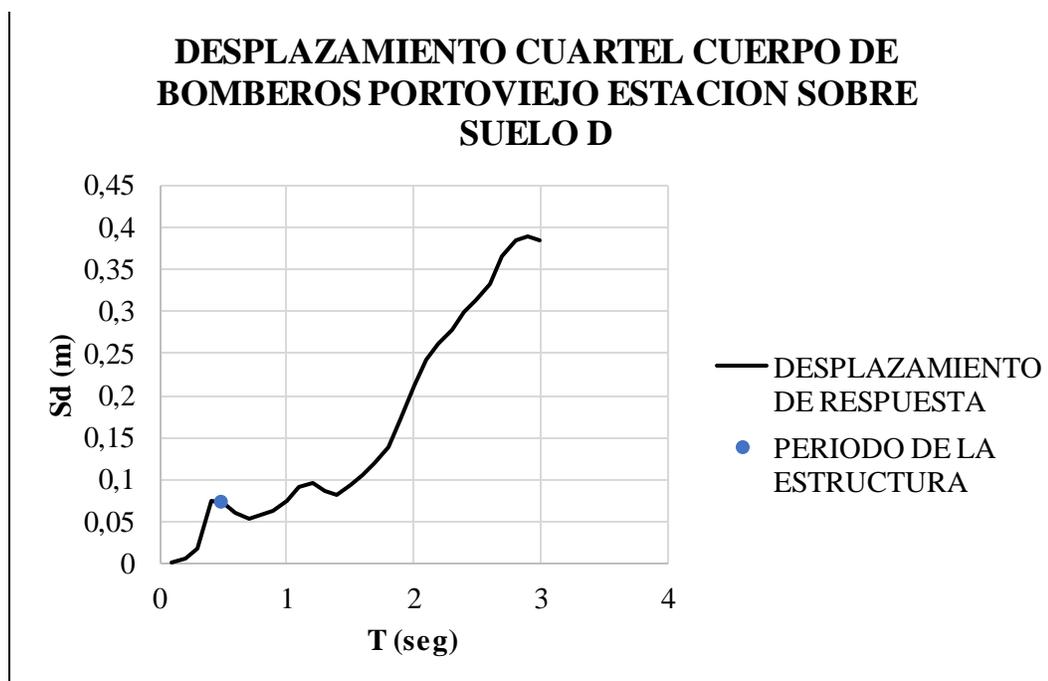


Ilustración 76. Desplazamiento Cuerpo de Bomberos

Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el edificio del Cuerpo de Bomberos y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 53:

Tabla 53. Deriva Cuerpo de Bomberos

Deriva Cuerpo de Bomberos	
S_d	0,073
$\Delta E = \frac{S_d}{H}$	
ΔE	0,0066
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,0049 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.12.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el S_a diseño y el S_a sismo. Como se muestra en la Ilustración 77:

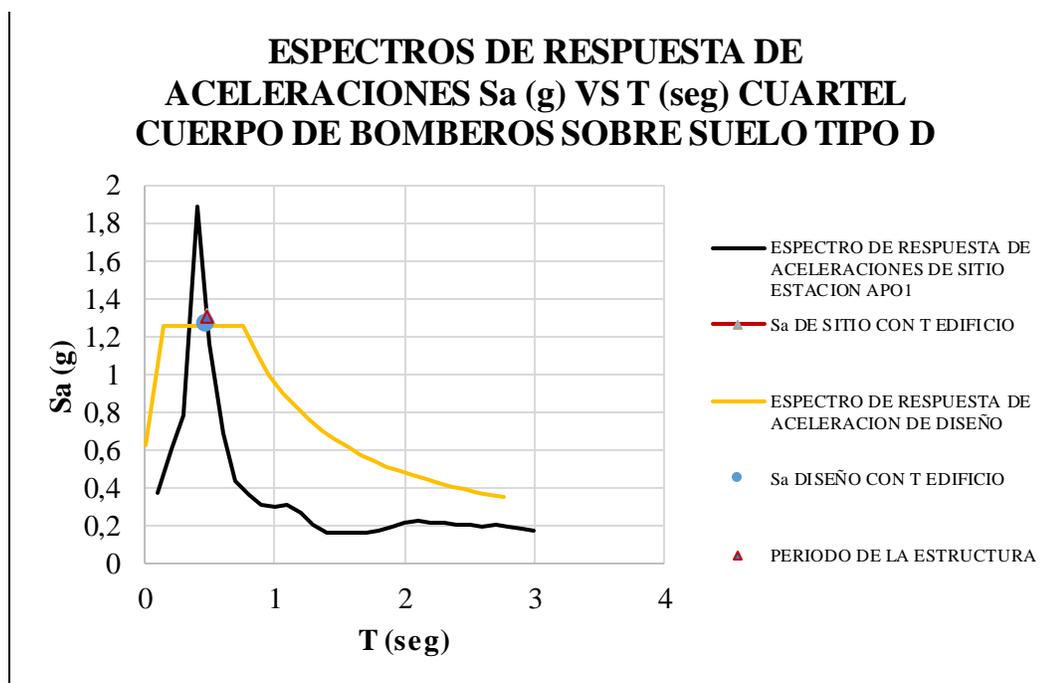


Ilustración 77. Espectros de respuesta de aceleraciones Cuartel Cuerpo de Bomberos
Fuente: (Autor)

En la Tabla 54, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio del Cuartel del Cuerpo de Bomberos.

Tabla 54. Factor de reducción efectivo Cuartel Cuerpo de Bomberos

Factor de reducción sísmico Cuartel Cuerpo de Bomberos	
Sa Diseño	1,26
Sa Sismo	1,31
R NEC-15	8
R Efectivo	0,96

Fuente: (Autor)

5.12.4. Ficha de desempeño sísmico Cuartel Cuerpo de Bomberos

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Cuartel Cuerpo de Bomberos, sobre un suelo tipo D, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación APO1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 78:

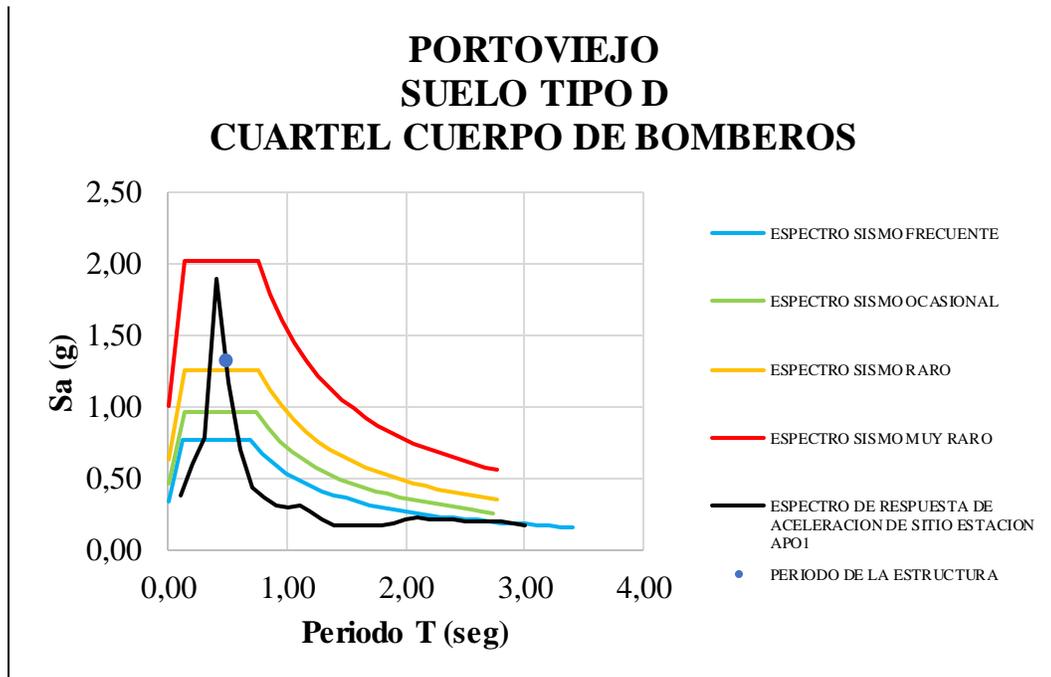


Ilustración 78. ficha de desempeño sísmico Cuartel Cuerpo de Bomberos
Fuente: (Autor)

Observación de daños:

- Daños no estructurales en mampostería.
- Se observaron daños estructurales en las columnas de la planta baja en el primer bloque del edificio debido a la colisión con la losa del primer piso.
- Se formaron rotulas plásticas en las columnas del primer bloque en planta baja.

Causas de los daños:

- Mala calidad de construcción.
- Primer piso era débil en relación con el resto de pisos.

Sismo:

- El sismo se puede Clasificar como un sismo Raro.

Desempeño:

- El edificio quedó fuera de operación después del sismo.
- La edificación fue demolida.
- Según lo especificado en NEC-15 una estructura esencial en un sismo raro tiene que cumplir con el nivel de desempeño estructural prevención de daños y está no lo cumple. Por lo tanto, la edificación no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo de categoría raro.

5.13. Unidad de Vigilancia Comunitaria en Portoviejo

El edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria en la ciudad de Portoviejo, se encuentra sobre un suelo tipo D, tiene una altura total de 7 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.13.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 55:

Tabla 55. Período Unidad de Vigilancia Comunitaria

Período Unidad de Vigilancia Comunitaria	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m.)	7
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,32

Fuente: (Autor)

5.13.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,32$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 79:

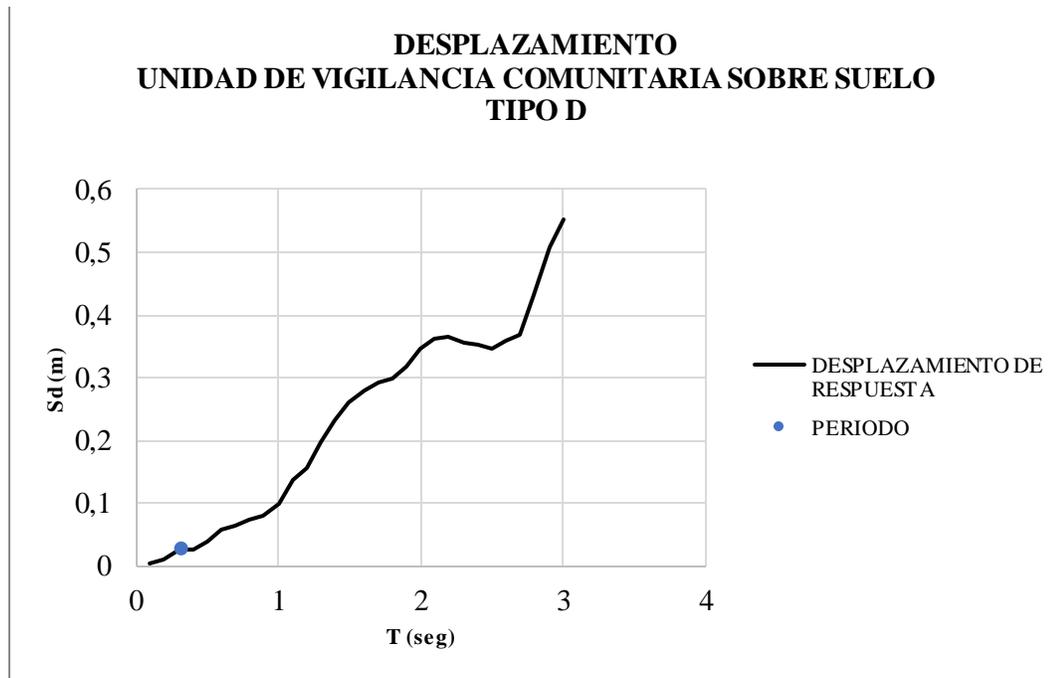


Ilustración 79. Desplazamiento Unidad de Vigilancia Comunitaria

Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 56:

Tabla 56. Deriva Unidad de Vigilancia Comunitaria

Deriva Unidad de Vigilancia Comunitaria	
Sd	0,0026
$\Delta E = \frac{Sd}{H}$	
ΔE	0,0037
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	0,0028 ≤ 0.02

Fuente: (Autor)

5.13.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el Sa diseño y el Sa sismo. Como se muestra en la Ilustración 80:

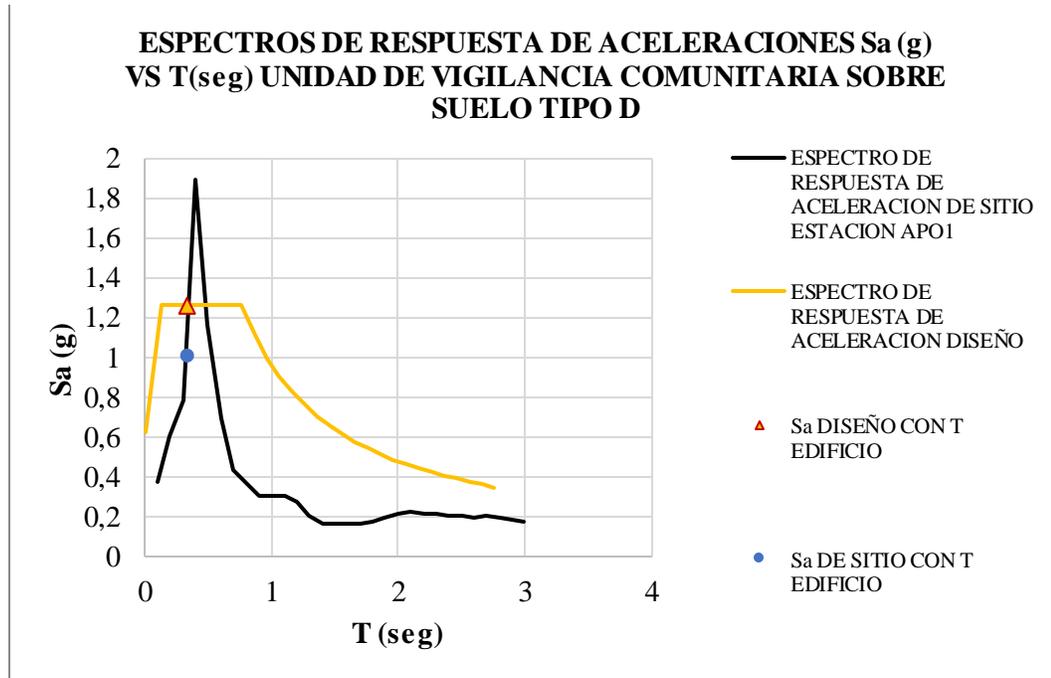


Ilustración 80. Espectros de respuesta de aceleraciones Unidad de Vigilancia Comunitaria

Fuente: (Autor)

En la Tabla 57, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria.

Tabla 57. Factor de reducción efectivo Unidad de Vigilancia Comunitaria

Factor de reducción sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria	
Sa Diseño	1,26
Sa Sismo	1,01
R	8
R Efectivo	1,25

Fuente: (Autor)

5.13.4. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Unidad de Vigilancia Comunitaria, sobre un suelo tipo D, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación APO1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 81:

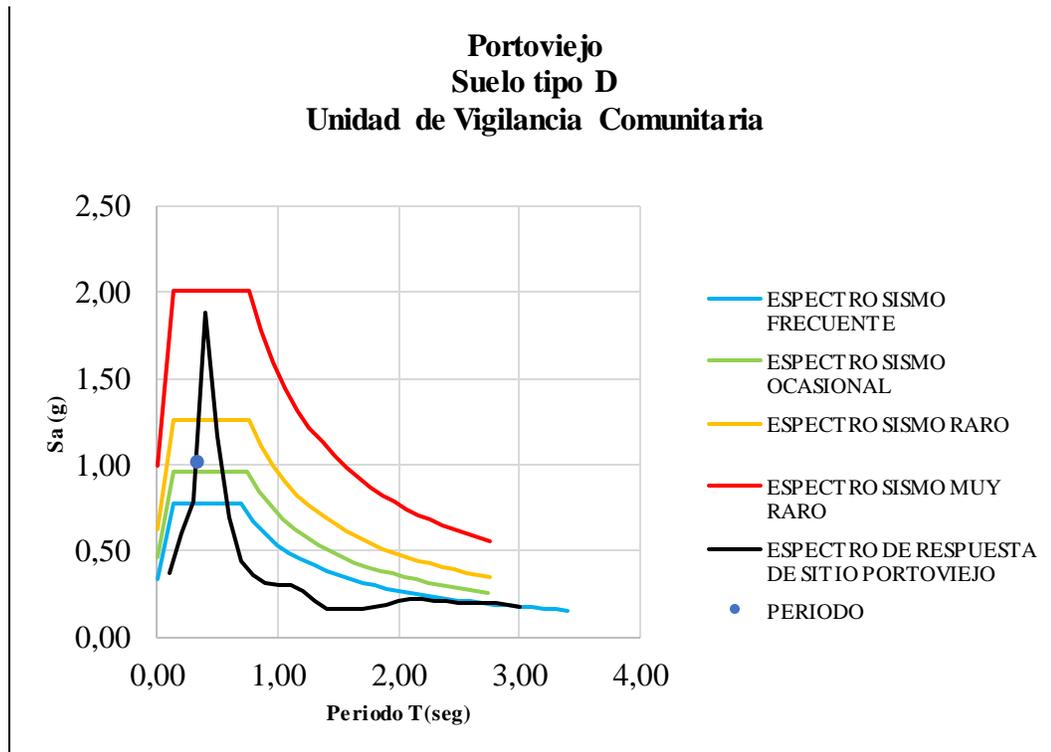


Ilustración 81. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria
Fuente: (Autor)

Observación de daños:

- Los daños observados durante el sismo de 2016 fueron que sufrió algunos desmoronamientos en las paredes exteriores e interiores no estructurales.

Causas de los daños:

- El período de la estructura se encuentra dentro de la zona de amplificación de fuerzas sísmicas, en la meseta del espectro.

Sismo:

- El sismo se puede clasificar como un sismo ocasional

Desempeño:

- El edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria de Portoviejo no siguió prestando servicios después del sismo del 2016.
- El edificio no tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo ocasional.

5.14. Edificio de la Comisión de Tránsito en Portoviejo

El edificio de la Comisión de Tránsito en la ciudad de Portoviejo, se encuentra sobre un suelo tipo D, tiene una altura total de 17,5 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.14.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 58:

Tabla 58. Período Comisión de Tránsito

Período Comisión de Tránsito	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m)	17,5
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,72

Fuente: (Autor)

5.14.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,72$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 82:

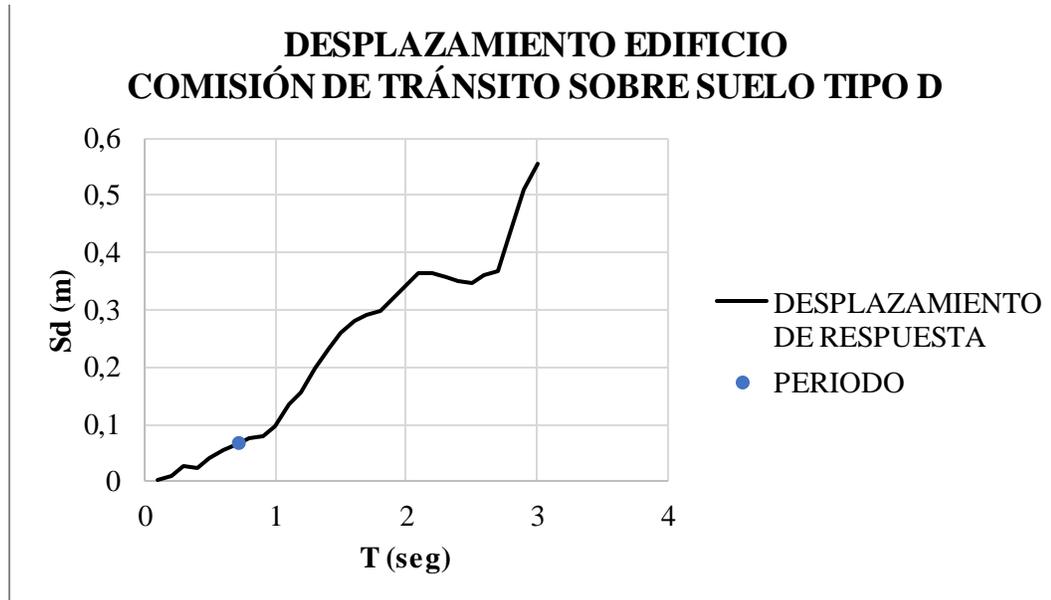


Ilustración 82. Desplazamiento edificio Comisión de Tránsito
Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el edificio de la Comisión de Tránsito y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 59:

Tabla 59. Deriva Edificio Comisión de Tránsito

Deriva Edificio Comisión de tránsito	
S_d	0,065
$\Delta E = \frac{S_d}{H}$	
ΔE	0,00376
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,0028 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.14.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el S_a diseño y el S_a sismo. Como se muestra en la Ilustración 83:

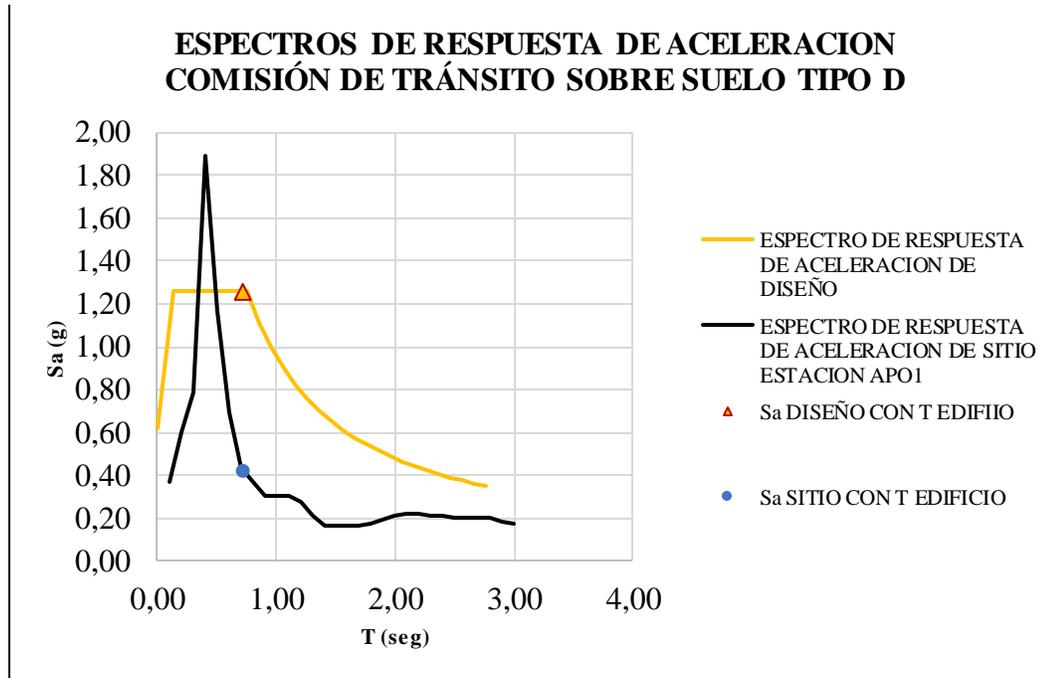


Ilustración 83. Espectros de respuesta de aceleración edificio Comisión de Tránsito
Fuente: (Autor)

En la Tabla 60, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio de la Comisión de Tránsito.

Tabla 60. Factor de reducción efectivo Edificio Comisión de Tránsito

Factor de reducción sísmico Comisión de Tránsito	
Sa Diseño	1,26
Sa Sismo	0,42
R NEC-15	8
R Efectivo	3,00

Fuente: (Autor)

5.14.4. Ficha de desempeño sísmico Comisión de Tránsito

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Comisión de Tránsito, sobre un suelo tipo E, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación GYE1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 84:

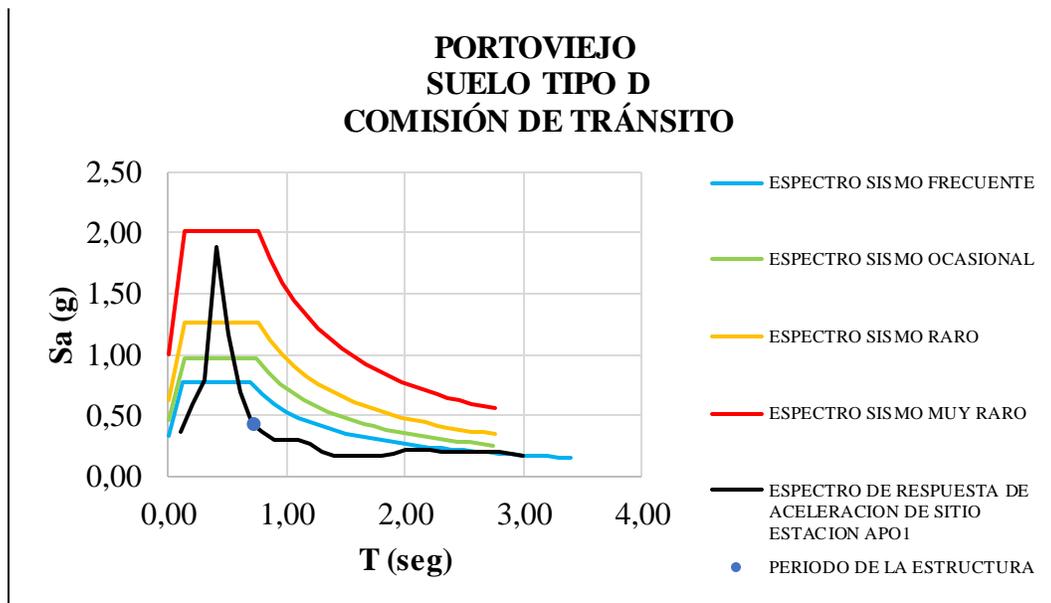


Ilustración 84. Ficha de desempeño sísmico Edificio Comisión de Tránsito

Fuente: (Autor)

Daños observados:

- El edificio sufrió serios daños no estructurales en mampostería.

Causas de los daños:

- Mala calidad de construcción

Sismo:

- El sismo que actuó sobre la estructura puede ser clasificado como sismo frecuente.

Desempeño:

- La edificación no siguió prestando servicios después del sismo.
- La edificación fue demolida.
- Este edificio no tuvo un buen desempeño sísmico, para un sismo clasificado como frecuente.

5.15. Sismo del 16 de abril de 2016 en Manta

5.15.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y desplazamiento

Para analizar las estructuras en la ciudad de Manta, se utilizaron los espectros de diseño que se obtuvieron de NEC-15 para el sismo frecuente, sismo ocasional, sismo raro y sismo muy raro, de la ciudad de Portoviejo, para suelo tipo D; debido a la cercanía entre las 2 ciudades y teniendo en cuenta que las estructuras que se analizaron también se encuentran ubicadas en un suelo tipo D.

Se conoce que el acelerómetro que se encuentra en la Ciudad de Manta, estación AMNT se encuentra sobre un suelo tipo C; por este motivo se realizó un procedimiento empírico que consistió en modificar el espectro de respuesta de aceleración y desplazamiento de sitio sobre suelo tipo C y se lo transformó al tipo de suelo en el que se encontraban las edificaciones; que en este caso fue un suelo tipo D. A continuación; se muestran los valores de desplazamiento y aceleración obtenidos de la estación AMNT, en la Tabla 61:

Tabla 61. Valores de desplazamiento y aceleración para espectros de respuesta

T (seg)	Sd (cm)	Sa(g)
0,13	0,004	1,019
0,36	0,030	0,938
0,46	0,060	1,178
0,56	0,089	1,177
0,66	0,087	0,822
0,76	0,084	0,598
0,86	0,087	0,488
1,28	0,110	0,360
1,36	0,134	0,387
1,48	0,155	0,379
1,58	0,170	0,363
1,68	0,190	0,360
1,46	0,152	0,383
1,88	0,219	0,332
2,01	0,208	0,275
2,08	0,197	0,244
2,18	0,182	0,206
2,23	0,197	0,213
2,38	0,217	0,205
2,48	0,188	0,163
2,58	0,199	0,161
2,68	0,214	0,159
2,78	0,227	0,157

T (seg)	Sd (cm)	Sa(g)
2,88	0,240	0,154
2,98	0,291	0,175
3,08	0,351	0,198
3,18	0,394	0,208
3,28	0,384	0,191
3,38	0,339	0,158
3,48	0,332	0,147

Fuente: (Autor)

Con los valores obtenidos de la Tabla 64; se obtuvo el espectro de respuesta de aceleración de sitio, ver Ilustración 85, se obtuvo también el espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, ver Ilustración 86, para Manta, estación AMNT, sobre suelo tipo D.

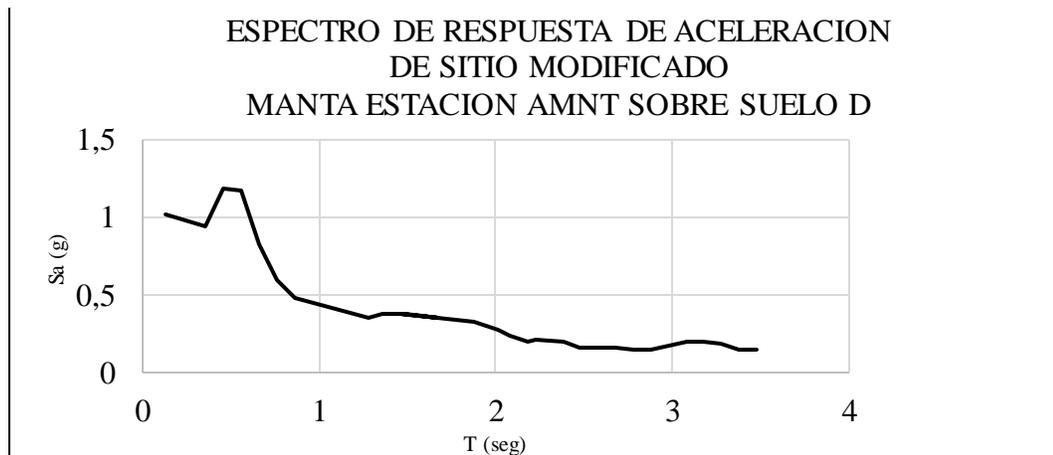


Ilustración 85. Espectro de respuesta de aceleración de sitio modificado, para Manta, estación sobre suelo tipo D

Fuente: (Autor)

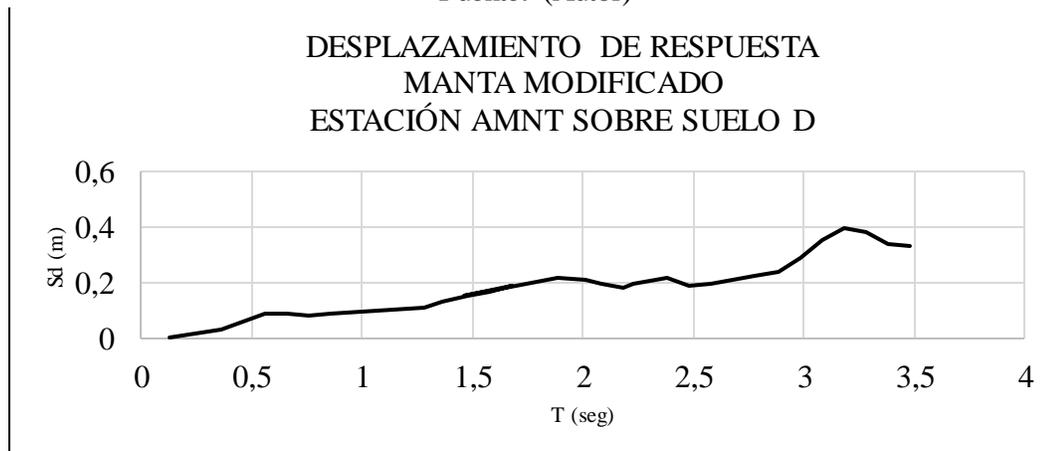


Ilustración 86. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, Manta, estación sobre suelo D

Fuente: (Autor)

5.15.2. Acelerogramas

Según el IG-EPN en su informe especial sísmico número 18, en la Ilustración 87, se muestran los registros de las señales de aceleración, obtenidos de la estación de la ciudad de Manta, estación AMNT, en sus 3 componentes.

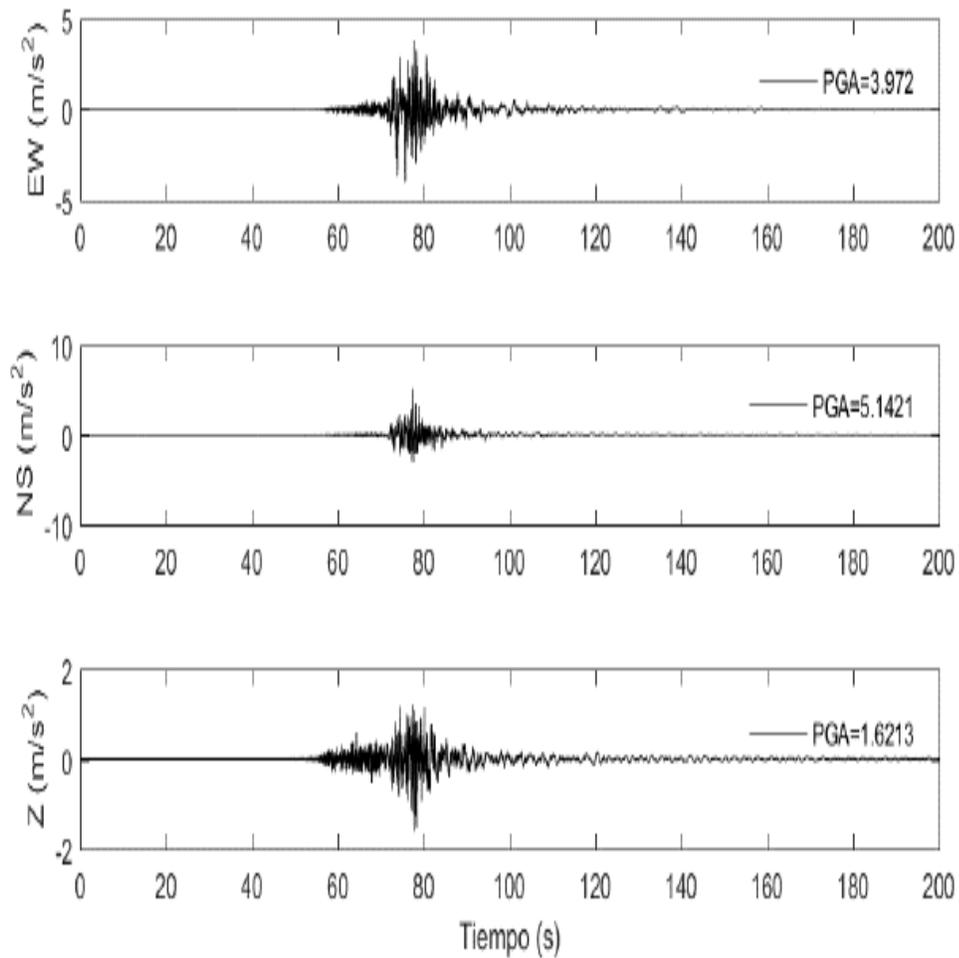


Ilustración 87. Acelerogramas del sismo del 16 de abril de 2016, para la estación de Manta.

Fuente: (IG-EPN, 2016)

5.16. Capitanía del Puerto en Manta

El edificio de la Capitanía del Puerto en la ciudad de Manta, se encuentra sobre un suelo tipo D, tiene una altura total de 14,5 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.16.1. Período

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 62:

Tabla 62. Período Capitanía del Puerto

Período Capitanía del Puerto	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m.)	14,5
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,61

Fuente: (Autor)

5.16.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,61$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 88:

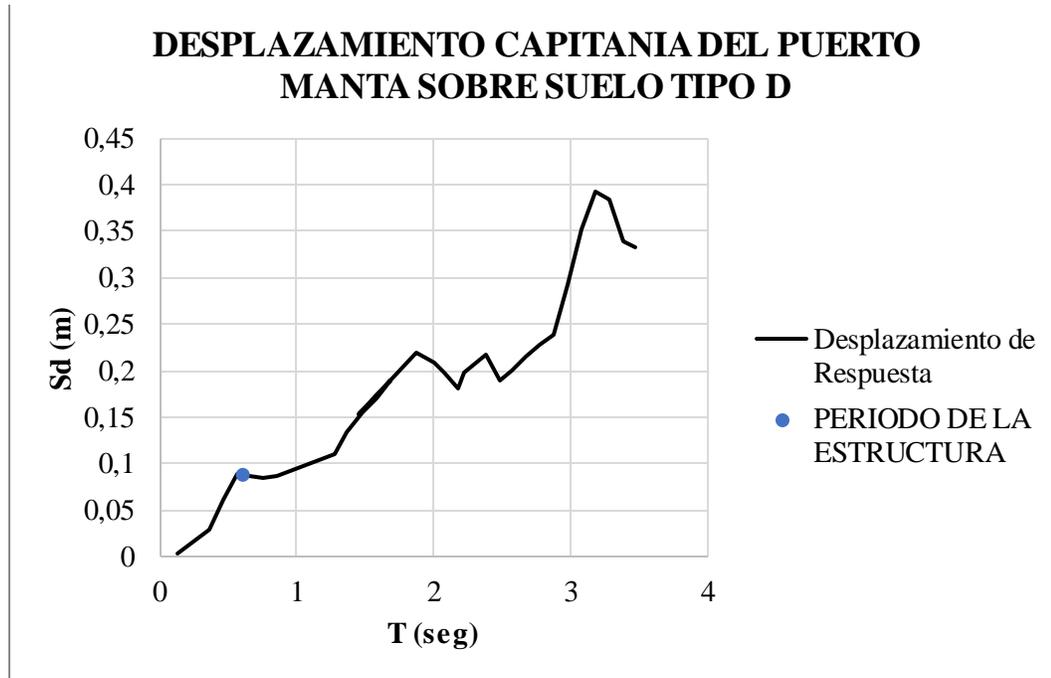


Ilustración 88. Desplazamiento Capitanía del Puerto

Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el edificio de la Capitanía del Puerto y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 63:

Tabla 63. Deriva Capitanía del Puerto

Deriva Capitanía del Puerto	
Sd	0,0875
$\Delta E = \frac{Sd}{H}$	
ΔE	0,0060
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,0045 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.16.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el Sa diseño y el Sa sismo. Como se muestra en la Ilustración 89:

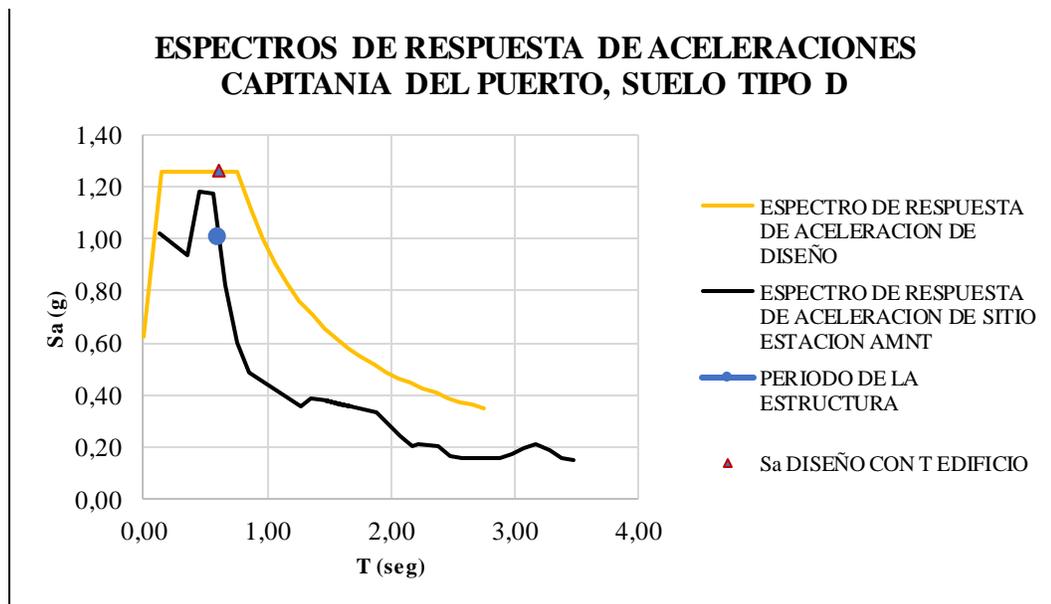


Ilustración 89. Espectros de respuesta de aceleraciones Capitanía del Puerto
Fuente: (Autor)

En la Tabla 64, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio de la Capitanía del Puerto.

Tabla 64. Factor de reducción sísmico efectivo Capitanía del Puerto

Factor de reducción sísmico Capitanía del Puerto	
Sa Diseño	1,26
Sa Sismo	0,99
R NEC-15	8
R Efectivo	1,27

Fuente: (Autor)

5.16.4. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Capitanía del Puerto, sobre un suelo tipo D, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación AMNT y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 90:

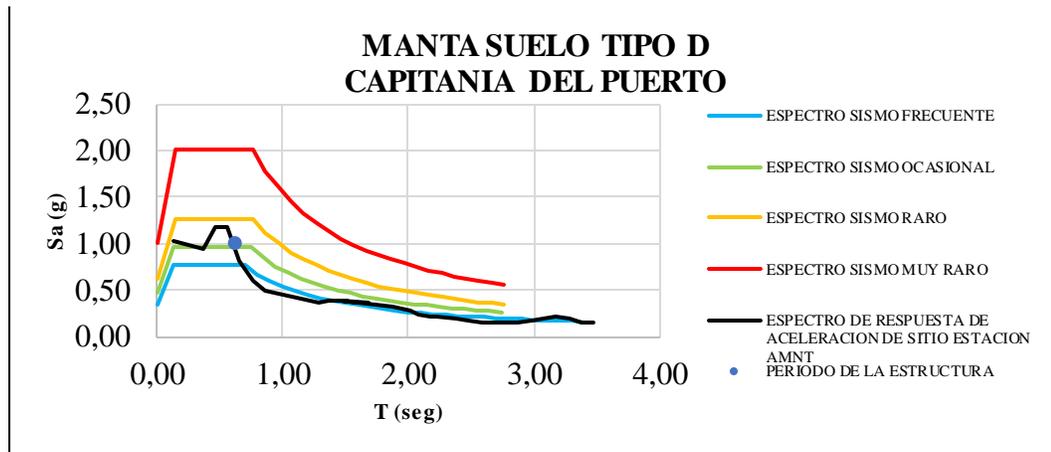


Ilustración 90. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto

Fuente: (Autor)

Daños observados:

- Las paredes del mezzanine II colapsaron y otras se averiaron.

Causas de los daños:

- El período del edificio se encuentra en la zona de amplificación sísmica en la meseta del espectro, por lo que las fuerzas sísmicas a las que estuvo sometido el edificio fueron altas.

Sismo:

- El sismo se puede clasificar como Ocasional.

Desempeño:

- EL edificio tuvo que ser evacuado.
- No prestó servicios después del sismo.
- El edificio no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo de categoría ocasional.

5.17. Unidad de Vigilancia Comunitaria en Manta

El edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria en la ciudad de Manta, se encuentra sobre un suelo tipo D, tiene una altura total de 16 metros, es un edificio de acero estructural y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.17.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 65:

Tabla 65. Período Unidad de Vigilancia Comunitaria

Período Unidad de Vigilancia Comunitaria	
C _t	0,072
α	0,8
h _n (m)	16
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T	0,66

Fuente: (Autor)

5.17.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,66$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 91:



Ilustración 91. Desplazamiento Unidad de vigilancia Comunitaria

Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 66:

Tabla 66. Deriva Unidad de Vigilancia Comunitaria

Deriva Unidad de Vigilancia Comunitaria	
S_d	0,086
$\Delta E = \frac{S_d}{H}$	
ΔE	0,0054
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,00405 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.17.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el S_a diseño y el S_a sismo. Como se muestra en la Ilustración 92:

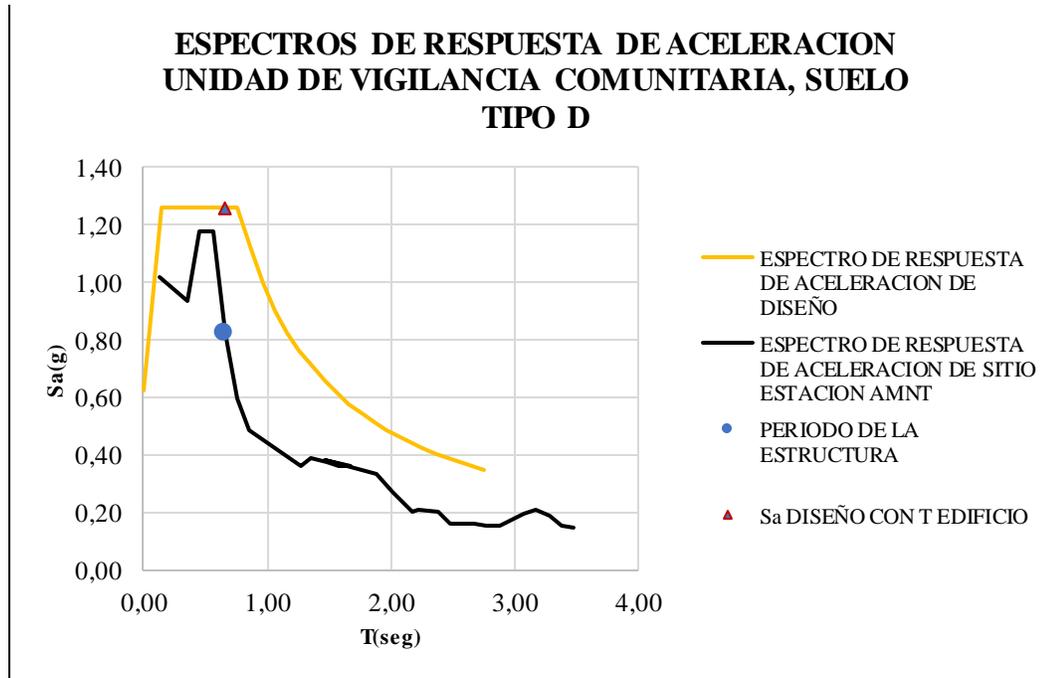


Ilustración 92. Espectros de respuesta de aceleración Unidad de vigilancia Comunitaria

Fuente: (Autor)

En la Tabla 67, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria.

Tabla 67. Factor de reducción sísmico efectivo Unidad de vigilancia Comunitaria

Factor de reducción sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria	
Sa Diseño	1,26
Sa Sismo	0,82
R NEC-15	8
R Efectivo	1,54

Fuente: (Autor)

5.17.4. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Unidad de Vigilancia Comunitaria, sobre un suelo tipo D, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación AMNT y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 93:

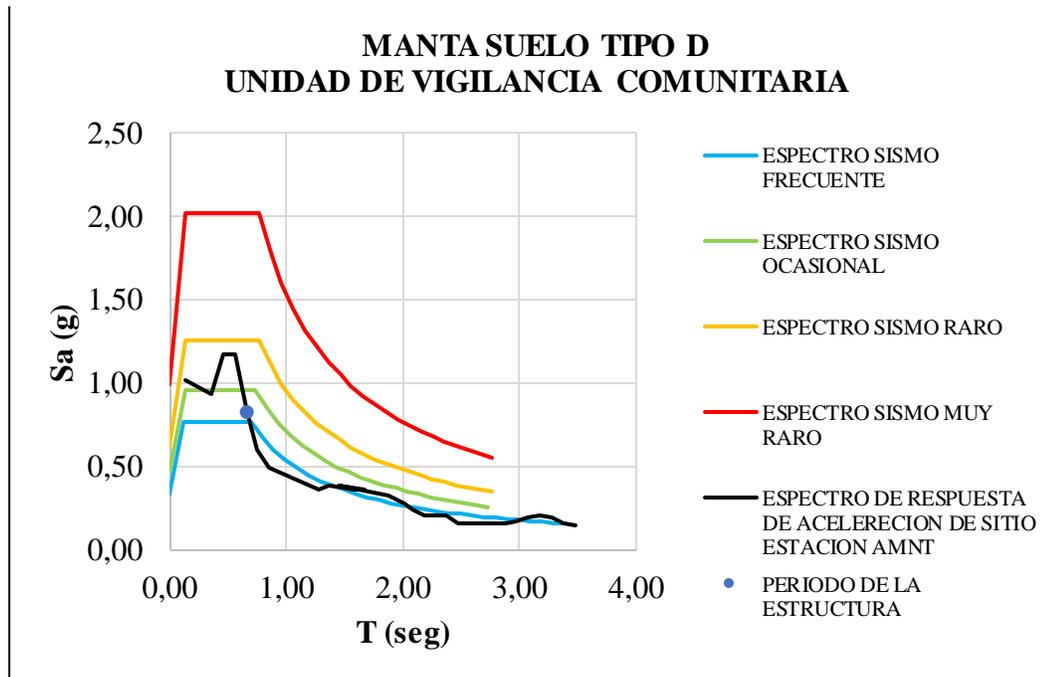


Ilustración 93. Ficha de desempeño sísmico Unidad de Vigilancia Comunitaria
Fuente: (Autor)

Daños observados:

- La estructura sufrió daño extensivo en la mampostería de la planta baja.

Causas de los daños:

- La estructura de acero es muy flexible y se colocó mampostería de bloques, sin elementos confinantes.
- La causa principal de los daños fue la ausencia de columnetas para confinar la mampostería, en las fachadas donde se tiene voladizo.
- Las columnas de acero tipo “T” fueron rellenas con hormigón y enlucidas en sus cuatro contornos para dar la impresión que se trata de columnas de hormigón armado.

Sismo:

- El sismo que sintió la estructura se puede clasificar como un sismo frecuente.

Desempeño:

- El edificio no prestó servicio después del sismo.
- El edificio no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo de categoría frecuente.

5.18. Sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez

Para analizar las estructuras en la ciudad de Bahía de Caráquez, se utilizaron los espectros de diseño obtenidos de la NEC-15 para el sismo frecuente, sismo ocasional, sismo raro y sismo muy raro, de la ciudad de Portoviejo para suelo tipo D, debido a la cercanía entre las 2 ciudades y teniendo en cuenta que las estructuras que se analizaron también se encontraban ubicadas en suelo tipo D.

5.18.1. Espectros de respuesta de sitio de aceleración y de desplazamiento

Con los valores obtenidos de la Tabla 51; se obtuvo el espectro de respuesta de aceleración de sitio, ver Ilustración 94, se obtuvo también el espectro de respuesta de desplazamiento de sitio, ver Ilustración 95, para Bahía de Caráquez, estación APO1, sobre suelo tipo D.

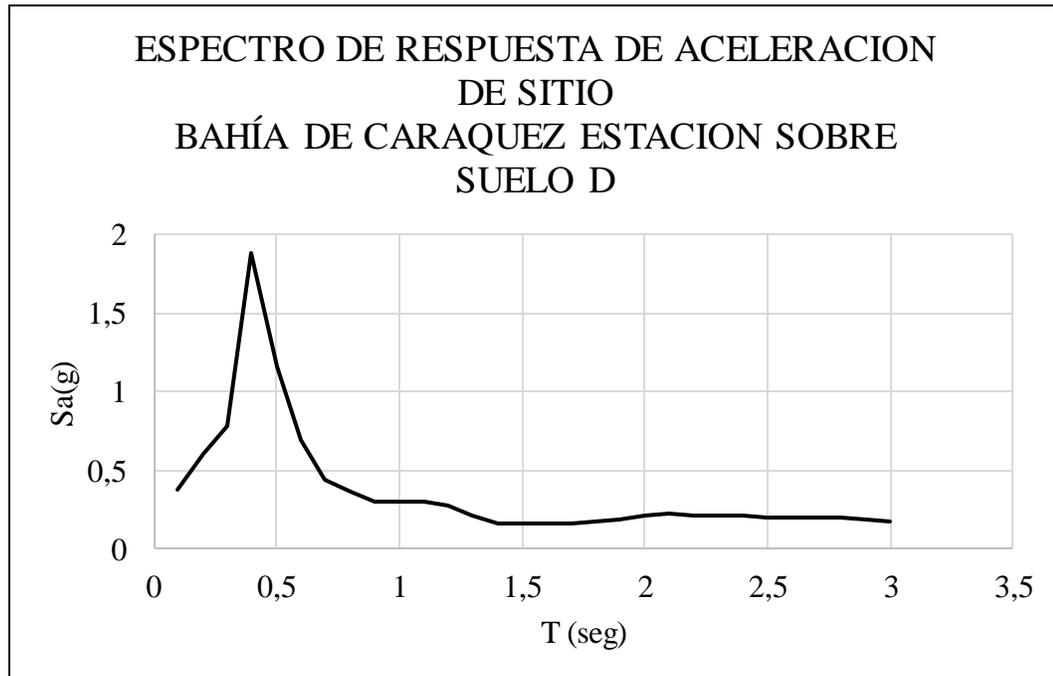


Ilustración 94. Espectro de respuesta de aceleración de sitio Bahía de Caráquez, estación sobre suelo D

Fuente: (Autor)

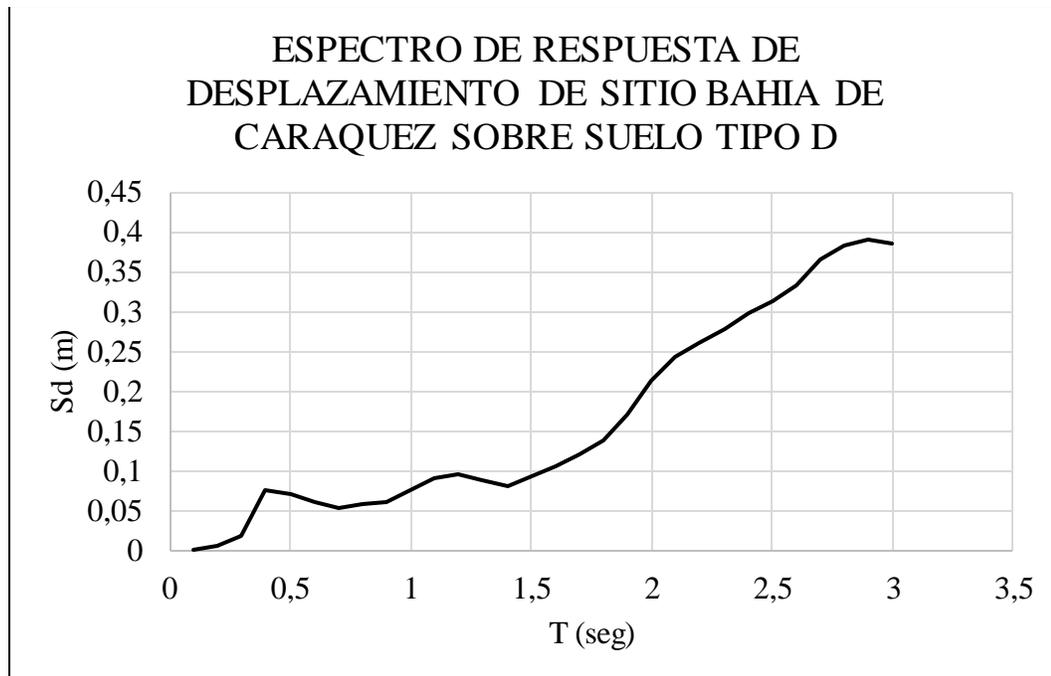


Ilustración 95. Espectro de respuesta de desplazamiento de sitio Bahía de Caráquez
Fuente: (Autor)

5.19. Capitanía del Puerto en Bahía de Caráquez

El edificio de la Capitanía del Puerto en la ciudad de Bahía de Caráquez, se encuentra sobre un suelo tipo D, tiene una altura total de 12 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.19.1. Período de la estructura

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 68:

Tabla 68. Período Capitanía del Puerto

Período Capitanía del Puerto	
Ct	0,055
α	0,9
hn (m.)	12
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,51

Fuente: (Autor)

5.19.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,51$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 96:

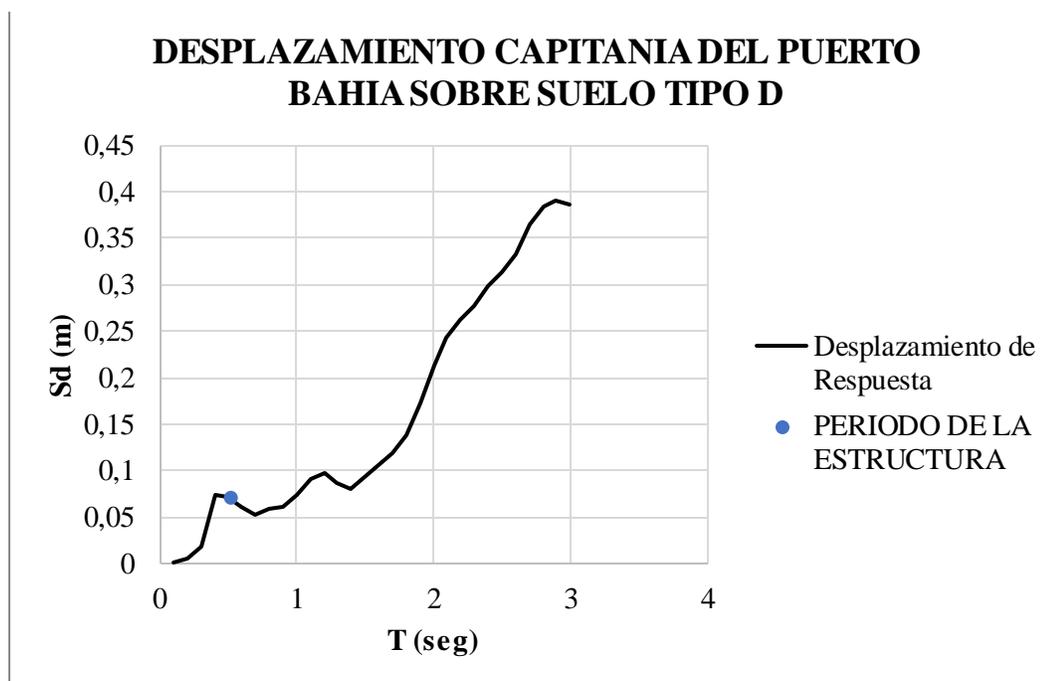


Ilustración 96. Desplazamiento Capitanía del Puerto

Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el edificio de la Capitanía del Puerto y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 69:

Tabla 69. Deriva Capitanía del Puerto

Deriva Capitanía del Puerto	
S_d	0,0709
$\Delta E = \frac{S_d}{H}$	
ΔE	0,0059
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,0044 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.19.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el Sa diseño y el Sa sismo. Como se muestra en la Ilustración 97:

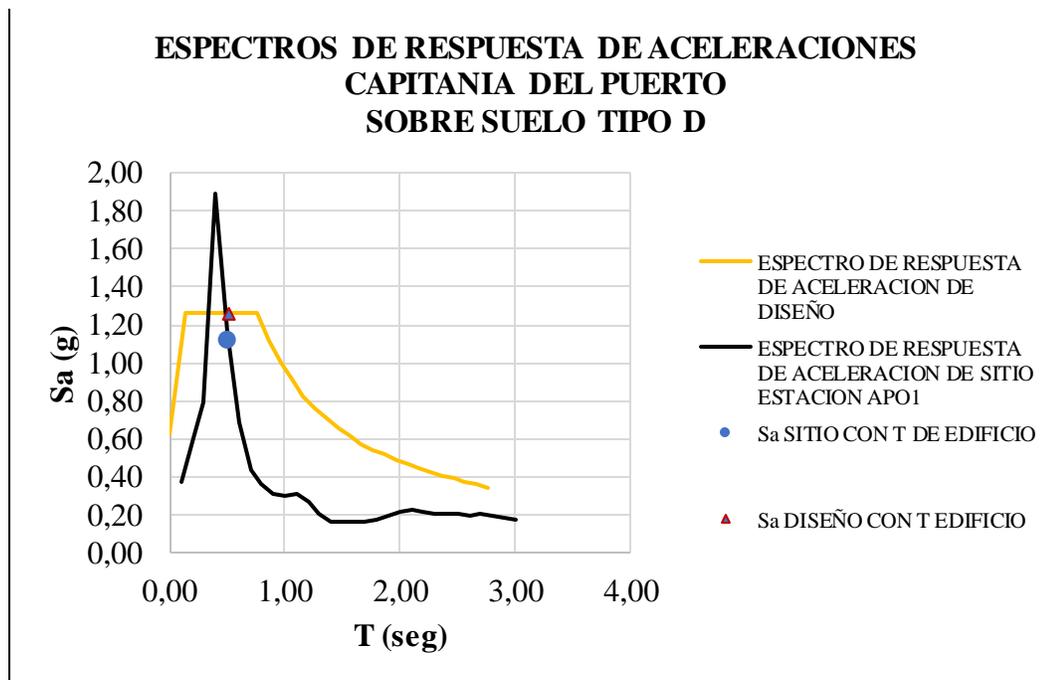


Ilustración 97. Espectros de respuesta de aceleraciones Capitanía del Puerto

Fuente: (Autor)

En la Tabla 70, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio de la Capitanía del Puerto.

Tabla 70. Factor de reducción sísmico efectivo Capitanía del Puerto

Factor de reducción sísmico Capitanía del Puerto	
Sa Diseño	1,26
Sa Sismo	1,11
R NEC-15	8
R Efectivo	1,13

Fuente: (Autor)

5.19.4. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Capitanía del Puerto, sobre un suelo tipo D, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación APO1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 98:

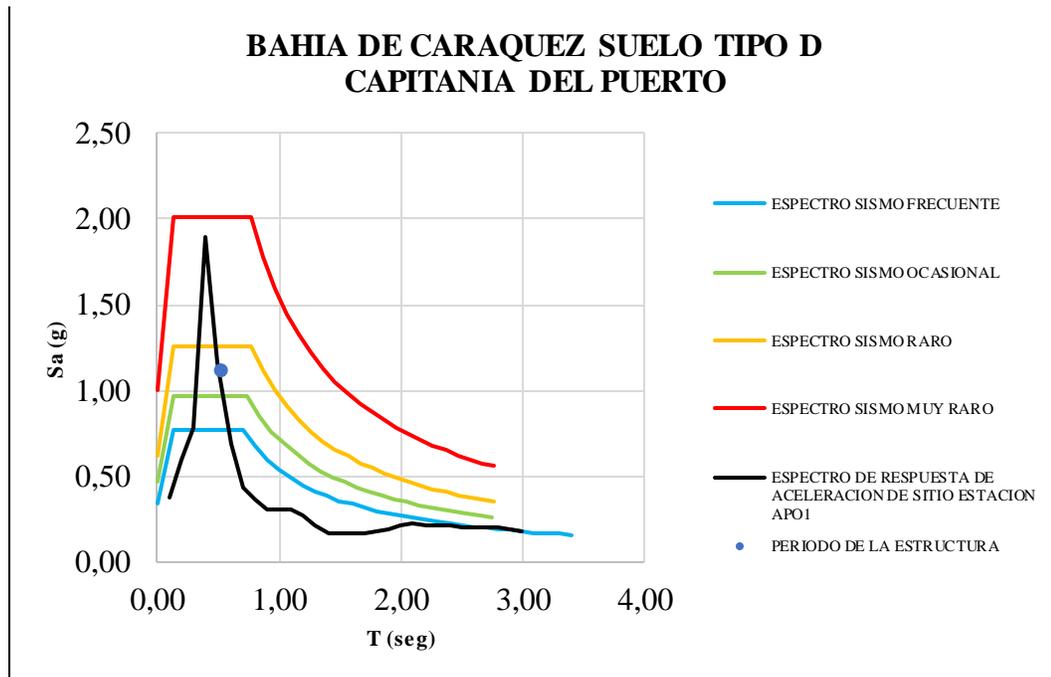


Ilustración 98. Ficha de desempeño sísmico Capitanía del Puerto

Fuente: (Autor)

Daños observados:

- Agrietamiento de la mampostería y desprendimiento del hormigón.
- Agrietamiento de la losa de entrepiso.

Causas de los daños:

- El edificio sufrió asentamiento diferencial en parte de su estructura.
- Irregularidad en planta.
- El período de la estructura se encontraba dentro de la zona de amplificación de fuerzas sísmicas.

Sismo:

- El sismo se puede clasificar entre sismo ocasional-raro

Desempeño:

- El edificio no siguió prestando servicios después del sismo.
- El edificio tuvo que ser demolido.
- El edificio no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo ocasional.

5.20. Cuerpo de Bomberos en Bahía de Caráquez

El edificio del Cuerpo de Bomberos en la ciudad de Bahía de Caráquez, se encuentra sobre un suelo tipo D, tiene una altura total de 8 metros, es un edificio de hormigón armado y su sistema estructural es de pórticos resistentes a momento.

5.20.1. Período de la estructura:

Se obtuvo el período de la estructura, considerando su altura y sistema estructural. Como se muestra en la Tabla 71:

Tabla 71. Período Cuerpo de Bomberos

Período Cuerpo de Bomberos	
C _t	0,055
α	0,9
h _n (m.)	8
Fórmula: $T = C_t h_n^\alpha$	
T (seg.)	0,36

Fuente: (Autor)

5.20.2. Deriva inelástica

Con el valor de período de la estructura, $T=0,36$ segundos, se ingresó al gráfico del espectro de desplazamiento y se obtuvo el valor del desplazamiento S_d , del edificio. Como se muestra en la Ilustración 99:

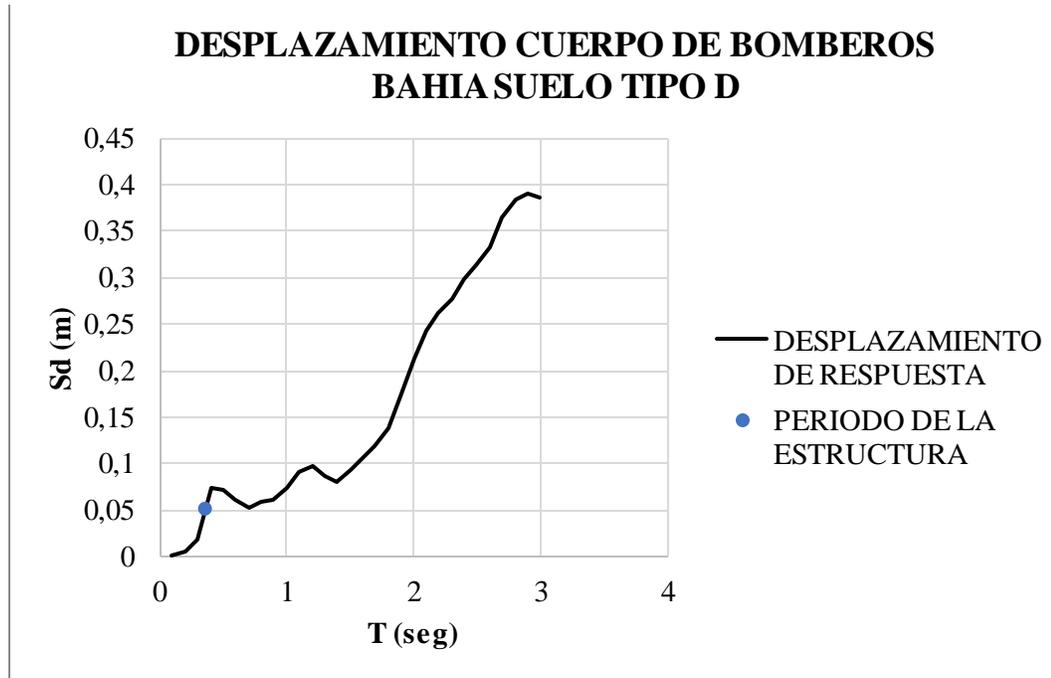


Ilustración 99. Desplazamiento edificio Cuerpo de Bomberos

Fuente: (Autor)

Con el valor del desplazamiento del edificio; se obtuvo el valor de la deriva, para el edificio del Cuerpo de Bomberos y se comparó con el valor de la deriva máxima de NEC-15; como se muestra en la Tabla 72:

Tabla 72. Deriva Cuerpo de Bomberos

Deriva Cuerpo de Bomberos	
Sd	0,0512
$\Delta E = \frac{Sd}{H}$	
ΔE	0,0064
$\Delta m = 0.75 * \Delta E$	
Δm	$0,0048 \leq 0.02$

Fuente: (Autor)

5.20.3. Factor de reducción de resistencia sísmica

Con el período de la estructura, se ingresó en el espectro elástico de diseño y en el espectro de aceleración de sitio; se obtuvo el Sa diseño y el Sa sismo. Como se muestra en la Ilustración 100:

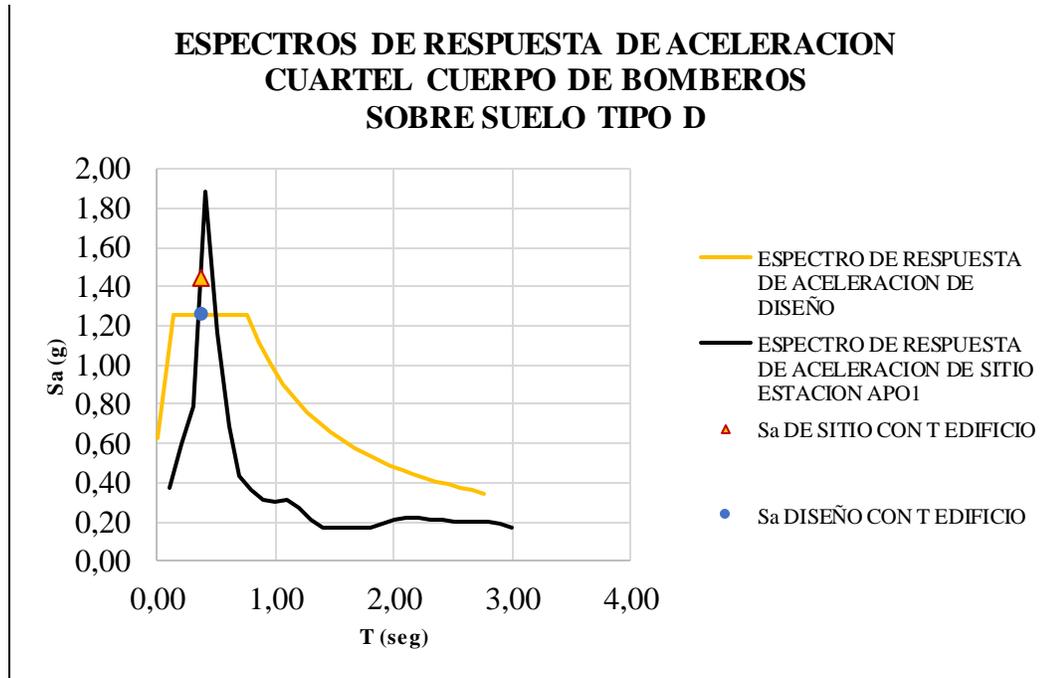


Ilustración 100. Espectros de respuesta de aceleración Cuerpo de Bomberos

Fuente: (Autor)

En la Tabla 73, se muestra el factor de reducción sísmico efectivo, para el edificio del Cuerpo de Bomberos.

Tabla 73. Factor de reducción sísmico efectivo Cuerpo de Bomberos

Factor de reducción sísmico Cuerpo de Bomberos	
Sa Diseño	1,26
Sa Sismo	1,44
R NEC-15	8
R Efectivo	0,88

Fuente: (Autor)

5.20.4. Ficha de desempeño sísmico Cuartel Cuerpo de Bomberos

Para clasificar el tipo de sismo que actuó en el edificio Cuartel Cuerpo de Bomberos, sobre un suelo tipo D, se comparó los espectros de respuesta elásticos de aceleraciones con el espectro de aceleración de sitio, estación APO1 y el período de la estructura; como se muestra en la Ilustración 101:

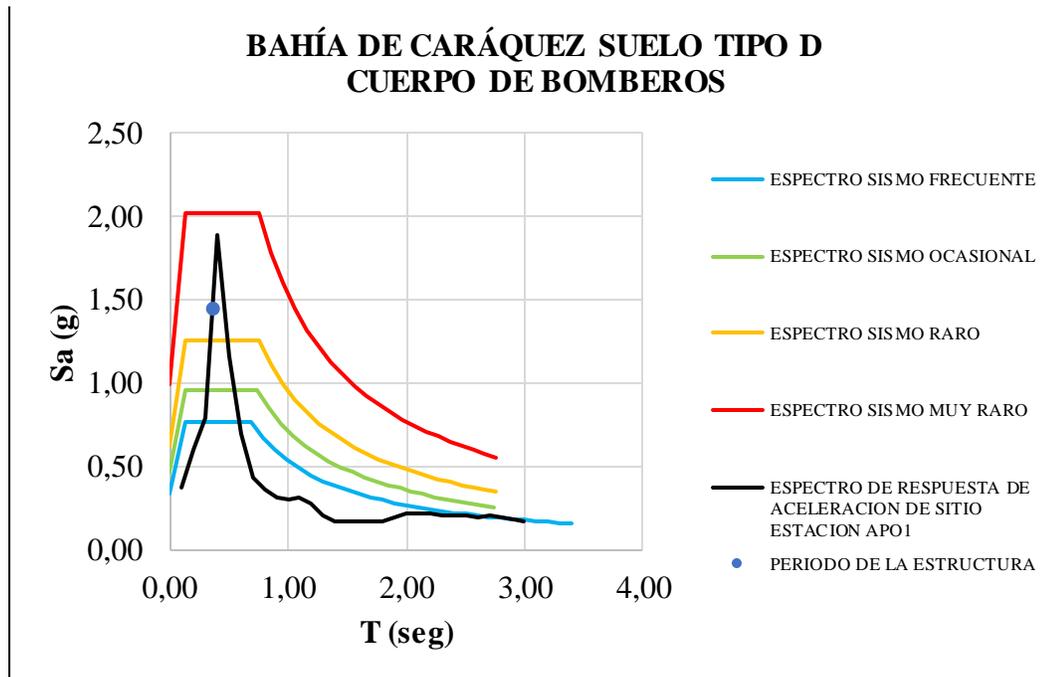


Ilustración 101. Ficha desempeño sísmico Cuerpo de Bomberos

Fuente: (Autor)

Daños observados:

- Daños no estructurales en mampostería.
- Paredes cuarteadas
- En la fachada de la primera planta se observó colapso parcial de pared.

Causas de los daños:

- El período de la estructura se encontraba en zona de amplificación sísmica en la meseta del espectro.

Sismo:

- El tipo de sismo que sintió el cuartel de Bomberos de bahía de Caráquez se puede clasificar como un sismo raro-muy raro.

Desempeño:

- El edificio del Cuartel de Bomberos de Bahía, no siguió operando inmediatamente después del sismo.
- La estructura del Cuartel de Bomberos de Bahía, no tuvo un correcto desempeño sísmico; ya que no cumplió con lo especificado en la norma NEC-15, para un sismo de categoría raro.

5.21. Resumen de los resultados obtenidos

En la Tabla 74, se muestra un resumen con los resultados obtenidos de las edificaciones:

Tabla 74. Resumen de Resultados

Número	Edificios	Características	
1	Ex Cuartel de Bomberos	Ciudad	Guayaquil
		Período T (seg.)	0,397
		Deriva Δm	0,00035
		R Efectivo	6
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo frecuente
2	II Zona Militar	Ciudad	Guayaquil
		Período T (seg.)	0,51
		Deriva Δm	0,0006
		R Efectivo	4,8
		Desempeño	Correcto desempeño sísmico para un sismo frecuente
3	Cuartel Modelo	Ciudad	Guayaquil
		Período T (seg.)	0,59
		Deriva Δm	0,00058
		R Efectivo	5,59
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo frecuente
4	Jefatura Cuerpo de Bomberos	Ciudad	Guayaquil
		Período T (seg.)	0,815
		Deriva Δm	0,0017
		R Efectivo	2,48
		Desempeño	Correcto desempeño sísmico para un sismo frecuente
5	Cuartel Cuerpo de Bomberos	Ciudad	Portoviejo
		Período T (seg.)	0,48
		Deriva Δm	0,0049
		R Efectivo	0,96
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo raro

Número	Edificios	Características	
6	Unidad de Vigilancia Comunitaria	Ciudad	Portoviejo
		Período T (seg.)	0,32
		Deriva Δm	0,0028
		R Efectivo	1,25
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo ocasional
7	Comisión de Tránsito	Ciudad	Portoviejo
		Período T (seg.)	0,72
		Deriva Δm	0,0028
		R Efectivo	3
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo frecuente
8	Capitanía del Puerto	Ciudad	Manta
		Período T (seg.)	0,61
		Deriva Δm	0,0045
		R Efectivo	1,27
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo ocasional
9	Unidad de Vigilancia Comunitaria	Ciudad	Manta
		Período T (seg.)	0,66
		Deriva Δm	0,0041
		R Efectivo	1,54
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo frecuente
10	Capitanía del Puerto	Ciudad	Bahía de Caráquez
		Período T (seg.)	0,51
		Deriva Δm	0,0044
		R Efectivo	1,13
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo ocasional
11	Cuartel de Bomberos	Ciudad	Bahía de Caráquez
		Período T (seg.)	0,36
		Deriva Δm	0,0048
		R Efectivo	0,88
		Desempeño	No tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo raro

Fuente: (Autor)

Capítulo VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Con la elaboración del presente trabajo, se definió el desempeño sísmico de las edificaciones esenciales que se seleccionaron para el estudio, siguiendo el procedimiento que se indicó. Se pudo concluir lo siguiente:

En las edificaciones que se estudiaron en la ciudad de Guayaquil para los sismos del 16 de abril de 2016, se encontró que, edificios como el Cuartel modelo no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo que se clasificó como frecuente, el edificio no prestó servicios después del sismo. Las causas de su mal comportamiento fueron que la mampostería de la edificación carecía de adherencia suficiente con los elementos estructurales, el mal desempeño sísmico del edificio también se debió a que el período del edificio se encontraba en zona de amplificación de fuerzas sísmicas.

En Guayaquil también se analizó el edificio de la Jefatura del Cuerpo de Bomberos, esta edificación siguió funcionando después del sismo y presentó un correcto desempeño sísmico, para un sismo frecuente, el período de la estructura se encontraba más cercano al tramo descendente del espectro de aceleraciones, por lo que sintió una menor fuerza sísmica.

Para el sismo del 18 de agosto de 1980, se analizó el desempeño sísmico del Ex Cuartel de Bomberos, esta edificación no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo frecuente, las causas de su mal desempeño fueron su mala calidad de construcción, la edificación chocó con el edificio vecino y el periodo de la estructura se encontraba dentro de la zona de amplificación sísmica. Para este sismo también se estudió el edificio de la II zona militar, El mismo que presentó un correcto desempeño sísmico, para un sismo clasificado como frecuente, el edificio siguió operando después del sismo.

En la ciudad de Portoviejo para el sismo del 16 de abril de 2016. Se analizó el edificio del Cuartel del Cuerpo de Bomberos el mismo que no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo raro, las causas de su mal desempeño fueron la mala calidad de construcción, primer piso era débil en relación con el resto de pisos y que el período de la estructura se encontraba dentro de la zona de amplificación sísmica en la meseta del

espectro; este edificio no siguió funcionando después del sismo y por su nivel de daños tuvo que ser demolido.

En Portoviejo también se estudió el caso del edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria, este edificio no tuvo un correcto desempeño sísmico, para un sismo ocasional, debido a que no prestó servicios después del sismo y su periodo se encontraba dentro de la zona de amplificación sísmica. En Portoviejo también se estudió el edificio de la comisión de tránsito, no prestó servicio después del sismo, por lo que su desempeño sísmico fue malo, para un sismo de categoría frecuente, su periodo se encontraba en la zona descendente del espectro, el edificio fue demolido por su grado de afectación.

En la ciudad de Manta, tanto el edificio de la Capitanía del Puerto como la Unidad de vigilancia comunitaria, quedaron fuera de servicio después del sismo, ambas tuvieron un mal desempeño sísmico, en el caso de la Capitanía del Puerto para un sismo de categoría ocasional, el período del edificio se encontraba dentro de la zona de amplificación sísmica, por lo que estuvo sometido a fuerzas sísmicas altas. La Unidad de Vigilancia Comunitaria fue sometida a un sismo frecuente, las causas de su mal desempeño sísmico fueron que la estructura de acero fue muy flexible y se colocó mampostería de bloques, sin elementos confinantes, también se observó que la principal causa fue la ausencia de columnetas para confinar la mampostería.

Por último, en la ciudad de Bahía de Caráquez, el Edificio de la Capitanía del puerto no presentó un correcto desempeño sísmico, para un sismo clasificado como ocasional, debido a que la edificación no siguió operando después del sismo; las causas de su mal desempeño fueron que el edificio sufrió asentamiento diferencial en parte de su estructura, el período de la estructura se encontraba dentro de la zona de amplificación de fuerzas sísmicas, el edificio fue demolido. EL edificio del Cuartel de Bomberos de Bahía de Caráquez no tuvo un correcto desempeño sísmico para un sismo raro, el periodo de la estructura se encontraba dentro de la zona de amplificación sísmica.

En la mayoría de las edificaciones seleccionadas para nuestro estudio, se tiene que el tipo de sismo se clasifica como frecuente u ocasional; pese a esto un porcentaje muy elevado de los edificios quedaron fuera de servicio después de transcurrido el sismo, debido a su alto nivel de daños. Por lo que estos edificios no cumplen con lo especificado en la sección de desempeño sísmico para estructuras esenciales de la NEC-15.

El factor R efectivo que se obtuvo cuando se comparó el espectro de diseño y el espectro del sismo real nos dio en promedio un valor de 3,90 para sismos frecuentes. Las estructuras que se analizaron fueron diseñadas con el valor de $R=8$, que recomienda la Norma Ecuatoriana de la construcción vigente; lo que generó que las estructuras se comportaran inelásticamente, lo que explica el nivel de daños que sufrieron.

Se encontró que los periodos de algunas de las edificaciones que se estudiaron, se encontraban dentro de la zona de amplificación dinámica, en la meseta de los espectros; lo que generó un nivel alto de daños en las estructuras.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda la revisión técnica de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, ya que permite usar valores muy altos de R, generando estructuras con baja resistencia y escasa rigidez. Se debería utilizar un valor de $R=4$, para las edificaciones esenciales analizadas.

Se recomienda la utilización de aisladores sísmicos en zonas de alto riesgo sísmico para estructuras esenciales. Con esto se pretende lograr que el período de la estructura quede fuera de la zona de amplificación dinámica, para que las edificaciones puedan alcanzar un mejor desempeño sísmico.

Se recomienda limitar el valor de las derivas inelásticas al 1%; ya que el valor actual del 2% que se recomienda en NEC-15 es muy alto.

Se recomienda tener especial cuidado con el tipo de suelo donde se va a cimentar las edificaciones esenciales.

Bibliografía

- Aguiar, R. (2016). Comportamiento Estructural de Edificios Afectados por el Terremoto de 2016 en Manta. *Revista Ciencia*, 371.
- Armas, P. (2012). ACTUALIZACION DE LA EVALUACION DEL RIESGO SISMICO EN EDIFICIOS ESENCIALES DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Bastidas, G. (2019). Revisión del comportamiento durante el sismo del 16 de abril de 2016 de edificios en hormigón armado afectados por el sismo del 18 de agosto de 1980. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Bonifaz, H., & Haro, J. (2018). *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*. Quito: ESPE.
- Carchi, C. (2019). Revisión del comportamiento durante el sismo del 16 de abril de 2016 de edificios en hormigón armado afectados por el sismo del 13 de mayo de. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Castro, C. (2012). ACTUALIZACION DE LA EVALUACION DEL RIESGO SISMICO DE EDIFICIOS DE ESTRUCTURA MIXTA EN LOS SECTORES CON MAYOR RIESGO SISMICO DE GUAYAQUIL. (*Trabajo previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil*). UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, Guayaquil.
- CERESIS - UNESCO - ESCUELA POLITECNICA NACIONAL. (1998). *El Terremoto de Bahía de Caráquez - Ecuador Leccioness por Aprender*. Quito.
- CERESIS-UNESCO. (1998). Lecciones por aprender. *El terremoto de Bahía de Caráquez - Ecuador*, 7.
- Cevallos, K. (10 de Agosto de 2016). *Oromartv*. Obtenido de <http://oromartv.com/reconstruccion-unidades-policia/>
- Chucuyán, M. G. (2018). Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- El Diario . (13 de Noviembre de 2017). *El Diario.ec*. Obtenido de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/454181-16a-instituciones-no-vuelven-al-centro-de-portoviejo/>
- El Diario. (20 de Octubre de 2016). Demolieron edificio del Cuerpo de Bomberos y esperan nuevo cuartel. *El Diario*.
- El Diario. (26 de Mayo de 2016). Edificio de la Capitanía con días contados. *El diario*.

- El Diario. (8 de Septiembre de 2016). *El Diario.ec*. Obtenido de El Diario.ec:
<http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/405042-intervienen-las-unidades-policiales/>
- El Expreso. (9 de Enero de 2017). Edificios sin reparar a 8 meses del terremoto. *Diario EL Expreso*.
- El Telégrafo. (3 de Octubre de 1995). Fuerte tembor sacude al país. *Diario El Telégrafo*, pág. 1.
- El Telégrafo. (4 de Octubre de 1995). Muerto, heridos y 2 provincias incomunicadas. *Diario El Telégrafo*, pág. 9.
- El Telégrafo. (4 de Octubre de 1995). Pánico ciudadano por nuevo sismo en país. *Diario El Telégrafo*, pág. 9.
- El Telégrafo. (21 de Octubre de 2016). *eltelégrafo*. Obtenido de
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/terremoto-de-16-de-abril-sera-un-eje-para-analizar-la-gestion-de-riesgos-en-salud>
- El Telégrafo. (27 de Abril de 2016). La policía evalúa daños en edificios afectados por terremoto. *Diario El Telégrafo*.
- El Universo . (30 de Junio de 2016). Temor de peatones al pasar por el edificio de Unidad de Vigilancia . *Diario El Universo*.
- El Universo. (4 de Agosto de 2003). *El Universo*. Obtenido de El Universo:
<https://www.eluniverso.com/2003/08/04/0001/12/2DEEDDC7B36448318DB10636B11AFDA5.html>
- El Universo. (22 de Abril de 2016). El cuartel de bomberos de Puerto López es una de las estructuras con riesgo de colapso. *Diario El Universo* .
- El Universo. (10 de Junio de 2016). El edificio del organismo debe demolerse. *Diario El Universo*.
- El Universo. (14 de Mayo de 2016). El terremoto dañó 60 UPC y dos comandos en cantones de Manabí. *Diario El Universo*.
- El Universo. (14 de Mayo de 2016). El terremoto dañó 60 UPC y dos comandos en cantones de Manabí. *Diario El Universo*, pág. 2.
- El Universo. (16 de Abril de 2016). Terremoto de 7,8 de magnitud sacude zona costera de Esmeraldas, en Ecuador. *Diario El Universo*.
- Expreso. (19 de Abril de 2016). Las sedes judiciales, algunas recién estrenadas, también sufrieron el temblor. *Diario Expreso*.
- Expreso. (22 de junio de 2016). SISMOS DE MANABI AFECTAN EDIFICIOS DE LA ARMADA. *Diario Expreso*.

- GEER-ATC. (2016). *EARTHQUAKE RECONNAISSANCE APRIL 16TH 2016, MUISNE, ECUADOR.*
- Geo Estudios. (2005-2006). *MANUAL PRÁCTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA Y SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.* Guayaquil.
- Geo Estudios. (2011). *ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD.* Guayaquil.
- González, I. (2012). "ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SISMICO EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO EN LOS SECTORES CON MAYOR RIESGO SISMICO DE GUAYAQUIL. (*Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil*). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, GUAYAQUIL.
- IG-EPN. (6 de Marzo de 2013). *Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional.* Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/cayambe/762-hoy-se-recuerda-el-terremoto-del-reventador-de->
- IG-EPN. (2016). *Informe Sísmico Especial N.- 18.* Quito.
- IG-EPN. (2016). *Informe Sísmico Especial N.-19.* Quito.
- IG-EPN. (16 de Abril de 2018). *igepn.* Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1572-dos-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-actualizacion-sismica>
- IG-EPN. (8 de Agosto de 2019). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.* Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>
- M.I. Municipalidad de Santiago de Guayaquil. (1999). *Proyecto Radius.* Guayaquil.
- NEC. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sísmo Resistente.*
- Olmos, J. (9 de Abril de 2017). Bomberos fueron héroes en rescate, pero viven entre las paredes rotas. *Diario El Universo.*
- Ponguillo, C., & Quinancela, J. (2016). REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA APLICADO A LA UNIDAD DE FLAGRANCIA EN LA AV. DE LAS AMÉRICAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL. (*Tesis de pregrado*). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Villacrés, A. (2016). *Evaluación Cuerpo de Bomberos Portoviejo.* Guayaquil.



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Aguilar Reyes, Jorge Enrique**, con C.C: # **0703403519** autor/a del trabajo de titulación: **Desempeño de edificios esenciales durante sismos en Ecuador – caso instalaciones militares, de policía, bomberos y defensa civil.** 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: **Aguilar Reyes, Jorge Enrique**

C.C: **0703403519**



REPOSITORIO 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 instalaciones militares, de policía, bomberos y defensa civil.		
AUTOR	Jorge Enrique Aguilar Reyes		
REVISOR/TUTOR	Ing. Alex Villacrés Sánchez		
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:	161
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estructura y Sísmica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Edificaciones, sismos, daños, espectros, periodos, derivas, desempeño.		
RESUMEN/ABSTRACT: La información sobre las edificaciones afectadas en los sismos, se recopiló de los diferentes diarios en circulación en el Ecuador, revistas del sector de la construcción, informes técnicos realizados por instituciones nacionales e internacionales relacionadas al sector de la construcción, como el proyecto RADIUS, el informe presentado por el GEER. Con las edificaciones a estudiar identificadas; se procedió a encontrar los espectros elásticos de diseño, a partir de las curvas de peligro sísmico para las ciudades capitales, para sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro, según el método indicado en la NEC-15, en la sección de peligro sísmico. Se encontró y clasificó los suelos donde se encuentran cimentadas las diferentes edificaciones y estaciones sísmicas seleccionadas, según la clasificación de la NEC-15. Con los registros de aceleración de las diferentes estaciones, se encontraron los espectros de respuesta de sitio de aceleración y de desplazamiento, para las ciudades de Guayaquil, Portoviejo, Manta y Bahía de Caráquez. Se calculó los respectivos periodos de cada una de las estructuras estudiadas, según el método indicado en NEC-15, también se obtuvieron las derivas inelásticas y se Encontró el valor del factor de reducción efectivo de respuesta elástica. Luego, se clasificó el tipo de sismo que actuó sobre la edificación estudiada. Por último, se evaluó el desempeño sísmico de las edificaciones, según lo especificado en NEC-15 y dependiendo si la estructura siguió prestando servicios después del sismo o caso contrario. También se indicaron las causas del buen o mal desempeño para cada edificio de la muestra.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: +593-4-2204795	E-mail: jorge.aguilar_reyes@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):			