



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TEMA:**

**DESEMPEÑO DE EDIFICIOS EN ECUADOR DURANTE EL TERREMOTO  
DEL 16 DE ABRIL DE 2016 SEGÚN SU SISTEMA CONSTRUCTIVO.**

**AUTOR:**

**Chérrez Herrera, Ronny Amador**

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

**INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

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

**Guayaquil, Ecuador**

**14 de septiembre del 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Chérrez Herrera, Ronny Amador, como requerimiento para la obtención del título de ingeniero civil.

### **TUTOR**

f. \_\_\_\_\_

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

### **DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

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

**Guayaquil, a los catorce días del mes de septiembre del año 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Chérrez Herrera, Ronny Amador**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Desempeño de edificios en Ecuador durante el terremoto del 16 de abril de 2016 según su sistema constructivo**, previo a la obtención del título de Ingeniera 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 catorce días del mes de septiembre del año 2020**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Chérrez Herrera, Ronny Amador**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Chérrez Herrera, Ronny Amador**

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 en Ecuador durante el terremoto del 16 de abril de 2016 según su sistema constructivo**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los catorce días del mes de septiembre del año 2020**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Chérrez Herrera, Ronny Amador**

# REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

- Documento:** [ronny.cherrez.pdf](#) (D78584748)
- Presentado:** 2020-09-03 23:00 (-05:00)
- Presentado por:** Clara Glas (claglas@hotmail.com)
- Recibido:** clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Trabajo de titulación - CHERREZ RONNY [Mostrar el mensaje completo](#)  
9% de estas 31 páginas, se componen de texto presente en 8 fuentes.

**Lista de fuentes:**

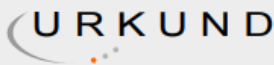
- [https://amallquis.files.wordpress.com/2013/04/id...](#) ✓
- [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-conten...](#) ✓
- [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-conten...](#) □
- [http://www.igepep.edu.ec/1324-informe-sismico-e...](#) ✓
- [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/1...](#) □
- [https://docplayer.es/92966806-Universidad-de-g...](#) □

**Fuentes alternativas:**

2 Advertencias. Reinciar. Exportar. Compartir.

FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL TEMA:  
DESEMPEÑO DE EDIFICIOS EN ECUADOR DURANTE EL  
TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016 SEGÚN SU SISTEMA  
CONSTRUCTIVO. AUTOR: Chérrez Herrera, Ronny Amador Trabajo  
de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL  
TUTOR: Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl Guayaquil, Ecuador 14

Activar Windows



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** ronny.cherrez.pdf (D78584748)  
**Submitted:** 9/4/2020 6:00:00 AM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 9 %

### Sources included in the report:

TESISjoffre guambuguete..pdf (D13829977)  
1476721231\_CARRILLO.docx (D22464636)  
[http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11226/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-266.pdf](#)  
[http://www.igepep.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html](#)  
[https://amallquis.files.wordpress.com/2013/04/identificac3b3n-de-los-sistemas-estructurales-bc3a1sicos.pdf](#)  
[https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-AC-Estructuras-de-Acero.pdf](#)  
[https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf](#)  
[https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf](#)

### Instances where selected sources appear:

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a mis padres por darme una buena educación y criarme con los valores correctos a lo largo de toda mi vida, agradezco su apoyo incondicional en cada una de las decisiones que he tomado.

Agradezco a mis compañeros y amigos por acompañarme en esta carrera y salir juntos adelante.

A todos mis profesores por compartir sus conocimientos a lo largo de mi carrera universitaria, en especial a mi tutor de tesis, Ing. Alex Villacrés por su paciencia, su tiempo y su conocimiento impartido durante este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación va dedicado a mis padres y a toda mi familia. Por acompañarme en este largo camino y darme su apoyo que siempre fue necesario.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b><u>CAPÍTULO 1</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>1. GENERALIDADES</u></b>	<b><u>2</u></b>
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	4
<b><u>CAPÍTULO 2</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>2. MARCO TEÓRICO</u></b>	<b><u>4</u></b>
2.1. SISTEMA ESTRUCTURAL	5
2.1.1. PÓRTICO CON VIGAS PERALTADAS	6
2.1.2. PÓRTICO CON VIGAS BANDA	9
2.1.3. PORTICOS CON DIAGONALES RIGIDIZADORAS	11
2.1.4. PÓRTICOS CON MUROS ESTRUCTURALES	15
2.1.5. CASCARONES DE HORMIGÓN ARMADO	17
<b><u>CAPÍTULO 3</u></b>	<b><u>20</u></b>
<b><u>3. DESARROLLO</u></b>	<b><u>20</u></b>
3.1. SELECCIÓN DE LOS EDIFICIOS	20
3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS DEL CASO DE ESTUDIO	22
3.2.1. FLORERÍA ESMERALDA	22
3.2.2. MUNICIPIO PEDERNALES	24
3.2.3. CORPORACIÓN ADUANERA DEL ECUADOR	27



3.2.4. UNIDAD DE VIGILANCIA COMUNITARIA	28
3.2.5. MALL DEL PACÍFICO	30
3.2.6. FARMACIA COMERCIO	32
3.2.7. LAST MAR	35
3.2.8. JUANA WACHO	36
3.2.9. MUNICIPIO CANTÓN SUCRE	38
3.2.10. CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES	41
3.2.11. TEMPLO NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO	42
3.2.12. HOTEL HOLIDAY INN	45
3.2.13. COMPLEJO JUDICIAL DE GUAYAQUIL	46
3.2.14. UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” (FACULTAD DE COMERCIO EXTERIOR)	48
3.2.15. MUSEO CENTRO CULTURAL	49
3.2.16. SAIL PLAZA HOTEL	51
3.2.17. SALA DE VELACIONES	54
3.2.18. LABORATORIOS DE ASFALTO Y SUELOS – UCSG	56
3.2.19. CAFÉ BOMBONS	56
<b>3.3. CONSIDERACIONES BAJO LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>59</b>
3.3.1. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y FACTOR DE ZONA Z	59
3.3.2. GEOLOGÍA LOCAL	61
3.3.3. CATEGORÍA DE EDIFICIO Y COEFICIENTE DE IMPORTANCIA I	69
3.3.4. IRREGULARIDADES Y COEFICIENTES DE CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL	72
3.3.5. DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE VIBRACIÓN T	76
3.3.6. FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA SÍSMICA R	79
<b>3.4. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ESTACIONES ACELEROGRÁFICAS EN EL SISMO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016</b>	<b>82</b>
3.4.1. ESPECTRO DE RESPUESTA EN ESTACIÓN APED (PEDERNALES)	83

3.4.2. ESPECTRO DE RESPUESTA EN ESTACIÓN AMNT (MANTA)	84
3.2.1. ESPECTRO DE RESPUESTA EN ESTACIÓN APO1 (PORTOVIEJO)	86
3.2.1. ESPECTRO DE RESPUESTA EN ESTACIÓN ACHN (CHONE)	87
3.2.1. ESPECTROS DE RESPUESTA EN ESTACIONES AGYE Y AGY2 (GUAYAQUIL)	88
<b>3.5. INTENSIDAD DE SISMO</b>	<b>89</b>
<b>3.6. GRADO DE DAÑO</b>	<b>92</b>
3.6.1. NIVEL DE DESEMPEÑO SEGÚN NEC 2015	92
3.6.2. GRADO DE DAÑO SEGÚN MIDUVI	93
3.6.3. GRADO DE DAÑO POR MEDIO DE LA ESCALA DE EERI	95
3.6.4. ESCALAS DE DAÑO ESTUDIADAS POR LA NHRC	95
3.6.5. GRADOS DE DAÑO DE EDIFICIOS ANALIZADOS	97
<b><u>CAPÍTULO 4</u></b>	<b>101</b>
<b><u>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b>	<b>101</b>
<b><u>REFERENCIAS</u></b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE TABLA

TABLA 1. ALTURA MÍNIMA DE VIGAS NO PRE-ESFORZADAS.	9
TABLA 2. EDIFICIOS SELECCIONADOS PARA EL ANÁLISIS, SU SISTEMA ESTRUCTURAL Y UBICACIÓN.	20
TABLA 3. EDIFICIOS A ANALIZAR Y SU RESPECTIVO FACTOR Z.	60
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO	62
TABLA 5. ZONAS GEOTÉCNICAS, DESCRIPCIÓN GENERAL: ORIGEN GEOLÓGICO, UBICACIÓN Y TIPOS DE SUELO SEGÚN NEC 2015	65
TABLA 6. EDIFICIOS A ANALIZAR Y SU RESPECTIVO TIPO DE SUELO.	68
TABLA 7. CATEGORÍA DE EDIFICIOS E COEFICIENTES IMPORTANCIA I	70
TABLA 8. CATEGORÍA Y COEFICIENTE DE IMPORTANCIA DE EDIFICIOS A ANALIZAR.	70
TABLA 9. COEFICIENTES DE IRREGULARIDAD EN PLANTA.	73
TABLA 10. COEFICIENTES DE IRREGULARIDAD EN ELEVACIÓN.	74
TABLA 11. EDIFICIOS A ANALIZAR CON SUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE IRREGULARIDAD.	75
TABLA 12. COEFICIENTES SEGÚN SISTEMA ESTRUCTURAL.	77
TABLA 13. CÁLCULO DE PERIODOS DE VIBRACIÓN DE LOS EDIFICIOS A ANALIZAR.	77
TABLA 14. COEFICIENTE R PARA DISTINTOS SISTEMAS ESTRUCTURALES.	80
TABLA 15. COEFICIENTES R DE LOS EDIFICIOS A ANALIZAR.	81
TABLA 16. ESTACIONES DE ACELERÓMETROS.	82
TABLA 17. EDIFICIOS UBICADOS EN PEDERNALES Y SU RESPECTIVO PERÍODO DE VIBRACIÓN.	84
TABLA 18. EDIFICIOS UBICADOS EN MANTA Y SU RESPECTIVO PERÍODO DE VIBRACIÓN.	85

TABLA 19. EDIFICIOS UBICADOS EN PORTOVIEJO Y SU RESPECTIVO PERÍODO DE VIBRACIÓN.	86
TABLA 20. EDIFICIOS UBICADOS EN BAHÍA DE CARÁQUEZ Y SU RESPECTIVO PERÍODO DE VIBRACIÓN.	87
TABLA 21. EDIFICIOS UBICADOS EN GUAYAQUIL Y SU RESPECTIVO PERÍODO DE VIBRACIÓN.	88
TABLA 22. EDIFICIOS A ANALIZAR CON SU RESPECTIVA INTENSIDAD DE SISMO.	90
TABLA 23. CONTROL DE DAÑO Y NIVELES DE DESEMPEÑO PARA EDIFICIOS.	92
TABLA 24. DEFINICIÓN D ESTADO DE DAÑO.	95
TABLA 25. ESCALA DE DAÑO EN ESTRUCTURAS.	96
TABLA 26. DIFERENTES GRADOS DE DAÑO DE ESTRUCTURAS ANALIZADAS, ORDENADO DE MAYOR A MENOR SEGÚN ESCALA DE MERCALLI.	97
TABLA 27. DIFERENTES GRADOS DE DAÑO DE ESTRUCTURAS ANALIZADAS, ORDENADO SEGÚN EL NIVEL DE DESEMPEÑO DE SEVERO A MUY LIGERO.	98
TABLA 28. DIFERENTES GRADOS DE DAÑO DE ESTRUCTURAS ANALIZADAS, ORDENADO SEGÚN EL GRADO DE DAÑO (EERI) DE MAYOR A MENOR.	99
TABLA 29. DIFERENTES GRADOS DE DAÑO DE ESTRUCTURAS ANALIZADAS, ORDENADO SEGÚN EL GRADO DE DAÑO (NHRC) DE MAYOR A MENOR.	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. A) VIGA PERALTADA. B) VIGA PERALTADA INVERTIDA.	7
FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DE UNA VIGA A FLEXIÓN.	8
FIGURA 3. VIGA BANDA.	10
FIGURA 4. FALLAS EN LOS NUDOS DE LOSAS PLANAS.	11
FIGURA 5. TIPOS MÁS COMUNES DE PEAC.	13
FIGURA 6. TIPOS MÁS COMUNES DE PAE.	15
FIGURA 7. EJEMPLO DE MURO DE CORTE.	16
FIGURA 8. UBICACIÓN RECOMENDABLE DE MUROS ESTRUCTURALES.	17
FIGURA 9. COMPORTAMIENTO DE CASCARÓN TIPO BÓVEDA.	19
FIGURA 10. UBICACIÓN DE EDIFICIOS A ANALIZAR.	22
FIGURA 11. UBICACIÓN DE FLORERÍA ESMERALDAS. $1^{\circ}03'28.5''S$ $80^{\circ}27'30.1''W$	23
FIGURA 12. EDIFICIO ANTES DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	23
FIGURA 13. EDIFICIO DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	24
FIGURA 14. UBICACIÓN DEL ANTIGUO MUNICIPIO DE PEDERNALES. $0^{\circ}04'15.5''N$ $80^{\circ}03'19.2''W$	25
FIGURA 15. FOTO DEL EDIFICIO DESPUÉS DEL TERREMOTO.	26
FIGURA 16. FOTOS DE LA ESTRUCTURA TOMADA DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 2016.	26
FIGURA 17. UBICACIÓN DE LA CAE. $0^{\circ}56'26.9''S$ $80^{\circ}43'42.1''W$	27
FIGURA 18. A) CAÍDA DE ENLUCIDO EN COLUMNAS CIRCULARES; B) ENLUCIDO MUY GRUESO; C) FISURAS EN RECUBRIMIENTO DE COLUMNA; D) DAÑO EN MAMPOSTERÍA.	28
FIGURA 19. UBICACIÓN DE LA UVC DE MANTA. $0^{\circ}57'55.1''S$ $80^{\circ}42'23.3''W$ .	29

FIGURA 20. A) VISTA GENERAL. B) MAMPOSTERÍA CON DAÑO EXTENSIVO EN FACHADA PRINCIPAL. C) MAMPOSTERÍA CON DAÑO EXTENSIVO EN FACHADA POSTERIOR. D) COLUMNAS DE ACERO RELLENAS DE HORMIGÓN. E) FALTA DE ELEMENTOS CONFINANTES.	29
FIGURA 21. UBICACIÓN DEL MALL DEL PACÍFICO. 0°56'33.3"S 80°43'58.6"W	30
FIGURA 22. EDIFICIO EN CONSTRUCCIÓN DESPUÉS DEL TERREMOTO. FOTO OBTENIDA DEL ING. ALEX VILLACRÉS.	31
FIGURA 23. EDIFICIO EN CONSTRUCCIÓN DESPUÉS DEL TERREMOTO. FOTO OBTENIDA DEL ING. ALEX VILLACRÉS.	31
FIGURA 24. UBICACIÓN DE LA FARMACIA COMERCIO EN PORTOVIEJO. 1°03'16.5"S 80°27'13.2"W	32
FIGURA 25. EDIFICIO ANTES DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	33
FIGURA 26. EDIFICIO DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	33
FIGURA 27. EDIFICIO DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	34
FIGURA 28. EDIFICIO DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	34
FIGURA 29. UBICACIÓN DE EDIFICIO "LAST MAR" EN PEDERNALES. 0°04'14.7"N 80°03'18.6"W	35
FIGURA 30. EDIFICIO LUEGO DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	35
FIGURA 31. COLAPSOS DE PAREDES DE MAMPOSTERÍA.	36
FIGURA 32. FALLOS EN COLUMNAS.	36
FIGURA 33. UBICACIÓN DE EDIFICIO EN EL CANTÓN PEDERNALES. 0°04'15.2"N 80°03'18.6"W	37

FIGURA 34. ESTRUCTURA DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	37
FIGURA 35. DAÑO SEVERO EN MAMPOSTERÍA.	38
FIGURA 36. FALLOS EN COLUMNAS.	38
FIGURA 37. UBICACIÓN DE MUNICIPIO DE CANTÓN SUCRE. 0°36'09.0"S 80°25'28.0"W	39
FIGURA 38. ESTRUCTURA DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016. OBTENIDA POR EL ING. ALEX VILLACRÉS.	40
FIGURA 39. ESTRUCTURA DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016. OBTENIDA POR EL ING. ALEX VILLACRÉS.	40
FIGURA 40. UBICACIÓN DE CNT. 0°56'46.0"S 80°43'20.5"W	41
FIGURA 41. A) DISCONTINUIDAD DE LAS LOSAS SUPERIORES; B) INGRESO LATERAL; C) REPARACIÓN DE MAMPOSTERÍA (CON EL MISMO MATERIAL DE BLOQUE Y SIN COLUMNETAS); D) DINTEL SIN ANCLAJE DE HIERROS LONGITUDINALES A LAS COLUMNAS	42
FIGURA 42. UBICACIÓN DEL TEMPLO NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO. 0°57'10.9"S 80°42'45.8"W	43
FIGURA 43. ESTRUCTURA ANTES DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016.	44
FIGURA 44. FOTOGRAFÍA DE LA ESTRUCTURA DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016. OBTENIDA DEL ING. ALEX VILLACRÉS.	44
FIGURA 45. UBICACIÓN DEL HOTEL HOLIDAY INN. 2°08'43.0"S 79°53'01.8"W	45
FIGURA 46. HOTEL HOLIDAY INN.	46
FIGURA 47. UBICACIÓN DE CONSEJO DE LA JUDICATURA DEL GUAYAS. 2°07'41.2"S 79°56'05.9"W	47
FIGURA 48. COMPLEJO JUDICIAL DE GUAYAQUIL.	47
FIGURA 49. UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO. 0°57'14.7"S 80°44'50.3"W	48

FIGURA 50. A) FACHADA POSTERIOR DE LA FACULTAD DE COMERCIO EXTERIOR DE LA ULEAM B) DAÑOS EN LAS PAREDES DEL DESCANSO DE LA ESCALERA Y DAÑO EN EL LA CUBIERTA; C) DAÑO EN LA JUNTA DE CONSTRUCCIÓN ENTRE LA FACULTAD DE COMERCIO EXTERIOR Y ECONOMÍA POR EFECTO DEL MOVIMIENTO DEL BLOQUE DURANTE EL SISMO. D) AGRIETAMIENTO EN VIGAS (DAÑO EN VIGAS PERIMETRALES DE LA CUBIERTA) E) DAÑO EN VIGAS DEL SEGUNDO PISO.	49
FIGURA 51. UBICACIÓN DE MUSEO CENTRO CULTURAL DE MANTA. 0°56'31.4"S 80°43'49.0"W	50
FIGURA 52. A) FACHADA PRINCIPAL; B) FACHADA POSTERIOR; C) DAÑO EN MAMPOSTERÍA EN EL ÁREA DEL ASCENSOR EN EL PRIMER PISO ALTO; D) DAÑO EN INTERSECCIÓN DE MAMPOSTERÍA; E) VIGAS ORTOGONALES EN PRESENCIA DE FISURA EN VIGA PRINCIPAL CON PERALTE DE 90 CM, EN SUBSUELO; F) VIGA SECUNDARIA SIN FISURAS.	50
FIGURA 53. UBICACIÓN DEL HOTEL SAIL PLAZA EN MANTA. 0°56'45.0"S 80°45'01.9"W	51
FIGURA 54. HOTEL SAIL PLAZA EN CONSTRUCCIÓN, DESPUÉS DEL SISMO DEL 2016. OBTENIDA DEL ING. ALEX VILLACRÉS.	52
FIGURA 55. DAÑOS EM PAREDES DE MAMPOSTERÍA. FOTO OBTENIDA DEL ING. ALEX VILLACRÉS.	53
FIGURA 56. UBICACIÓN DE SALA DE VELACIONES, BAHÍA DE CARÁQUEZ. 0°35'56.9"S 80°25'27.5"W	54
FIGURA 57. SALA DE VELACIONES. FOTO OBTENIDA POR EL ING. ALEX VILLACRÉS.	55
FIGURA 58. SALA DE VELACIONES. FOTO OBTENIDA POR EL ING. ALEX VILLACRÉS.	55
FIGURA 59. UBICACIÓN DE LABORATORIOS DE SUELOS Y ASFALTO DE LA UCSG. 2°10'51.6"S 79°54'17.6"W	56



FIGURA 60. UBICACIÓN DE CAFÉ BOMBONS. 2°09'47.1"S 79°55'53.2"W	57
FIGURA 61. CUBIERTA CON PARABOLOIDE HIPERBÓLICO DE HORMIGÓN ARMADO.	58
FIGURA 62. CUBIERTA CON PARABOLOIDE HIPERBÓLICO DE HORMIGÓN ARMADO.	58
FIGURA 63. ECUADOR, ZONAS SÍSMICAS PARA PROPÓSITOS DE DISEÑO Y VALOR DEL FACTOR DE ZONA Z	59
FIGURA 64. MAPA DE LAS ZONAS GEOTÉCNICAS DE GUAYAQUIL DEFINIDO DEL INFORME DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL DE 2014. TOMADO Y MODIFICADO DE VERA-GRUNAUER ET AL. (2014), Y ACTUALIZADO POR GEOESTUDIOS (2019).	65
FIGURA 65. CARACTERIZACIÓN DE SUELO MEDIANTE ONDAS DE CORTE Vs30 EN LA CIUDAD DE PORTOVIEJO.	66
FIGURA 66. CARACTERIZACIÓN DE SUELO MEDIANTE ONDAS DE CORTE Vs30 EN BAHÍA DE CARÁQUEZ.	66
FIGURA 67. CARACTERIZACIÓN DE SUELO MEDIANTE ONDAS DE CORTE Vs30 EN MANTA.	67
FIGURA 68. ONDAS DE CORTE EN ESTACIÓN APED.	67
FIGURA 69. ESPECTRO DE RESPUESTA DE MEDIA GEOGRÁFICA REGISTRADA EN ACELERÓMETRO. (LÍNEA AZUL)	83
FIGURA 70. ESPECTRO DE RESPUESTA DE MEDIA GEOGRÁFICA REGISTRADA EN ACELERÓMETRO. (LÍNEA AZUL)	84
FIGURA 71. ESPECTRO DE RESPUESTA DE MEDIA GEOGRÁFICA REGISTRADA EN ACELERÓMETRO. (LÍNEA AZUL)	86
FIGURA 72. ESPECTRO DE RESPUESTA DE MEDIA GEOGRÁFICA REGISTRADA EN ACELERÓMETRO. (LÍNEA AZUL)	87
FIGURA 73. ESPECTRO DE RESPUESTA DE MEDIA GEOGRÁFICA REGISTRADA EN ACELERÓMETRO. (LÍNEA AZUL).	88

FIGURA 74. ESPECTRO DE RESPUESTA DE MEDIA GEOGRÁFICA REGISTRADA EN ACELERÓMETRO. (LÍNEA AZUL)	88
FIGURA 75. MAPA DE INTENSIDADES DEL SISMO DEL 16 DE ABRIL DE 2016.	90
FIGURA 76. PORCENTAJE DE DAÑO DE ESTRUCTURAS EN LAS ZONAS MÁS AFECTADAS DE DIFERENTES CIUDADES.	94
FIGURA 77. DAÑO ESTRUCTURAL PROMEDIO EN PORCENTAJE CON RESPECTO AL NÚMERO DE PISOS.	94

## RESUMEN

Después del terremoto del 16 de abril del 2016, es necesario analizar los sistemas estructurales y su grado de daño. En este trabajo se estudiarán diferentes sistemas estructurales tales como: pórticos con vigas banda, pórticos con vigas descolgadas, arriostramientos, muros de corte y cascarones de hormigón armado. Se analizarán edificios que posean estos sistemas estructurales en condiciones similares. Se toma en cuenta las condiciones de la Norma ecuatoriana de la construcción para todos los edificios, determinando periodos de vibración y ubicarlos en los espectros de respuesta de los acelerógrafos registrados en el sismo del 2016. Se forman tablas multi variables tomando en cuenta varios factores de cada edificio, prevaleciendo el grado de daño de cada edificio en relación a su ubicación, material, y sobre todo su sistema constructivo. Llegando a una conclusión de cuál fue el sistema constructivo más desfavorable y cuál fue el que obtuvo el menor grado de daño.

**Palabras clave:** Sistema estructural, grado de daño, vigas descolgadas, vigas banda, arriostramientos, muro de corte.

## ABSTRACT

After the earthquake of April 16, 2016, it is necessary to analyze the structural systems and their degree of damage. In this work, different structural systems will be studied such as: frames with band beams, frames with dropped beams, bracing, shear walls and reinforced concrete shells. Buildings that have these structural systems under similar conditions will be analyzed. The conditions of the Ecuadorian construction standard are taken into account for all buildings, determining vibration periods and placing them in the response spectra of the accelerographs recorded in the 2016 earthquake. Multi-variable tables are formed taking into account several factors of each building, prevailing the degree of damage of each building in relation to its location, material, and especially its construction system. Reaching a conclusion of which was the most unfavorable construction system and which was the one that obtained the least degree of damage.

**Keywords:** Structural system, degree of damage, dropped beams, band beams, bracing, shear wall.

# CAPÍTULO 1

## 1. Generalidades

### 1.1 Introducción

Ecuador, es un país que se encuentra ubicado en el área geográfica con mayor actividad sísmica del planeta, ubicado en el cinturón de fuego del pacífico. País el cual ha sufrido varios terremotos a lo largo de su historia, la mayoría de estos terremotos son originados por la subducción de dos placas tectónicas: la placa de Nazca (placa oceánica) que al ser más densa se introduce bajo la placa Sudamericana (placa continental) provocando tensiones en el terreno lo cual induce desplazamientos importantes en el suelo.

En las costas del Ecuador, el 16 de abril del 2016 a las 18:58 horas, ocurrió un sismo con magnitud de 7,8 Mw, a 20 km de profundidad. El epicentro se localizó entre Muisne y Pedernales, en las provincias de Esmeraldas y Manabí. Sin duda Manabí fue la provincia más afectada por este Terremoto, por eso se la ha tomado como muestra para varios análisis después del terremoto.

En este trabajo de titulación se analizará varios edificios en Ecuador afectados en el terremoto del 2016. Se clasificarán los daños según su sistema constructivo: edificios de pórticos con vigas banda (losas planas), edificios de pórticos con vigas peraltadas, edificios de pórticos con muros estructurales, edificios de pórticos con arriostramientos, estructuras con cascarones de hormigón armado. También se clasificarán los daños según el material usado siendo hormigón armado o acero estructural.

Se escogerán Edificios con características similares y que estén ubicados no tan distanciados, para reducir la incertidumbre, también se ignorarán los daños que Antecedentes

El diseño de los edificios sismo-resistentes en el Ecuador ha sido diferenciado por los códigos o normas de la construcción, dependiendo de si han sido

construidos con vigas altas (peralte mayor al ancho), con vigas banda (peralte menor al ancho), con arriostramientos (diagonales) o con muros estructurales (muros de corte). También se consideran combinaciones de estos sistemas constructivos y dos distintos materiales (hormigón armado y acero).

En los casos de edificios con vigas altas, arriostramientos o muros estructurales, las normas NEC-2015 consideran un factor de reducción de la respuesta elástica con un valor máximo de  $R = 8$ .

En el otro extremo (edificio con vigas banda, sin arriostramientos ni muros), las mismas normas consideran un factor de reducción de la respuesta elástica con un valor máximo de  $R = 5$ .

Las normas NEC-2015 hacen diferencias entre estos tipos de edificios en lo relativo al método para el cálculo del período de vibración, pero no en lo relativo a la deriva máxima admisible (en todos los casos es igual a 0,02).

Durante el terremoto del 16 de abril de 2016, en las ciudades manabitas se observaron daños de menor o mayor grado en los edificios sismo-resistentes que usaban diferentes sistemas constructivos.

Es necesario hacer un inventario de los edificios que sufrieron daños durante el terremoto y clasificarlos de acuerdo al material de construcción y al sistema constructivo usado.

Se hipotiza que existió una relación entre el material, el sistema constructivo y el grado de daño experimentado por los edificios sismo-resistentes en las ciudades manabitas afectadas por el terremoto del 16 de abril de 2016.

Se recopilará información existente sobre edificios que fueron afectados por el terremoto del 16 de abril de 2016 en las ciudades manabitas de Pedernales, Bahía de Caráquez, Manta y Portoviejo; también de edificios en la ciudad de Guayaquil.

Se definirá el material de construcción (hormigón armado o acero) y el sistema constructivo usado en cada edificio (vigas altas, vigas banda, arriostramiento, muros estructurales o combinaciones de estos sistemas).

Se identificará el grado de daño experimentado por cada edificio (daño no estructural, daño estructural, pre colapso o colapso).

Se correlacionará el grado de daño con el material de construcción y el sistema constructivo utilizado, usando métodos estadísticos.

Se asociarán los resultados obtenidos con la intensidad del sismo en cada ciudad.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Clasificar los edificios afectados en Manabí por el terremoto del 16 de abril de 2016 de acuerdo al material de construcción (hormigón armado o acero) y al sistema constructivo (vigas altas, vigas banda, arriostramientos, muros estructurales o combinaciones de estos sistemas).

### **1.2.2 Objetivo específico**

- Determinar el grado de daño correspondiente a los edificios de cada categoría.
- Hallar la correlación entre grado de daño, material y sistema constructivo de los edificios de la muestra.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. Marco teórico**

Para que este trabajo de investigación sea de mayor entendimiento, se realizará una descripción de los diferentes sistemas estructurales y su comportamiento.

## **2.1. Sistema estructural**

Al hablar de sistemas estructurales en Ecuador, se toma en cuenta un sinnúmero de opciones que van desde una vivienda de adobe hasta los sistemas modernos con estructuras metálicas. En la región Costa y Oriente, sobre todo en los sectores de bajos recursos económicos, las viviendas están elaboradas con cañas y madera que no aseguran una correcta funcionalidad ante eventos sísmicos y son vulnerables a incendios. El equivalente en la región Sierra son las viviendas de Adobe en los sectores Coloniales que incluso son conservados como patrimonio cultural.

Una vez conocido el cemento como material de construcción, se implementaron construcciones con mayor rigidez, disminuyendo considerablemente la vulnerabilidad ante posibles desastres. Sin embargo, el criterio de construcción se vio enfocado en la economía y la estética, mas no en el diseño sismorresistente.

En el transcurso del tiempo las edificaciones hechas por el hombre han sufrido grandes afectaciones y colapsos parciales o totales, los cuales se han debido por el inadecuado diseño sismo resistente, materiales inapropiados o simplemente han sido arrasadas por la capacidad destructiva de sismos de grandes proporciones y los fenómenos naturales (terremotos, invierno, etc.).

Para el diseño sismorresistente de una estructura se toman en cuenta varios factores, los cuales son:

- La zona sísmica donde se va a construir la estructura: el factor de zona Z correspondiente y las curvas de peligro sísmico.
- Las características del suelo del sitio de emplazamiento
- El tipo de uso, destino e importancia de la estructura (coeficiente de importancia I)



### **2.1.1. Pórtico con vigas peraltadas**

Según (NEC, 2015) un pórtico especial sismo resistente es una estructura formada por columnas y vigas descolgadas del sistema de piso, que resiste cargas verticales y de origen sísmico, en la cual tanto el pórtico como la conexión viga-columna son capaces de resistir tales fuerzas y está especialmente diseñado y detallado para presentar un comportamiento estructural dúctil.

Por otra parte, las vigas son elementos estructurales que reciben las cargas de la losa y su función es transmitir las hacia otras vigas o hacia las columnas o muros. Generalmente los ejes de la estructura están ubicados en las vigas, teniendo las columnas ubicadas en las intersecciones. Se denomina pórtico o marco al sistema formado por vigas y columnas.

Además de la función ya mencionada, las vigas tienen una función importante en el desempeño sísmico, esta es la de resistir (junto a los demás elementos estructurales) los diferentes esfuerzos producidos por las fuerzas horizontales (cortante y momentos axiales) aportando sobre todo con la rigidez lateral.

Las vigas pueden ser peraltadas o bandas (losas planas) dependiendo de la altura del peralte. Se denomina viga peraltada aquella que tiene una altura mayor al espesor del techo y por tanto es visible. Las vigas peraltadas pueden ser invertidas, cuando sobre salen hacia la parte superior de la losa. El desempeño de una viga peraltada y de una invertida (de la misma altura) es el mismo en cuanto a resistencia y rigidez, lo que los diferencia son los esfuerzos internos de su alma, por tener una la carga en la parte superior de la viga y la otra la carga colgada sobre ella.

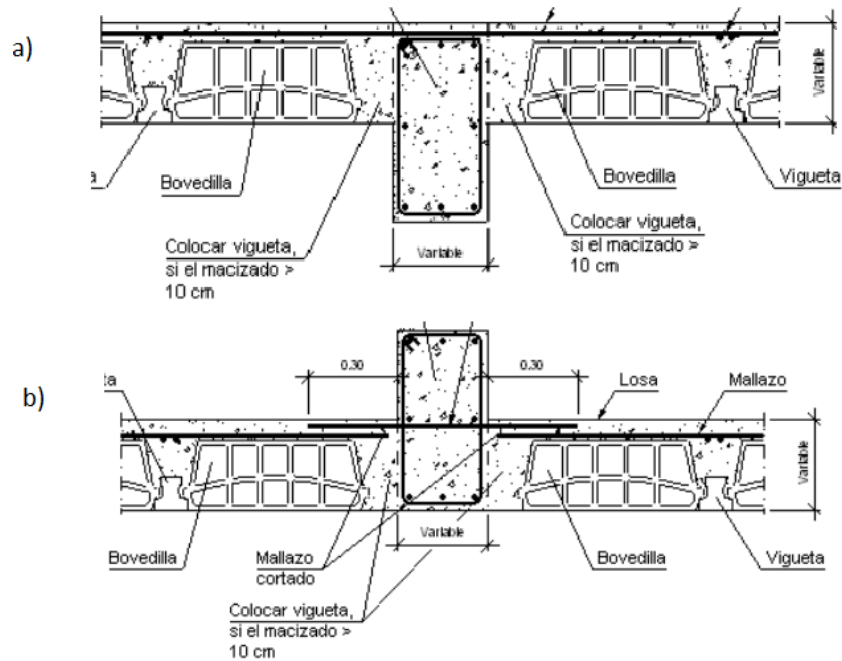


Figura 1. a) Viga peraltada. b) Viga peraltada invertida.

Fuente: (Detalles constructivos, 2004)

Las diferencias entre una viga peraltada y una chata si son notorias, puesto que comprende no solo su capacidad resistente por flexión y cortante, si no su capacidad de deformación (rigidez o flexibilidad). Es obvio que una viga peraltada se deformará menos y tendrá mayor capacidad resistente que una chata, debido a su mayor inercia y su mayor brazo de palanca.

En la siguiente Figura se observa una viga simplemente apoyada sometida a una carga uniformemente repartida, al deformarse por la acción de la carga se producen tracciones en la zona inferior y compresiones en la zona superior. Como el momento actuante no depende del peralte de la viga, si no de las cargas actuantes y de la luz y el momento resistente debe ser igual o mayor al actuante, mientras menor sea el peralte mayor serán los esfuerzos de compresión y/o tracción que se producirán en la viga.

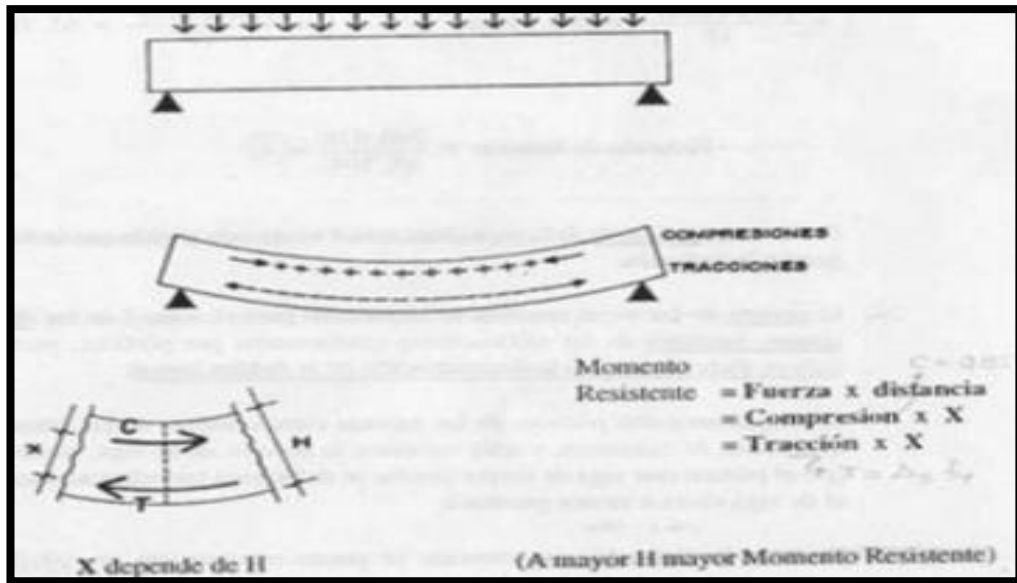


Figura 2. Comportamiento de una viga a flexión.

Fuente: (Arriaga, 2006)

El problema de la deformación, también depende en forma muy importante del peralte, debido a que la deflexión de una viga es inversamente proporcional a la inercia (momento de inercia) de la sección y esta depende del cubo del peralte. Por lo tanto, la resistencia a flexión de una viga es directamente proporcional al peralte de la viga.

Por eso tanto el ACI y la NEC recomiendan el uso de vigas peraltadas para un diseño sismo-resistente. A continuación, se presentan requerimientos de límites de dimensionamiento según normas usadas en Ecuador.

Según (NEC, 2015) los requisitos para elementos en flexión Las vigas y otros elementos estructurales de pórticos en flexión deberán presentar las siguientes características:

- El ancho mínimo  $b$  sea 250 mm
- El peralte mínimo cumpla con los requisitos de ACI 318 (“control de las deflexiones”)

Según (ACI, 2014) para las vigas no pre-esforzadas que no soporten ni estén ligadas a particiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, la altura total de la viga,  $h$  no debe ser menor que los

límites dados en la siguiente tabla, siendo así no será necesario calcular deflexiones.

Tabla 1. Altura mínima de vigas no pre-esforzadas.

Condición de apoyo	Altura mínima, $h$ <sup>[1]</sup>
Simplemente apoyada	$\ell/16$
Con un extremo continuo	$\ell/18.5$
Ambos extremos continuos	$\ell/21$
En voladizo	$\ell/8$

Fuente: (ACI, 2014)

Según (ACI, 2014) Las vigas deben cumplir con:

El ancho  $b_w$  debe ser al menos igual al menor de  $0.3h$  y  $250$  mm.

### 2.1.2. Pórtico con vigas banda

Según (NEC, 2015) un pórtico especial sismo resistente con vigas banda es una estructura compuesta por columnas y losas con vigas bandas (del mismo espesor de la losa) que resisten cargas verticales y de origen sísmico, en la cual tanto el pórtico como la conexión losa-columna son capaces de resistir tales fuerzas y está especialmente diseñada y detallada para presentar un comportamiento estructural dúctil. Para ser aceptable la utilización de la viga banda, ésta debe tener un peralte no menor a  $0.25m$ .

En Estados Unidos se realizaron los primeros estudios con vigas banda, este sistema es favorable ante la resistencia a carga vertical, pero ante la presencia de fuerzas sísmicas este sistema no es capaz de funcionar dentro del rango inelástico. Es recomendable no usar este sistema estructural en zonas de alto riesgo sísmico como lo es la Región Costa de Ecuador.

A pesar que no es recomendable este tipo de construcción, la Norma Ecuatoriana de la Construcción permite el diseño y construcción de estas vigas banda, no prohíbe su uso y otorga un valor para el Coeficiente de factor de reducción de resistencia sísmica (R). Los chequeos que pide la norma no toman en cuenta si la estructura es construida con vigas banda o con vigas peraltadas como: columna fuerte, nudo fuerte, viga fuerte a corte y punzonamiento, pero débil en flexión.

Las vigas banda son elementos estructurales de hormigón armado con capacidad de soportar cargas concentradas y cargas distribuidas, se las llaman de esta manera debido a que el ancho siempre será mayor que la altura del elemento. Las losas que están formadas por estas vigas se las llama losas planas, ya que la viga queda “escondida” en la losa al tener el mismo espesor.

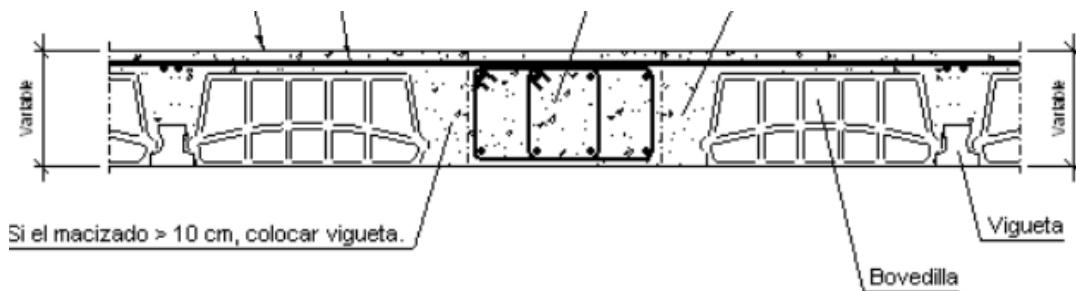
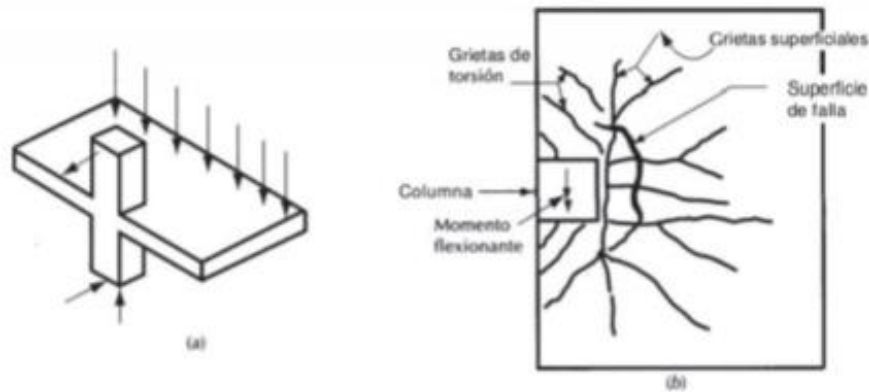


Figura 3. Viga banda.

Fuente: (Detalles constructivos, 2004)

Estas losas son muy utilizadas en las estructuras por la estética y facilidad de construcción, pero uno de sus principales problemas es el punzonamiento que se presenta en la unión losa-columna. La falla por punzonamiento es causada por el corte a carga vertical y momento desbalanceado producido durante el sismo, esto puede llevar que la conexión falle y que se produzca un colapso.

Como el peralte de las vigas es igual al peralte de la losa, la losa no se llega a sostener directamente de la viga, sino de las columnas, poniendo en riesgo la conexión losa-columna.



Figura

#### 4. Fallas en los nudos de losas planas.

Fuente: (Bermeo & Diego, 2017)

Este tipo de sistema ha fallado en previos eventos tales como Alaska (1964), Caracas (1967) y México (1985). Todos por falla por punzonamiento. A pesar de eso, este sistema es usado comúnmente en Chile (Alto riesgo sísmico).

De acuerdo al ACI318-14 (18.14) las losas planas pueden ser utilizadas como parte del sistema de gravedad en zonas de alta sismicidad.

La norma ecuatoriana de la construcción especifica disposiciones especiales para el diseño de edificios con vigas banda: Las vigas banda deben tener un peralte mínimo de 25 cm y cumplir con todos los requisitos de diseño y detallamiento para vigas presentados en las secciones anteriores. Para poder calcular el momento desbalanceado se debe asumir que las vigas banda han agotado su capacidad a flexión en ambos lados, es decir, se han formado rótulas plásticas. Es necesario calcular el momento desbalanceado para la verificación de la capacidad a punzonamiento de la unión viga banda – columna.

#### 2.1.3. Porticos con diagonales rigidizadoras

De acuerdo a la (NEC, 2015) indico que:

Un pórtico especial sismo resistente con diagonales rigidizadoras es un sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales

sismos resistentes como por diagonales estructurales, concéntricas o no, adecuadamente dispuestas espacialmente, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición el ubicar las diagonales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere pórtico con diagonales se requiere que el sistema de diagonales absorba al menos el 75% del cortante basal en cada dirección. (p.11)

Estos pórticos pueden ser arriostrados concéntricamente o excéntricamente.

#### **2.1.3.1. Pórticos especiales arriostrados concéntricamente (PEAC)**

De acuerdo a la (NEC, 2015) indico que:

Los pórticos especiales arriostrados concéntricamente son sistemas estructurales en los que los ejes centroidales de los miembros que se conectan a una junta se interceptan en un punto para formar una armadura vertical que resiste las cargas laterales. (p.53)

##### **2.1.3.1.1. Mecanismo de disipación de energía**

De acuerdo a la (NEC, 2015) indico que:

Los Pórticos Especiales Arriostrados Concéntricamente (PEAC) deben ser capaces de resistir deformaciones inelásticas significativas cuando estén sujetos a las fuerzas resultantes producidas por el sismo de diseño. Debido a su geometría, los PEAC proporcionan una acción de armadura cuyos miembros están sujetos primordialmente a cargas axiales en el rango elástico. Sin embargo, cuando el PEAC esté sujeto a las fuerzas resultantes producidas por el sismo de diseño, se espera que los miembros de arriostramiento (llamados también diagonales o contravientos) y sus conexiones desarrollen grandes deformaciones inelásticas cíclicas en tensión y en compresión en la zona de post-pandeo.

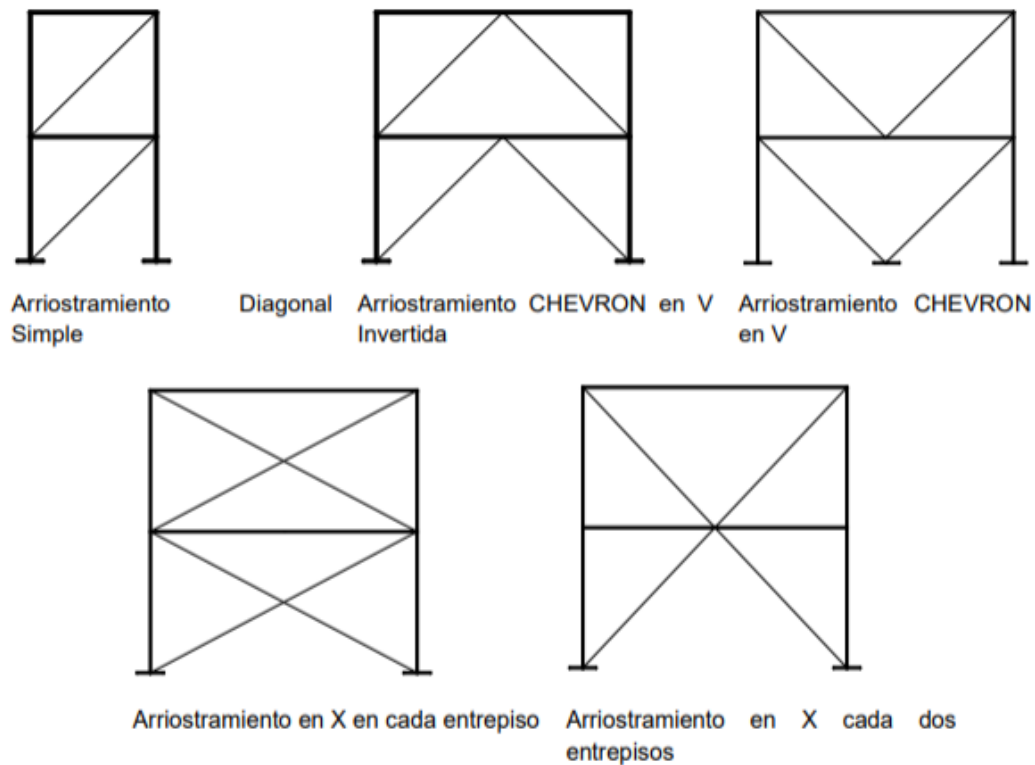


Figura 5. Tipos más comunes de PEAC.

Fuente: (NEC, 2015)

Para una correcta distribución de las fuerzas laterales las diagonales rigidizadoras deben estar colocadas de manera alternada, para que, para cualquier dirección de fuerza paralela a la línea de arriostramiento, al menos el 30% pero no más que el 70% de la fuerza total horizontal a lo largo de esta línea sea resistida por las diagonales en tensión, a menos que la resistencia disponible de cada diagonal en compresión sea mayor que la resistencia requerida resultante de la aplicación de las combinaciones de cargas estipuladas en la NEC-SE-CG.

### 2.1.3.2. Pórticos arriostrados excéntricamente (PAE)

De acuerdo a la (NEC, 2015) indico que:

Los Pórticos Arriostrados Excéntricamente (PAE) son sistemas estructurales formados por vigas, columnas y arriostramientos diagonales con configuraciones similares a la de los pórticos arriostrados concéntricamente



(PAC). La diferencia fundamental con los PAC radica en que por lo menos uno de los extremos de cada arriostramiento diagonal está conectado para aislar un segmento de viga que se denomina vínculo. De esta manera, la fuerza en el arriostramiento diagonal se transmite al vínculo principalmente por corte y flexión. Los PAE tienen como objetivo resistir las cargas laterales por medio de una combinación de acción de pórtico y acción de armadura. De esta manera, los PAE pueden considerarse como un sistema híbrido entre pórticos resistentes a momento y pórticos arriostrados concéntricamente. (p.61)

#### **2.1.3.2.1. Mecanismo de disipación de energía**

De acuerdo a (NEC, 2015) indico que:

Los vínculos de los pórticos arriostrados excéntricamente (PAE) deben ser capaces de resistir deformaciones inelásticas significativas cuando estén sujetos a las fuerzas resultantes producidas por el sismo de diseño. Los arriostramientos diagonales, columnas y los segmentos de vigas fuera de los vínculos deben ser diseñados para permanecer en el rango elástico ante las máximas cargas generadas en el vínculo debido a su incursión en la zona de fluencia y de endurecimiento por deformación. (p.61)

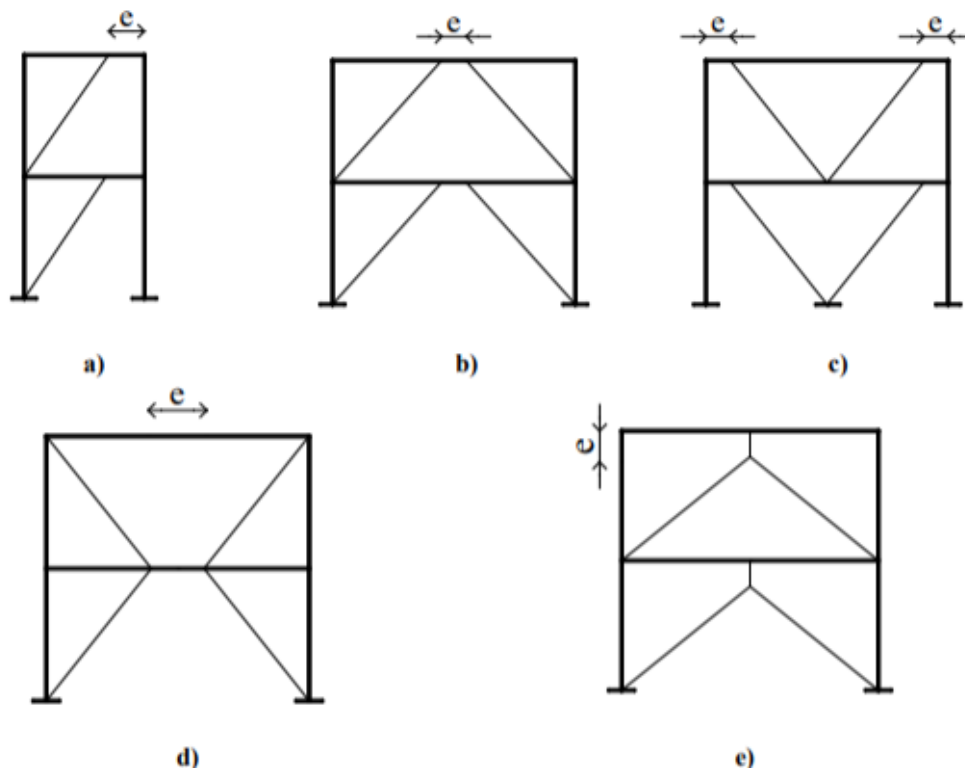


Figura 6. Tipos más comunes de PAE.

Fuente: (NEC, 2015)

#### 2.1.4. Pórticos con muros estructurales

Según (NEC, 2015):

Un pórtico especial sismo resistente con muros estructurales (sistemas duales) es un sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales sismos resistentes como por muros estructurales adecuadamente dispuestos espacialmente, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición ubicar los muros estructurales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y que mantienen su longitud en planta en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere como un sistema dual se requiere que los muros absorban al menos el 75 % del corte basal en cada dirección. (p.12)

Los muros estructurales también llamados muros de corte son elementos hechos de hormigón armado, diseñado para resistir fuerzas sísmicas en su

propio plano, cuyo diseño proporcionará un comportamiento dúctil ante cargas sísmicas. Por su naturaleza, las estructuras tienen mayor facilidad para soportar cargas verticales, por esa razón se construyen los muros de corte, para soportar cargas horizontales.

Su característica radica en que su ancho es de menor dimensión que las otras dos direcciones, proporcionando una alta rigidez en la dirección paralela a la cara del muro.

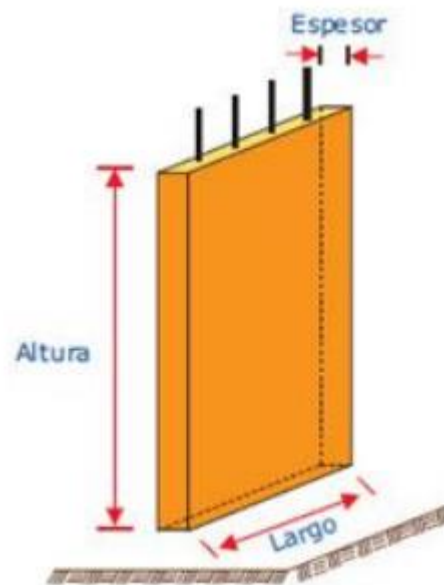


Figura 7. Ejemplo de muro de corte.

Fuente: (Maldonado Daniel, 2013)

La función principal de los muros de corte es rigidizar la estructura: limitando los desplazamientos laterales de manera que disminuyan los daños en elementos no estructurales, disminuyendo periodos de vibración y por lo tanto, disminuyendo las derivas de piso.

La ubicación de estos muros de corte dependerá del diseño arquitectónico, sin embargo, se debe buscar en lo posible tratar de hacer coincidir el centro de masas con el centro de rigidez de la estructura, evitando así la torsión en planta. Es recomendable ubicar los muros de corte en el perímetro y exterior de la estructura, esto hace que aumente la resistencia torsional.

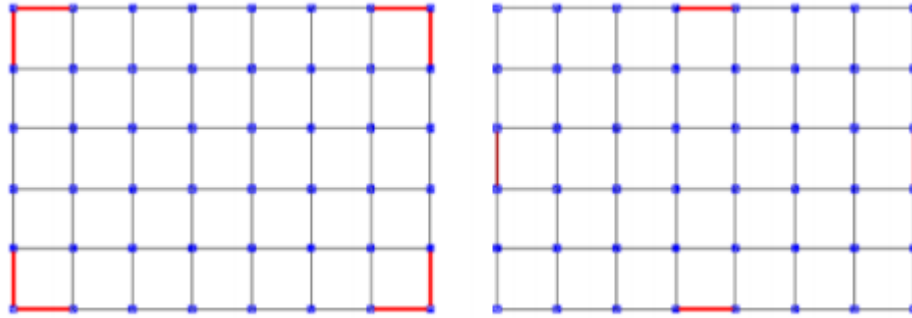


Figura 8. Ubicación recomendable de muros estructurales.

Fuente: (Maldonado Daniel, 2013)

Los muros también pueden estar ubicados en el interior de la estructura siempre y cuando satisfaga el diseño arquitectónico, es recomendable para edificaciones largas y generalmente se los ubica en el ducto de ascensores y/o escaleras.

Para el diseño de estos muros estructurales se requiere el uso de las normativas ACI 318S-14 y la NEC 2015 (NEC-SE-HM).

### 2.1.5. Cascarones de hormigón armado

A principios del siglo XX el concreto armado empezó a cobrar importancia debido a lo práctico del material y su uso se extendió, pero fue entre los años veinte y cuarenta cuando brillantes ingenieros y arquitectos imaginaron sus posibilidades para usarlo en cubiertas de edificios (Arq. Félix Candela en México) y en ingeniosos puentes (Ing. Robert Maillart, en Suiza).

Un cascarón de concreto es una estructura tridimensional con un espesor muy pequeño a comparación de sus otras dimensiones, este transfiere cargas a los apoyos solo por tensión, compresión y cortante. Su forma se define según las cargas que deba soportar.

En términos estructurales, las cáscaras de hormigón son eficientes por resistir muy bien los esfuerzos de compresión, absorbiendo pequeños momentos de

flexión en puntos específicos de su superficie, principalmente próximos a los apoyos.

Los cascarones también presentan desventajas, entre las más importantes está el encofrado, la impermeabilización, problemas acústicos y térmicos. Gracias al desarrollo de las pinturas plásticas se ha reducido este problema de la permeabilidad. Asimismo, las superficies curvas presentan dificultades acústicas, sobre todo si son grandes, lisas y duras. En tanto que los problemas térmicos se reducen mediante el uso de materiales aislantes aplicados al interior o al exterior de la cáscara; en el segundo caso, se los recubre, comúnmente, con hormigón rociado. Una adecuada circulación de aire en el interior de la cáscara contribuye a eliminar la condensación. Un método para eliminar los esfuerzos internos de tensión es construyéndola con hormigón prefabricado post tensado.

La capacidad portante del cascarón está dada por la forma que disponga el diseñador sin necesidad de aumentar la cantidad de material, la curvatura hacia arriba aumenta la rigidez y la capacidad de carga ya que se coloca parte del material lejos del “eje neutro”, aumentando la rigidez a la flexión.

Los cascarones son muy eficientes en las estructuras de cubierta donde las cargas se distribuyen de manera uniforme y las formas curvas son adecuadas. Como los cascarones por definición son muy delgados, son incapaces de resistir la flexión local inducida por cargas concentradas significativas.

El material ideal de construcción es el concreto armado, aunque se pueden realizar en madera, acero y materiales plásticos. Existen diferentes tipos de cascarón y su nombre depende su forma.

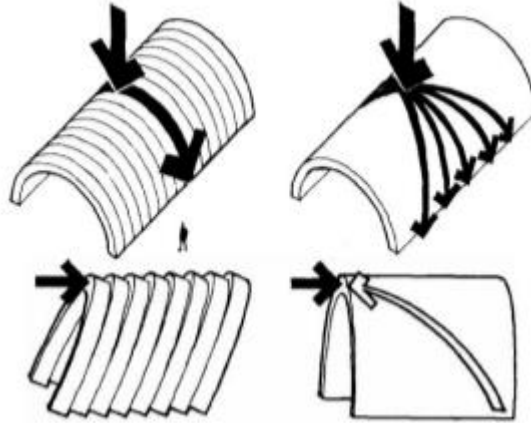


Figura 9. Comportamiento de cascarón tipo bóveda.

Fuente: (Mallqui, 2013)

De acuerdo a (ACI, 2014) indico que:

Los cascarones (cascaras delgadas) son estructuras espaciales tridimensionales, conformadas por una o más losas plegadas, cuyo espesor es pequeño en comparación de sus otras dimensiones, Las cascaras delgadas se caracterizan por su comportamiento tridimensional para soportar las cargas, determinado por la geometría de sus formas, por la manera en que están apoyadas y por la naturaleza de la carga aplicada. (p.3)

Para el diseño de cascarones de hormigón armado se debe seguir el ACI 318.2S-14 “Requisitos para reglamento de cáscaras delgadas de concreto”.

## CAPÍTULO 3

### 3. Desarrollo

#### 3.1. Selección de los edificios

A continuación, se detallarán los edificios seleccionados para el desarrollo de la investigación, describiendo sus características tales como: ubicación, sistema estructural, grado de daño.

Como el objetivo principal de este trabajo es clasificar los edificios según su sistema estructural, se trató de escoger edificios que los daños que hayan sufrido sean debido a su sistema estructural. Como sabemos la mayoría de edificios que colapsaron en la provincia de Manabí se debieron a fallas por columna débil-viga fuerte, columna corta, piso blando, y los daños que normalmente son inducidos por el diseño arquitectónico. Se trató de evitar en lo posible escoger edificios que hayan sufrido este tipo de daños.

Tabla 2. Edificios seleccionados para el análisis, su sistema estructural y ubicación.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación
1	Florería Esmeralda	Vigas peraltadas	Portoviejo
2	Municipio Pedernales	Vigas peraltadas	Pedernales
3	Corporación aduanera del Ecuador	Vigas peraltadas	Manta
4	Unidad de vigilancia comunitaria	Vigas peraltadas	Manta

5	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta
6	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo
7	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales
8	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales
9	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez
10	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	Manta
11	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta
12	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil
13	<b>Consejo De La Judicatura del Guayas</b>	Arriostrado	Guayaquil
14	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta
15	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta
16	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil

Fuente: Ronny Chérrez





Ilustración 10. Ubicación de edificios a analizar.

Fuente: Google maps

### **3.2. Descripción de los edificios del caso de estudio**

#### **3.2.1. Florería Esmeralda**

Este edificio ubicado en la ciudad de Portoviejo en la esquina entre la calle Alejuela y la calle Córdoba.



Figura 11. Ubicación de Florería Esmeraldas. 1°03'28.5"S 80°27'30.1"W

Fuente: Google maps

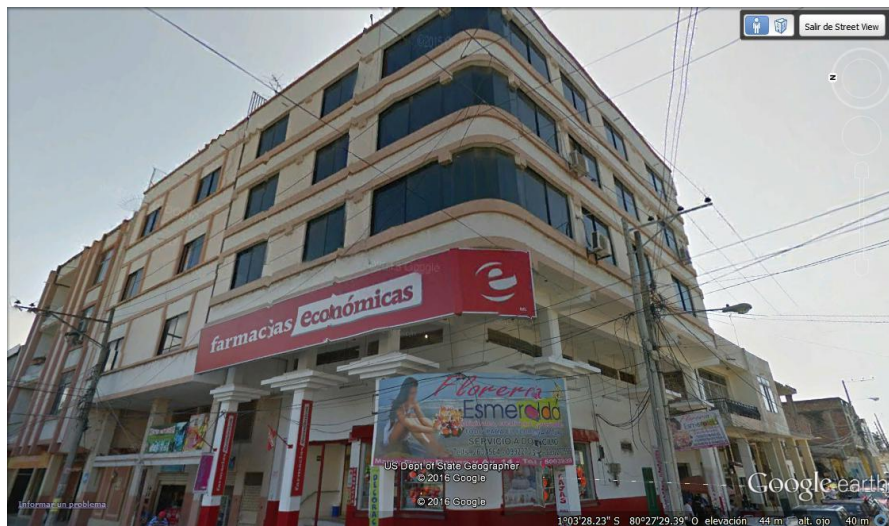


Figura 12. Edificio antes del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Landivar, 2016)





Figura 13. Edificio después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Landivar, 2016)

En este edificio está construido con hormigón armado, se observan daños considerables en mampostería exterior y pequeños daños estructurales. En las fotos se observa la presencia de vigas peraltadas, aunque la distribución de las columnas es irregular.

### **3.2.2. Municipio Pedernales**

El municipio del cantó Pedernales estaba ubicado en la calle López Castillo y Eloy Alfaro.

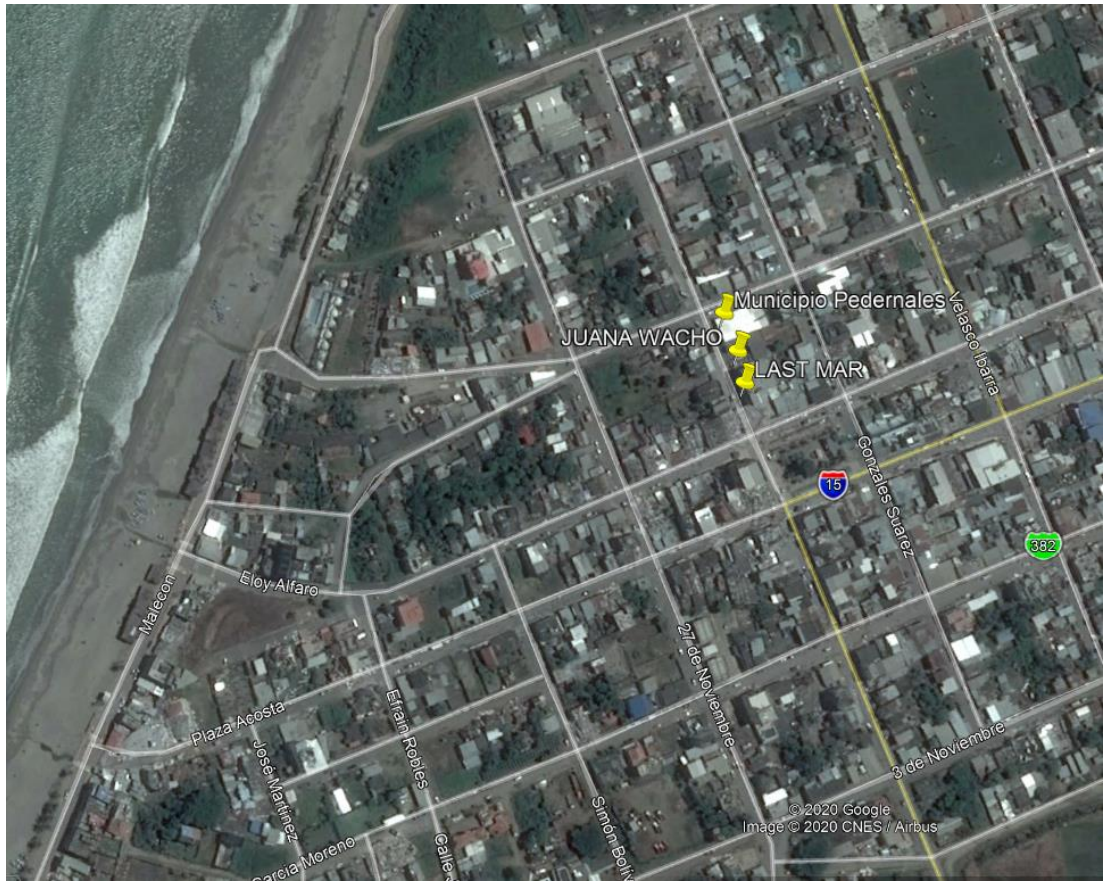


Figura 14. Ubicación del antiguo municipio de Pedernales.  $0^{\circ}04'15.5''N$   
 $80^{\circ}03'19.2''W$

Fuente: Google maps



Figura 15. Foto del edificio después del terremoto.

Fuente: GAD de Pedernales



Figura 16. Fotos de la estructura tomada después del terremoto del 2016.

Fuente: GAD de Pedernales

Existe una sola estructura principal compuesta inicialmente por la planta baja a nivel de la calle López Castillo y Eloy Alfaro, cuatro plantas altas (incluido un mezanine) y una cubierta de asbesto cemento soportada por una cercha metálica. Este edificio fue construido con un sistema de vigas descolgadas, presentó daños severos en la mampostería, también daños en elementos estructurales (columnas y vigas banda). Este edificio fue demolido en su totalidad, ya que al ser un edificio público se debió encontrar en buenas condiciones.



### 3.2.3. Corporación Aduanera del Ecuador

Este edificio está ubicado en la ciudad de Manta, en la avenida Malecón. Es una estructura con sistema de pórtico con vigas peraltadas.



Figura 17. Ubicación de la CAE. 0°56'26.9"S 80°43'42.1"W

Fuente: Google maps



Figura 18. a) Caída de enlucido en columnas circulares; b) Enlucido muy grueso; c) Fisuras en recubrimiento de columna; d) Daño en Mampostería.

Fuente: (Aguar, 2016)

La estructura tuvo un buen comportamiento sísmico, acorde a la filosofía de las normativas sísmicas que indican que ante un terremoto se admite daño no estructural y es más, se puede esperar cierta incursión de las vigas en el rango no lineal; ventajosamente esto no sucedió en el edificio, que solo tuvo daños en mampostería. (Aguar, 2016)

#### **3.2.4. Unidad de vigilancia comunitaria**

Este edificio está ubicado en la Av. 4 de noviembre en la ciudad de Manta. Construido con una estructura metálica con vigas peraltadas.



Figura 19. Ubicación de la UVC de Manta.  $0^{\circ}57'55.1''S$   $80^{\circ}42'23.3''W$ .

Fuente: Google maps.

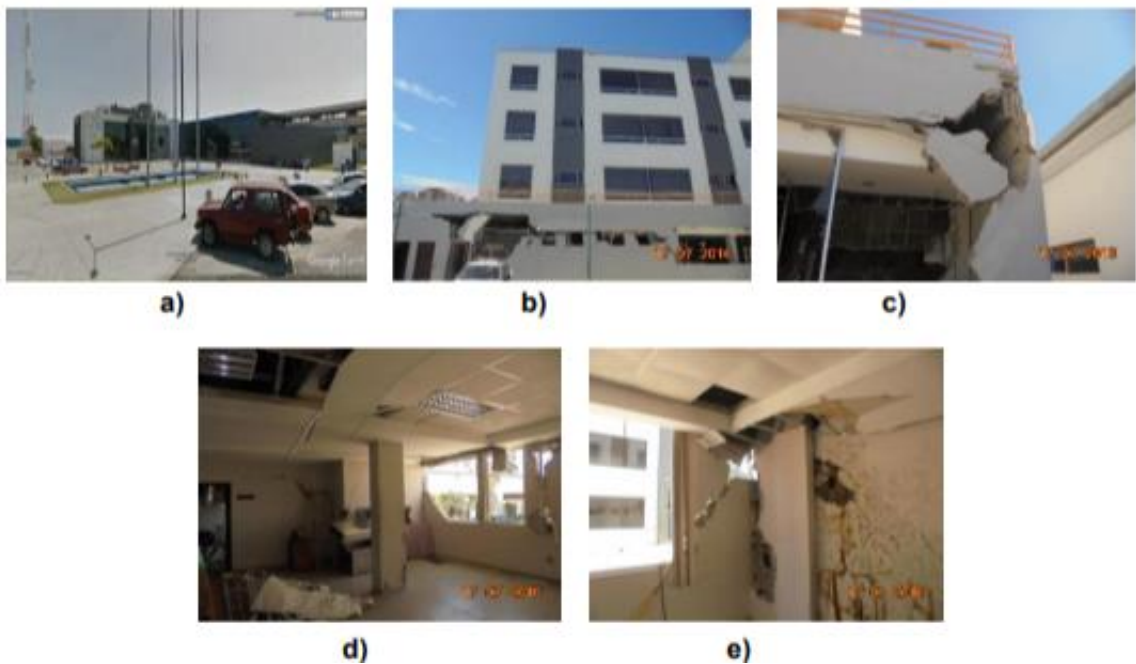


Ilustración 20. a) Vista general. b) Mampostería con daño extensivo en fachada principal. c) Mampostería con daño extensivo en fachada posterior. d) Columnas de acero rellenas de hormigón. e) Falta de elementos confinantes.

Fuente: (Aguilar, 2016)



Esta estructura tuvo daño extensivo en la mampostería de la planta baja por que la estructura de acero es flexible y se colocó mampostería de bloques, sin elementos confinantes. El daño se centró 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. (Aguiar, 2016)

### 3.2.5. Mall del Pacífico

El mall del Pacifico es un centro comercial ubicado en I Av. Malecón de la ciudad de Manta. Construido de hormigón armado y un sistema de pórticos con vigas peraltadas.



Figura 21. Ubicación del mall del Pacífico. 0°56'33.3"S 80°43'58.6"W

Fuente: Google maps



Figura 22. Edificio en construcción después del terremoto. Foto obtenida del Ing. Alex Villacrés.



Figura 23. Edificio en construcción después del terremoto. Foto obtenida del Ing. Alex Villacrés.



Este edificio se encontraba en construcción durante el terremoto del 16 de abril del 2016, ya se había terminado de fundir todos los elementos estructurales y las losas, se estaba empezando a levantar las paredes de mampostería.

La estructura no sufrió ningún tipo de daño o fisura, sin embargo, se tomaron precauciones, se trató de arriostrar cada cierta distancia la mampostería tanto horizontal como verticalmente.

### 3.2.6. Farmacia comercio

Este edificio está ubicado en la esquina de la Av. 9 de octubre y Ricaurte. Construido con hormigón armado y un sistema de pórticos con vigas banda.

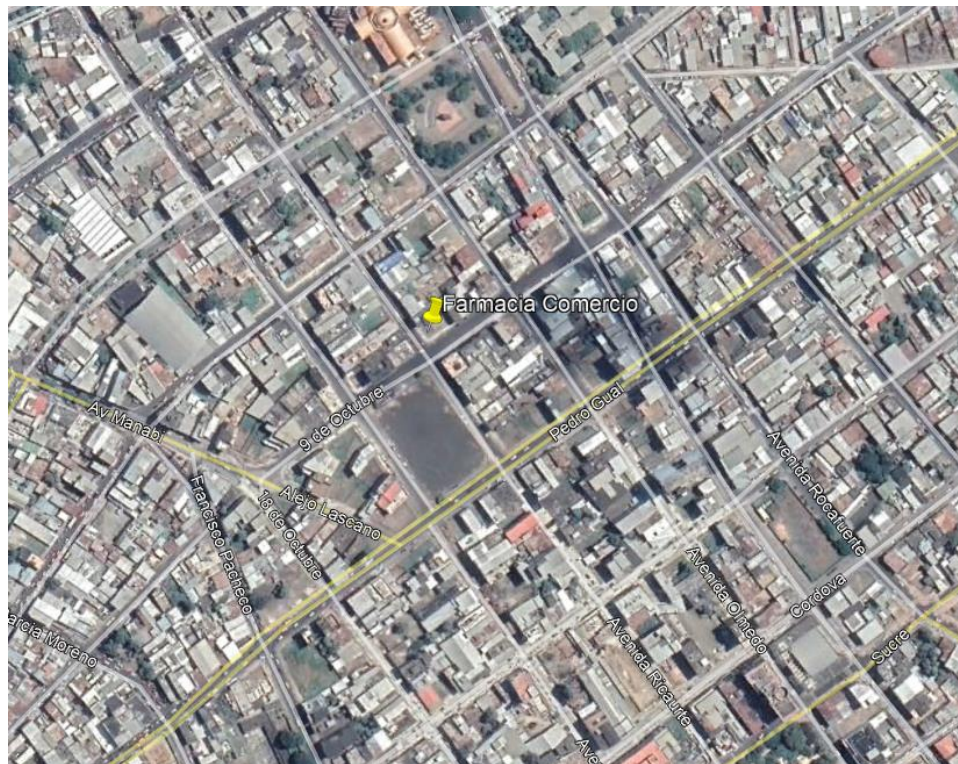


Figura 24. Ubicación de la farmacia Comercio en Portoviejo. 1°03'16.5"S  
80°27'13.2"W

Fuente: Google maps



Figura 25. Edificio antes del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Google maps



Figura 26. Edificio después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Landivar, 2016)





Figura 27. Edificio después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Landivar, 2016)



Figura 28. Edificio después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Landivar, 2016)

Las causas de falla de este edificio deben ser determinadas. Este fue un caso de colapso total incluyendo la muerte de algunas personas que estaban en el mismo durante la ocurrencia del evento sísmico. En la foto antes del sismo se observa las losas planas (vigas banda). (Landivar, 2016)

### 3.2.7. Last Mar

Este edificio residencial está ubicado en la ciudad de Pedernales en la calle López Castillo entre Eloy Alfaro y Juan Pereira. Construido de hormigón armado con un sistema de pórticos con vigas banda.



Figura 29. Ubicación de edificio "Last mar" en Pedernales.  $0^{\circ}04'14.7''N$   
 $80^{\circ}03'18.6''W$



Figura 30. Edificio luego del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Elbert, 2018)



Figura 31. Colapsos de paredes de mampostería.

Fuente: (Elbert, 2018)



Figura 32. Fallos en columnas.

Fuente: (Elbert, 2018)

Toda la estructura es de hormigón armado con un sistema estructural compuesto de columnas rectangulares y losa con vigas banda de 20 cm de espesor. Colapso de mampostería y fallas en varias columnas.

### **3.2.8. Juana wacho**

Este edificio residencial está ubicado en la calle López Castillo entre Eloy Alfaro y Juan Pereira. Construido de hormigón armado con un sistema de pórticos con vigas banda, consta 4 pisos y un sótano.





Figura 33. Ubicación de edificio en el cantón Pedernales.  $0^{\circ}04'15.2''N$   
 $80^{\circ}03'18.6''W$

Fuente: Google maps



Figura 34. Estructura después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Elbert, 2018)





Figura 35. Daño severo en mampostería.

Fuente: (Elbert, 2018)



Figura 36. Fallos en columnas.

Fuente: (Elbert, 2018)

Existe una sola estructura principal compuesta por la planta baja a nivel de la calle López Castillo, inicialmente de tres plantas altas y una cubierta de losa de hormigón. De las fotos iniciales luego del terremoto, se observa que la estructura sufrió colapso de mampostería y daños estructurales. (Elbert, 2018)

### **3.2.9. Municipio Cantón Sucre**

El Municipio del Cantón Sucre está ubicado en Bahía de Caráquez en la provincia de Manabí. Es un edificio de 5 niveles, de hormigón armado y con un sistema de pórticos con vigas banda.

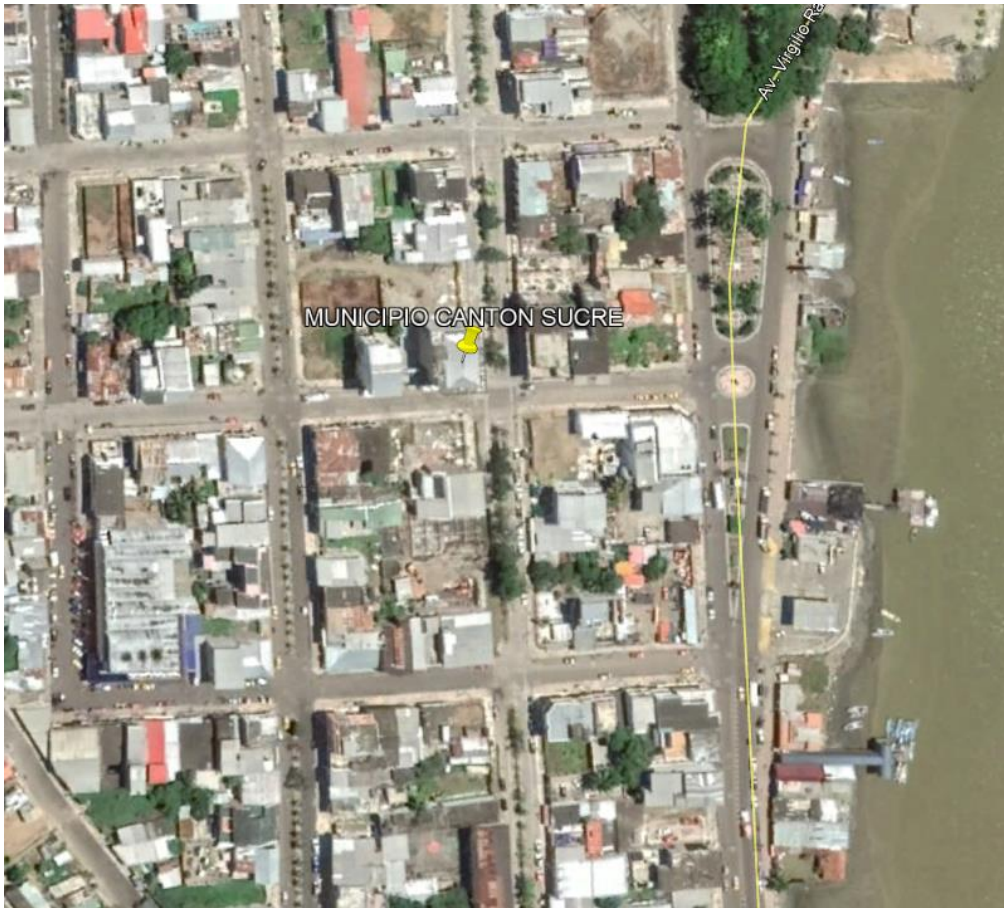


Figura 37. Ubicación de Municipio de cantón Sucre.  $0^{\circ}36'09.0''S$   
 $80^{\circ}25'28.0''W$

Fuente: Google maps



Figura 38. Estructura después del terremoto del 16 de abril del 2016.  
Obtenida por el Ing. Alex Villacrés.



Figura 39. Estructura después del terremoto del 16 de abril del 2016.  
Obtenida por el Ing. Alex Villacrés.

Esta estructura presentó daños en la mampostería y también daños en las columnas como el desprendimiento del hormigón en una de las columnas. Al ser un edificio público debió presentar fallas mínimas, ya que es una estructura de categoría especial.



### 3.2.10. Corporación nacional de telecomunicaciones

La corporación nacional de telecomunicaciones esta ubicada en la la Av. Malecón en la ciudad de Manta. Construido de hormigón armado con un sistema de pórticos con vigas banda, consta de 3 niveles.

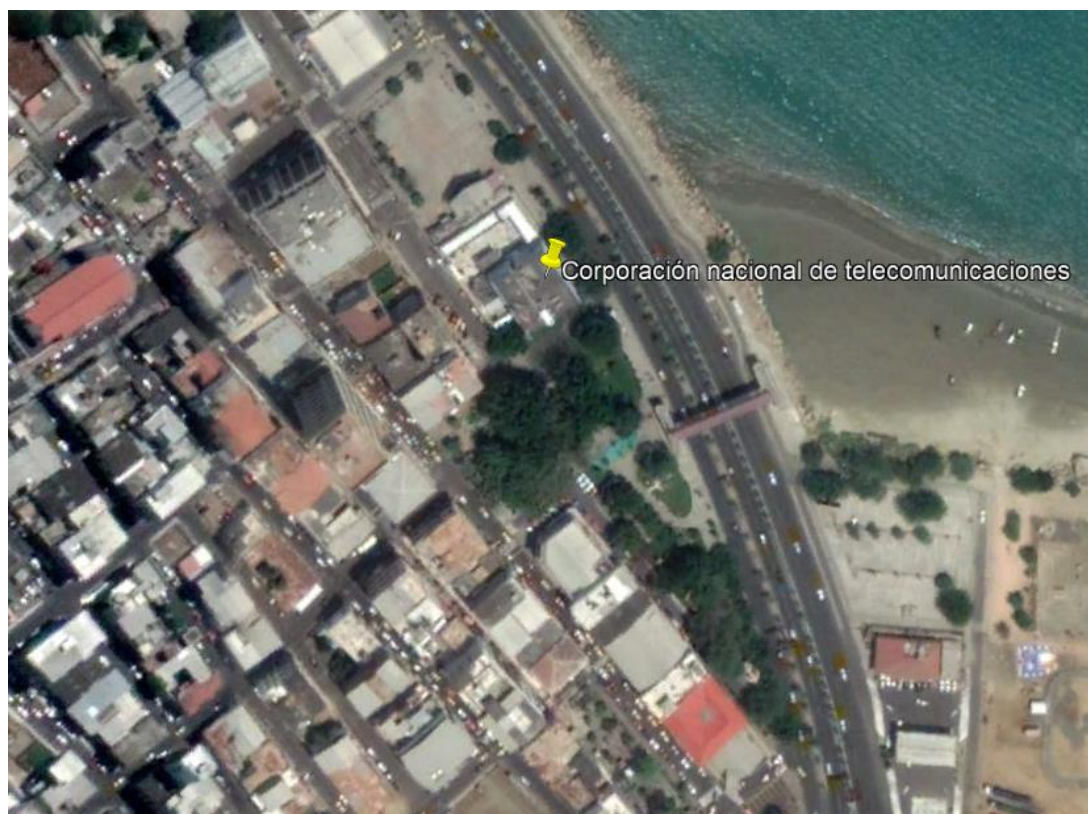


Figura 40. Ubicación de CNT. 0°56'46.0"S 80°43'20.5"W

Fuente: Google maps

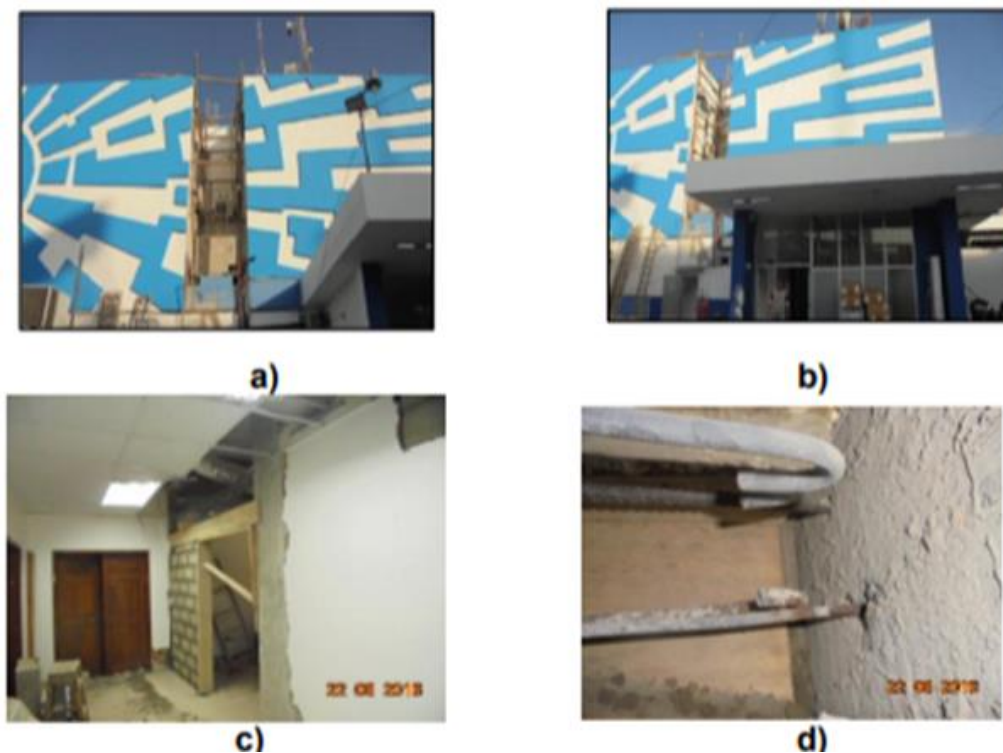


Figura 41. a) Discontinuidad de las losas superiores; b) Ingreso lateral; c) Reparación de mampostería (con el mismo material de bloque y sin columnetas); d) Dintel sin anclaje de hierros longitudinales a las columnas

Fuente: (Aguiar, 2016)

En los pisos 2 y 3 se tiene una discontinuidad que generó daño en las paredes perpendiculares a la fachada. En la planta baja se produjo daño en mampostería y no hay daño en elementos estructurales. (Aguiar, 2016)

### 3.2.11. Templo nuestra señora del Rosario

El Templo nuestra señora del Rosario está ubicado en el parque Don Bosco, en la ciudad de Manta. Es una estructura de hormigón armado con diagonales rigidizadoras de hormigón, consta de dos pisos.



Figura 42. Ubicación del templo nuestra señora del Rosario.  $0^{\circ}57'10.9''S$   
 $80^{\circ}42'45.8''W$

Fuente: Google maps





Figura 43. Estructura antes del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Google maps



Figura 44, Fotografía de la estructura después del terremoto del 16 de abril del 2016. Obtenida del Ing. Alex Villacrés.

La estructura se comportó de manera adecuada ante el sismo, no presentó daños estructurales, sin embargo, se presentaron fisuras en las paredes de mampostería.

### 3.2.12. Hotel Holiday Inn

El Hotel Holiday Inn está ubicado en la ciudad de Guayaquil, cerca del aeropuerto José Joaquín de Olmedo. Es un edificio construido con estructura metálica con diagonales rigidizadoras, posee un total de 8 pisos.

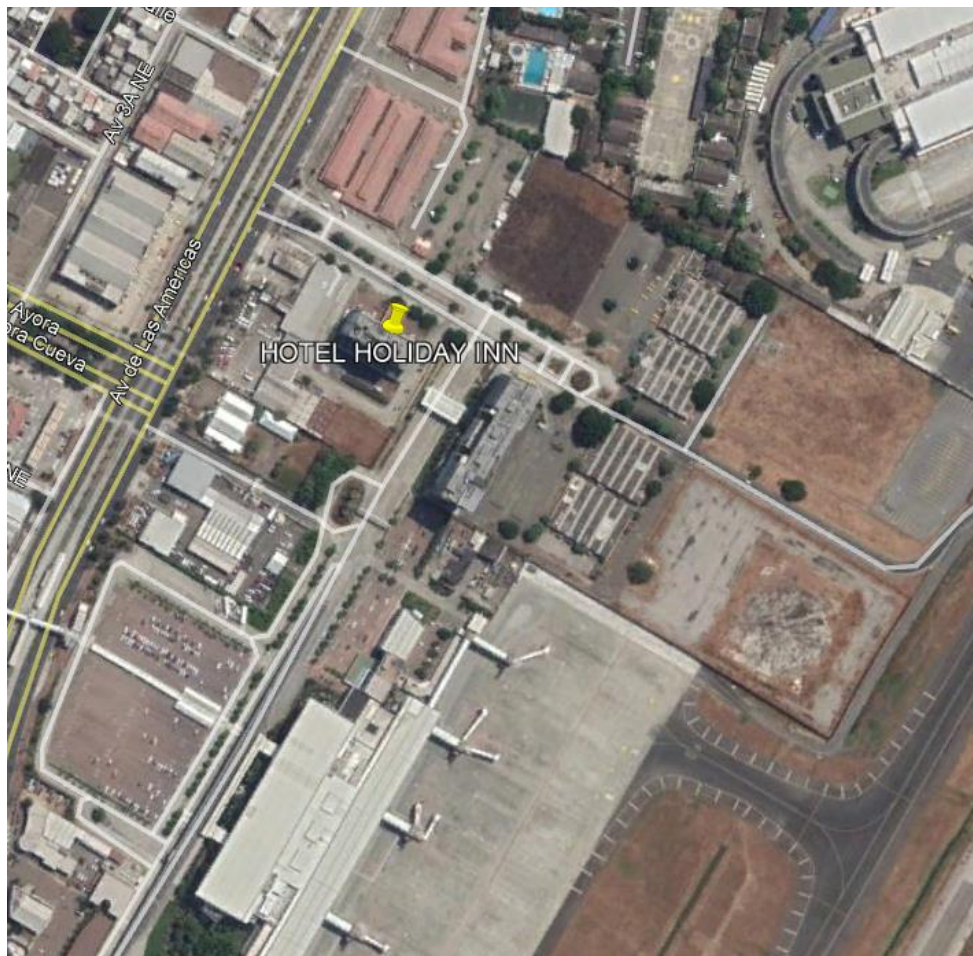


Figura 45. Ubicación del Hotel Holiday Inn. 2°08'43.0"S 79°53'01.8"W

Fuente: Google maps





Figura 46. Hotel Holiday Inn.

Fuente: Google maps

Este sistema estructural (arriostramientos) tuvo un buen desempeño durante el terremoto del 2016. Personas que se encontraban en el hotel sustentaron que el sismo no se sintió tan largo y que el movimiento no fue fuerte. Esto demuestra las funciones de los arriostramientos: disminuir periodos de vibración, reducir derivas de piso.

### **3.2.13. Complejo judicial de Guayaquil**

El edificio del complejo judicial de Guayaquil ubicado en el sector de la Florida en el norte de la ciudad de Guayaquil, es una estructura de acero con diagonales rigidizadoras, consta con 10 niveles de piso.



Figura 47. Ubicación de consejo de la judicatura del Guayas.  $2^{\circ}07'41.2''S$   
 $79^{\circ}56'05.9''W$

Fuente: Google maps



Figura 48. Complejo judicial de Guayaquil.

Fuente: Google maps



Esta estructura no presentó daños durante el sismo del 2016. Personas que se encontraban en el sitio confirman que el sismo no se sintió con gran intensidad.

### 3.2.14. Universidad laica “Eloy Alfaro” (Facultad de Comercio exterior)

Esta universidad está ubicada en la Av. circunvalación en la ciudad de Manta. Consta de 3 pisos, construido con hormigón armado y un sistema de pórticos con muros estructurales.



Figura 49. Ubicación de la Universidad Laica Eloy Alfaro.  $0^{\circ}57'14.7''S$   
 $80^{\circ}44'50.3''W$

Fuente: Google maps

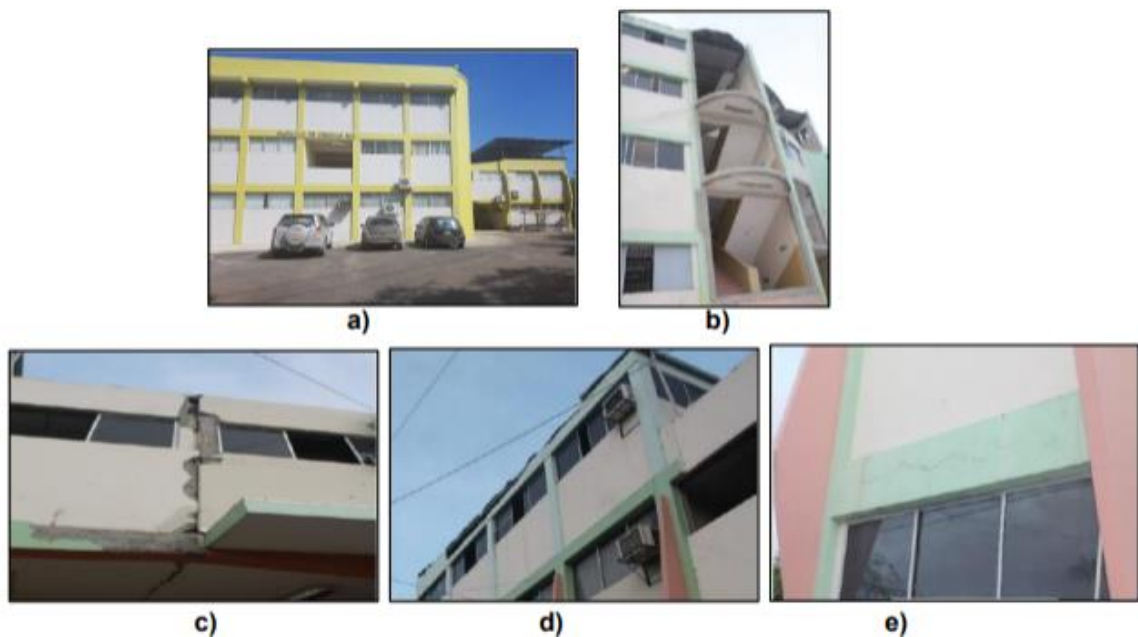


Figura 50. a) Fachada posterior de la Facultad de Comercio Exterior de la ULEAM b) Daños en las paredes del descanso de la escalera y daño en el la cubierta; c) Daño en la junta de construcción entre la facultad de Comercio Exterior y Economía por efecto del movimiento del bloque durante el sismo. d) Agrietamiento en vigas (Daño en vigas perimetrales de la cubierta) e) Daño en vigas del segundo piso.

Fuente: (Aguiar, 2016)

Por efecto del sismo uno de los mayores daños observados ocurrió en las paredes internas de mampostería de la edificación, y el daño en las vigas perimetrales del último piso por efecto del movimiento de la estructura del techo. No cumple con principio de columna fuerte – viga débil. (Aguiar, 2016)

### 3.2.15. Museo centro cultural

El Edificio del Museo centro cultural de Manta está ubicado en la Av. Malecón, está construido con hormigón estructural con un sistema de pórtico con muros estructurales, consta de 7 pisos.



Figura 51. Ubicación de Museo centro cultural de Manta.  $0^{\circ}56'31.4''S$   
 $80^{\circ}43'49.0''W$

Fuente: Google maps

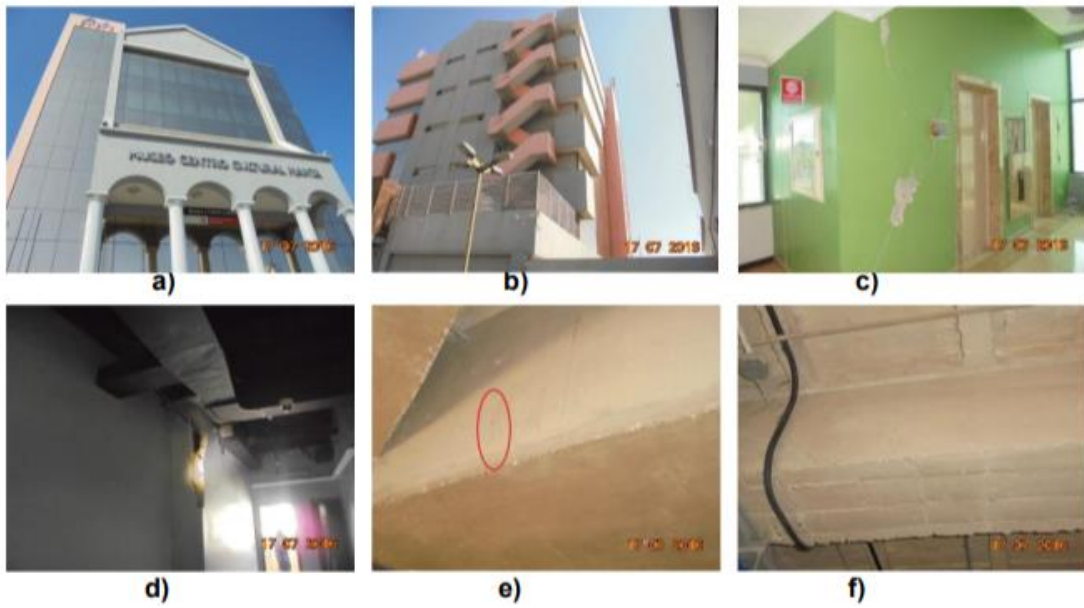


Figura 52. a) Fachada principal; b) fachada posterior; c) Daño en mampostería en el área del ascensor en el primer piso alto; d) Daño en intersección de



mampostería; e) Vigas ortogonales en presencia de fisura en viga principal con peralte de 90 cm, en subsuelo; f) Viga secundaria sin fisuras.

Fuente: (Aguiar, 2016)

Daños en mampostería. El mayor daño se tuvo en el área del ascensor, como se pueden ver en las fotografías. Las vigas del subsuelo presentan fisuras muy leves, probablemente tenían antes del sismo. La estructura tiene un subsuelo y como tal existen muros en su contorno; hay una planta baja y 5 pisos altos. Antes funcionaba un Banco y como tal tiene muros de corte que ayudaron al buen desempeño estructural. (Aguiar, 2016)

### 3.2.16. Sail Plaza Hotel

El Hotel Sail Plaza es un edificio moderno que se encontraba en construcción durante el sismo del 2016. Es un edificio de 11 pisos de hormigón armado con un sistema de pórtico con muros de corte.

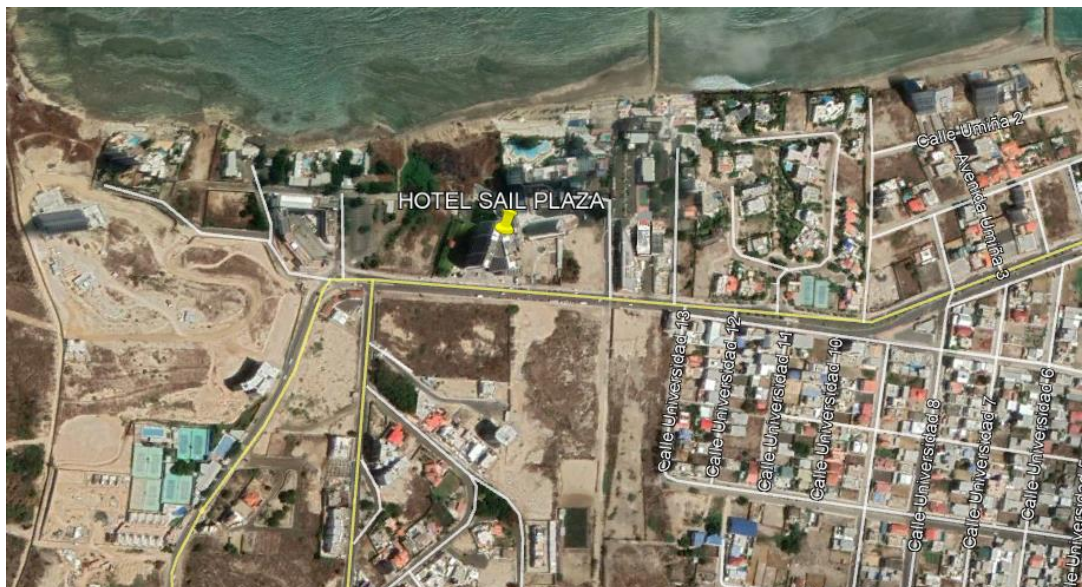


Figura 53. Ubicación del Hotel Sail Plaza en Manta. 0°56'45.0"S  
80°45'01.9"W

Fuente: Google maps



Figura 54. Hotel Sail plaza en construcción, después del sismo del 2016.  
Obtenida del Ing. Alex Villacrés.



Figura 55. Daños em paredes de mampostería. Foto obtenida del Ing. Alex Villacrés.

La contemporánea y estilizada estructura de 11 pisos y tres subsuelos resistió de forma óptima los 40 segundos que duró el movimiento sísmico. Se encontraba en la última etapa de construcción. (El Comercio, 2017)

Como se ve en las fotos, los únicos daños que se dieron fue en las paredes de bloque, no se presentaron daños en los elementos estructurales (viga, coluna, muro).



### 3.2.17. Sala de velaciones

Esta sala de velaciones está ubicada en la esquina de las calles Marañón y Bolívar, en Bahía de Caráquez. Es una estructura tipo cascarón, de hormigón armado y de un solo piso.



Figura 56. Ubicación de sala de velaciones, Bahía de Caráquez.  $0^{\circ}35'56.9''S$   
 $80^{\circ}25'27.5''W$

Fuente: Google maps



Figura 57. Sala de velaciones. Foto obtenida por el Ing. Alex Villacrés.



Figura 58. Sala de velaciones. Foto obtenida por el Ing. Alex Villacrés.

Como se puede notar en la foto, esta estructura no tuvo ningún tipo de daño, quedó prácticamente intacta después del terremoto del 2016.



### 3.2.18. Laboratorios de asfalto y suelos – UCSG

Los laboratorios de asfalto y suelos de la facultad de ingeniería, tienen una cubierta cascarón de hormigón armado, están ubicados en la Universidad católica Santiago de Guayaquil.

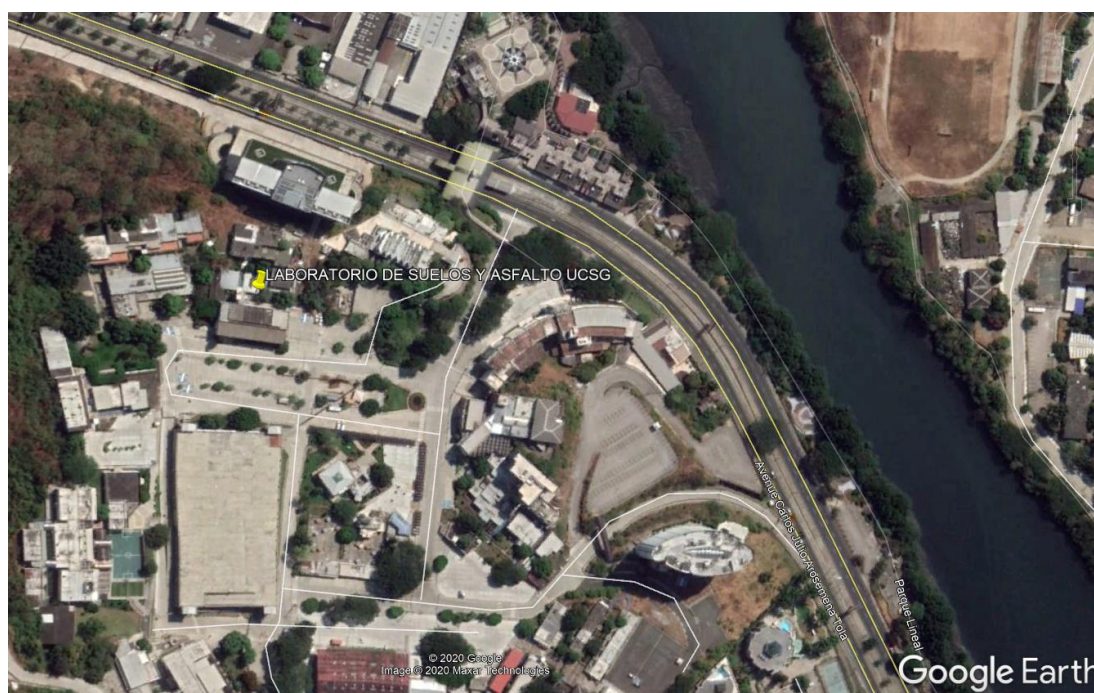


Figura 59. Ubicación de laboratorios de suelos y asfalto de la UCSG.

$2^{\circ}10'51.6''S$   $79^{\circ}54'17.6''W$

Fuente: Google maps

Estos cascarones de hormigón armado no sufrieron ningún tipo de daño durante el sismo del 2016.

### 3.2.19. Café Bombons

Esta cafetería posee una cubierta de tipo paraboloides hiperbólicos de hormigón armado, está ubicada en el sector de Ceibos, al pie de la avenida del bombero.

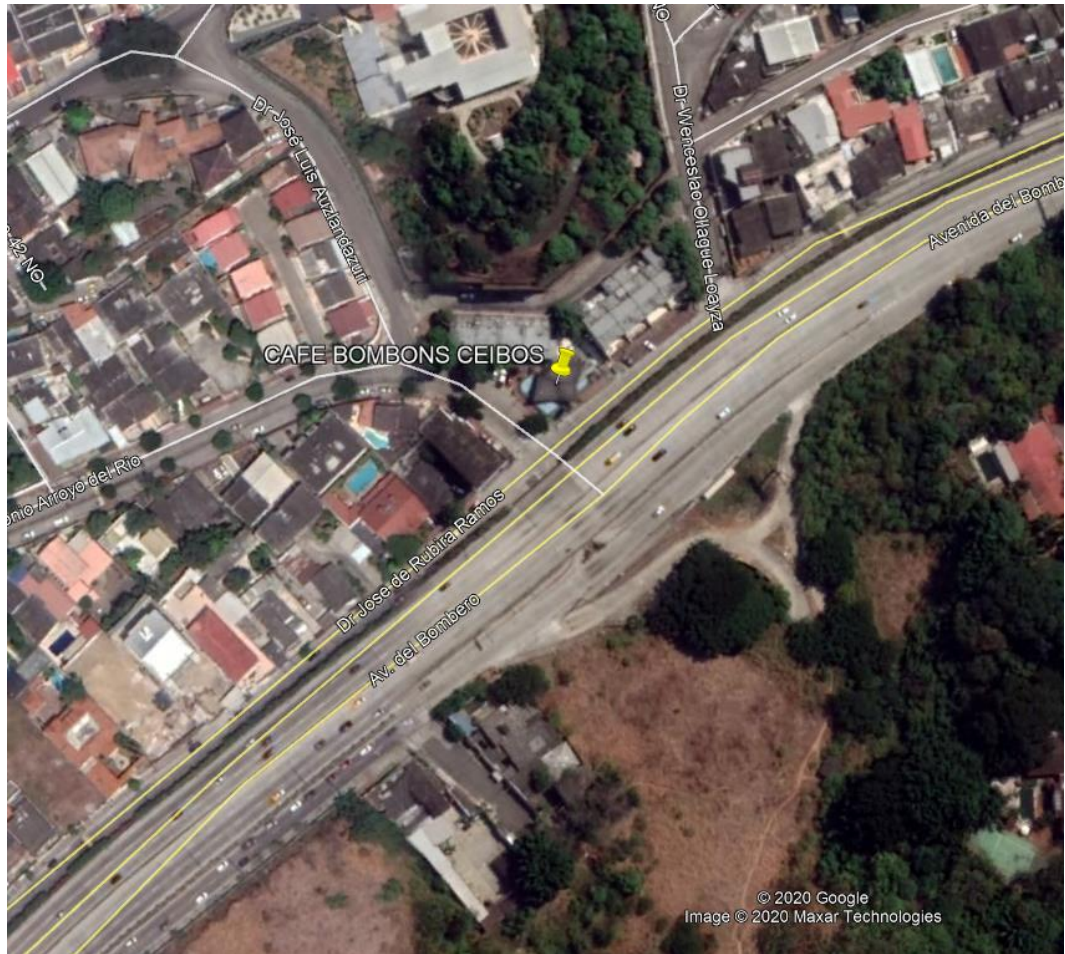


Figura 60. Ubicación de Café Bombons.  $2^{\circ}09'47.1''S$   $79^{\circ}55'53.2''W$

Fuente: Google maps

Esta cubierta no presentó ningún tipo de daño durante el sismo del 2016. Cabe recalcar que está ubicada en una zona donde el tipo de suelo tiene formaciones rocosas.





Figura 61. Cubierta con paraboloides hiperbólicas de hormigón armado.

Fuente: Google maps



Figura 62. Cubierta con paraboloides hiperbólicas de hormigón armado.

Fuente: Google maps



### 3.3. Consideraciones bajo la Norma Ecuatoriana de la construcción

#### 3.3.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z

De acuerdo a (NEC, 2015) El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z, de acuerdo el siguiente mapa.

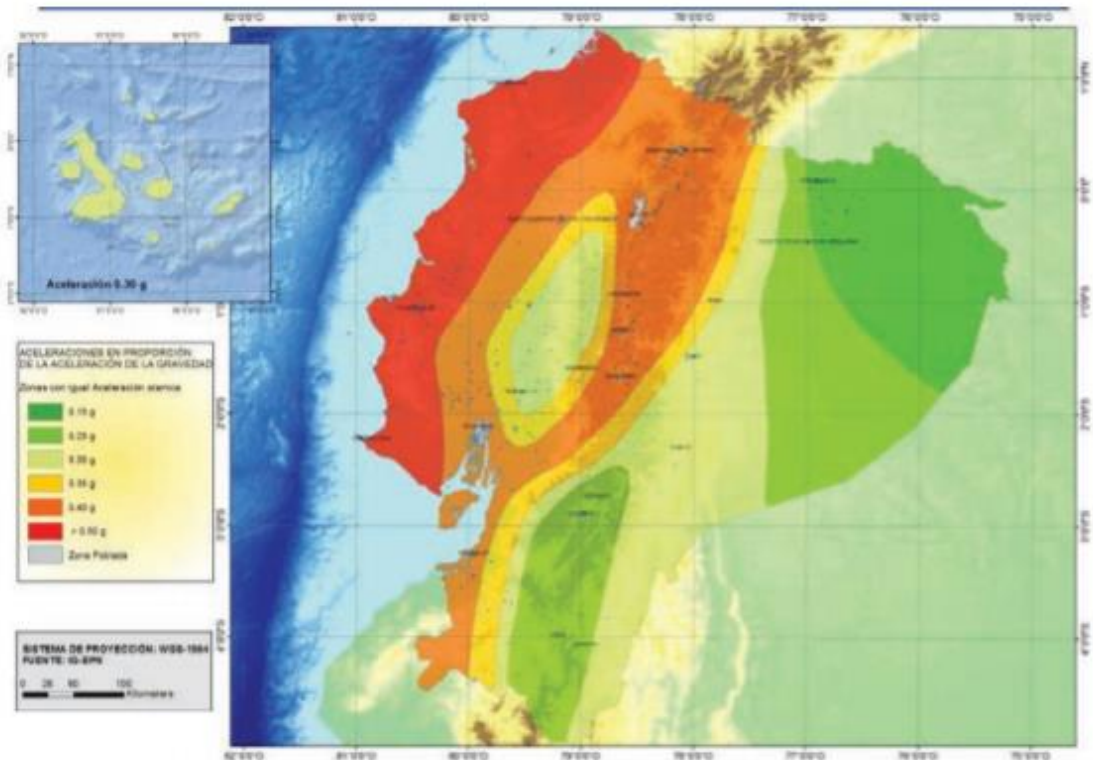


Figura 63. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

Fuente: (NEC, 2015)

A continuación, se presenta la tabla con cada edificio y su respectivo valor de Z.

Tabla 3. Edificios a analizar y su respectivo factor Z.

<b>N.</b>	<b>Edificios</b>	<b>Sistema estructural</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Z</b>
1	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	0.5
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	Pedernales	0.5
3	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	0.5
4	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	0.5
5	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	0.5
6	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	0.5
7	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales	0.5
8	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales	0.5
9	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez	0.5
10	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	Manta	0.5
11	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	0.5
12	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	0.4
13	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	0.4

14	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	0.5
15	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	0.5
16	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	0.5
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez	0.5
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	0.4
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil	0.4

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

### 3.3.2. Geología local

Según (NEC, 2015) Se definen seis tipos de perfil de suelo, los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil.

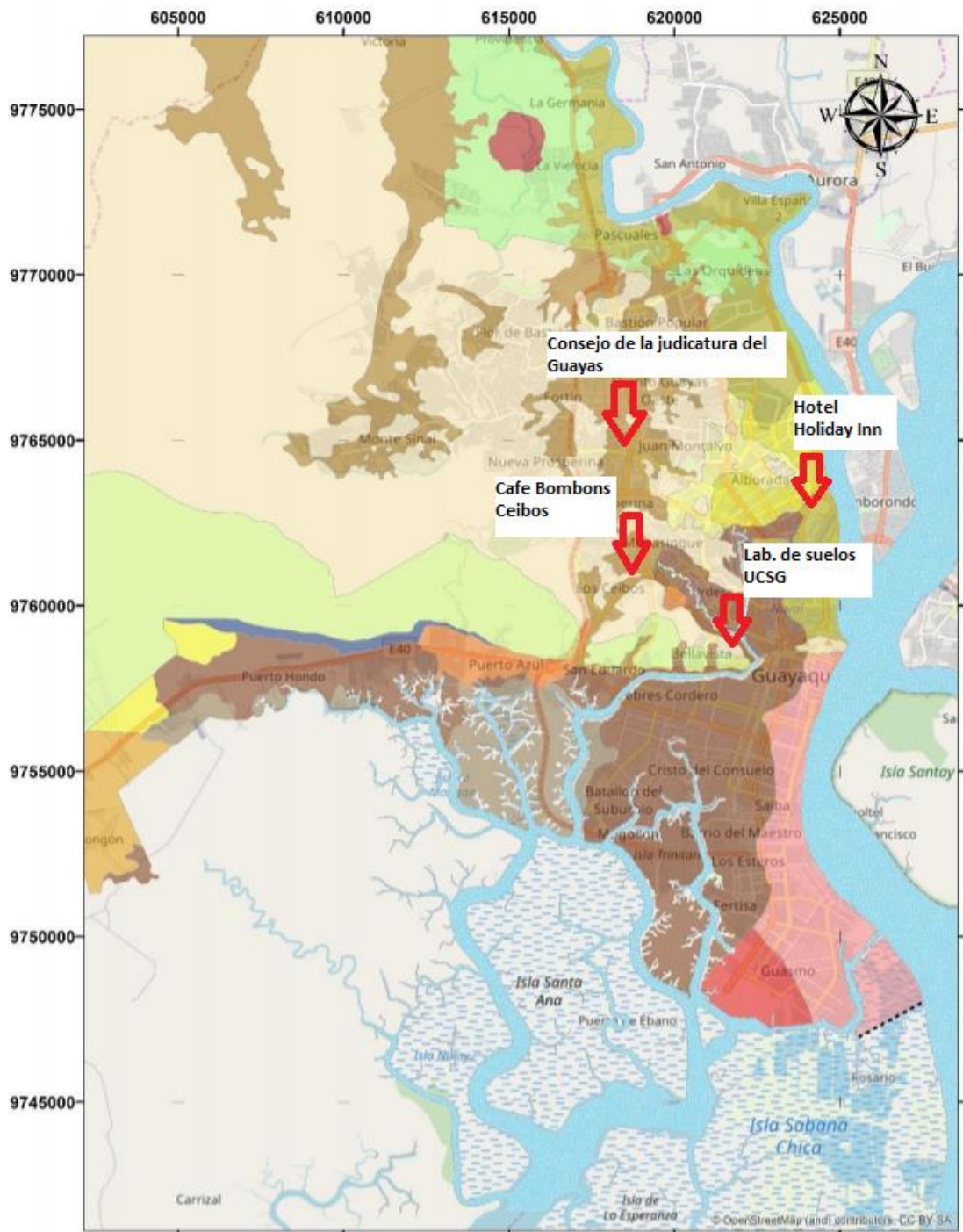
Tabla 4. Clasificación de los perfiles de suelo

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

Fuente: (NEC, 2015)

Se determinará los tipos de suelo en el que esta cimentado cada edificio por medio de las ondas de corte, utilizando un mapa de caracterización de suelo por medio de ondas de corte en la provincia de Manabí. Para los edificios ubicados en Guayaquil se usará el mapa de las zonas geotécnicas de Guayaquil.





Zona	Descripción	D7 Formación Rocosa	
D1	Depósitos Deltaico - Estuarino (Este - Centro)	G. Azúcar	G. Azúcar
D2	Depósitos Deltaico - Estuarino (Sur)	Fm. San Eduardo	
D3A	Depósitos Deltaico - Estuarino (Oeste - Norte - Troncal)	Fm. Guayaquil	
D3B		Fm. Cayo	
D4A	H < 10 m	Rocas Graníticas indiferenciadas	
D4B	10 m < H < 20 m	Fm. Piñón	
D4C	H > 20 m		
D5	Depósitos Aluvial - Lacustres		
D6	Depósitos Coluviales		

Figura 64. Mapa de las zonas geotécnicas de Guayaquil definido del Informe de Zonificación Sísmica de la ciudad de Guayaquil de 2014. Tomado y modificado de Vera-Grunauer et al. (2014), y actualizado por Geoestudios (2019).

Tabla 5. Zonas geotécnicas, descripción general: origen geológico, ubicación y tipos de suelo según NEC 2015

Zona	Origen	Ubicación	Tipo de suelo NEC
D1	Deltaico-estuarino	Este-centro	E/F
D2	Deltaico-estuarino	Sur	F
D3	Deltaico-estuarino	Oeste-Norte	F
D4	Aluvial	Oeste-centro	E
D5	Aluvión-lacustre	Pie de cerros	D
D6	Coluvial	Oeste	C
D7	Formaciones rocosas	Oeste	B

Fuente: Vera-Grunauer (2014)

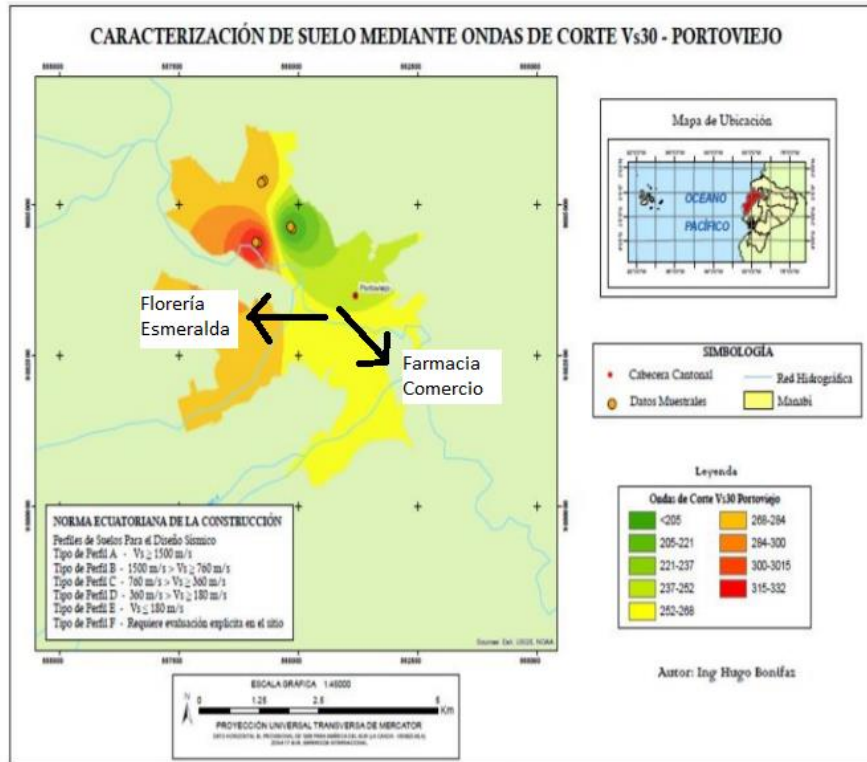


Figura 65. Caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs30 en la ciudad de Portoviejo.

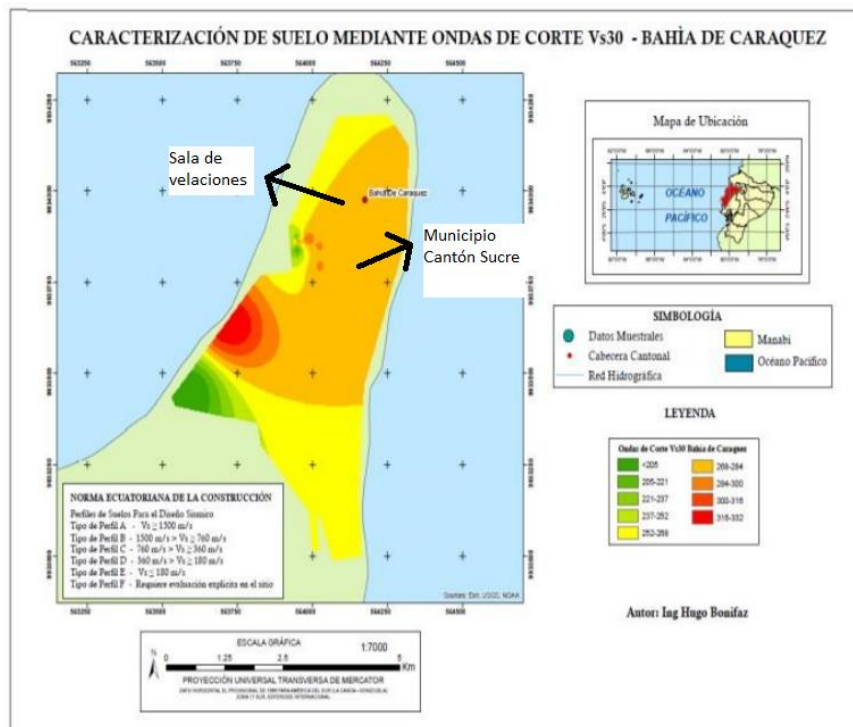


Figura 66. Caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs30 en Bahía de Caraquez.

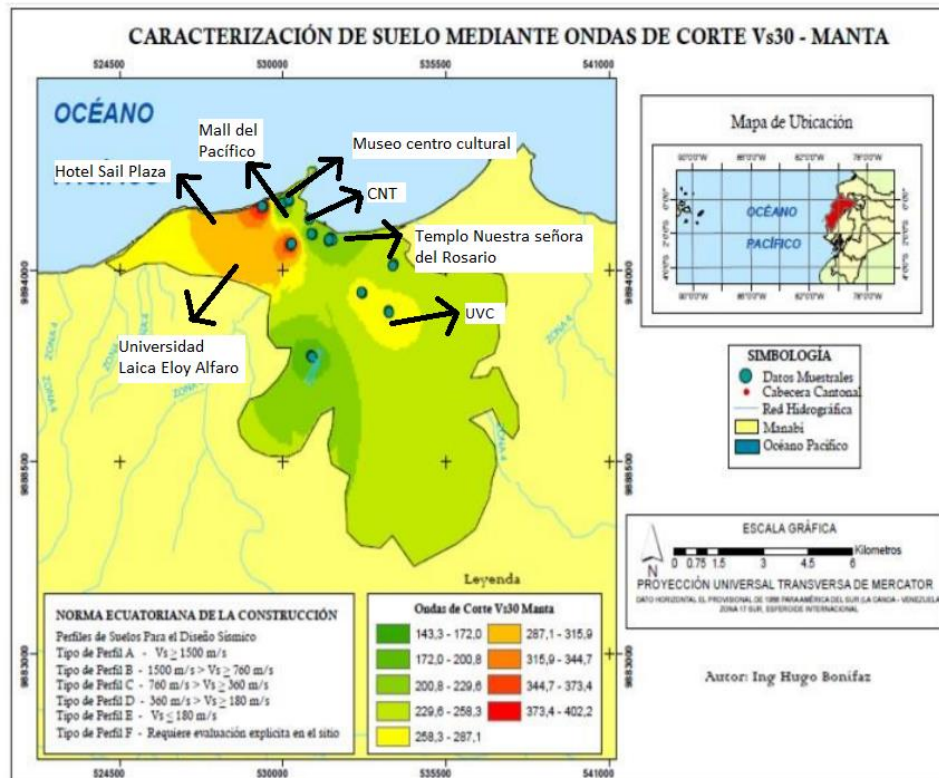


Figura 67. Caracterización de suelo mediante ondas de corte Vs30 en Manta.

Para los edificios ubicados en Pedernales se determinará el tipo de suelo según las ondas de corte encontradas en el acelerómetro APED.

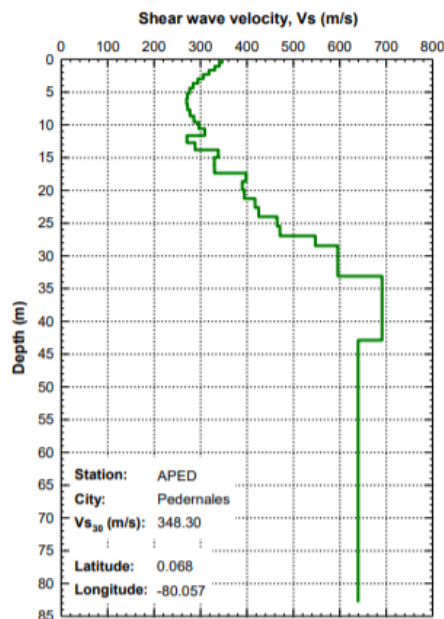


Figura 68. Ondas de corte en estación APED.

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

A continuación, se presentará una tabla con los edificios y su tipo de suelo en el que este cimentado:

Tabla 6. Edificios a analizar y su respectivo tipo de suelo.

<b>N.</b>	<b>Edificios</b>	<b>Sistema estructural</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tipo de suelo</b>
1	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	D
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	Pedernales	D
3	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	C
4	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	C
5	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	C
6	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	D
7	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales	D
8	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales	D
9	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez	D
10	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	Manta	C



11	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	C
12	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	E
13	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	D
14	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	C
15	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	C
16	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	C
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez	D
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	B
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil	B

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

### 3.3.3. Categoría de edificio y coeficiente de importancia I

El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Tabla 7. Categoría de edificios e coeficientes importancia I

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
<b>Edificaciones esenciales</b>	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
<b>Estructuras de ocupación especial</b>	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
<b>Otras estructuras</b>	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Fuente: (NEC, 2015)

Tabla 8. Categoría y coeficiente de importancia de edificios a analizar.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación	Categoría	I
1	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	Normal	1
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	Pedernales	Especial	1.3
3	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	Especial	1.3
4	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	Esencial	1.5
5	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	Especial	1.3

6	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	Especial	1.3
7	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales	Normal	1
8	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales	Normal	1
9	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez	Especial	1.3
10	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	Manta	Esencial	1.5
11	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	Especial	1.3
12	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	Normal	1
13	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	Especial	1.3
14	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	Especial	1.3
15	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	Especial	1.3
16	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	Normal	1
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez	Especial	1.3
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	Normal	1

19	<b>Café Ceibos</b>	<b>Bombons</b>	Cascarón	Guayaquil	Normal	1
----	------------------------	----------------	----------	-----------	--------	---

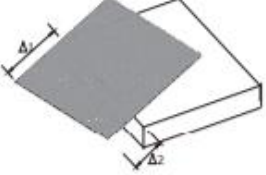

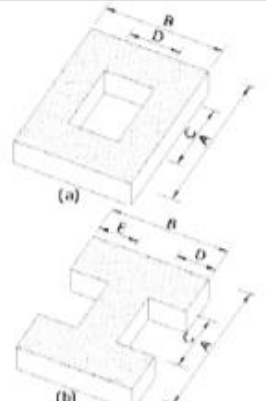
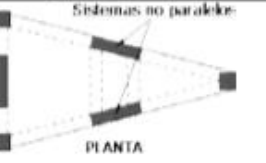
Fuente: Ronny Chérrez, 2020

### 3.3.4. Irregularidades y coeficientes de configuración estructural

De acuerdo a (NEC, 2015) en caso de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, se usarán los coeficientes de configuración estructural, que “penalizan” al diseño con fines de tomar en cuenta dichas irregularidades, responsables de un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un sismo.

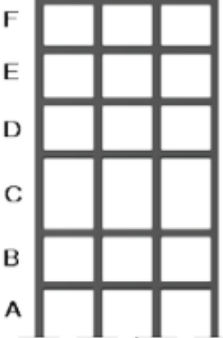
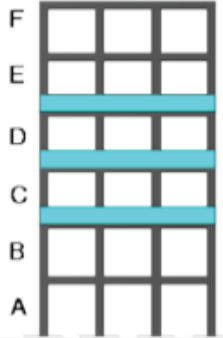
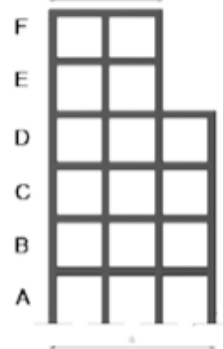
La Tabla 9 y la Tabla 10 describen las tipologías de irregularidades que se pueden presentar con mayor frecuencia en las estructuras de edificación. Junto a la descripción se caracteriza la severidad (acumulativa o no) de tales irregularidades. Los coeficientes de configuración estructural incrementan el valor del cortante de diseño, con la intención de proveer de mayor resistencia a la estructura, pero no evita el posible comportamiento sísmico deficiente de la edificación. Por tanto, es recomendable evitar al máximo la presencia de las irregularidades mencionadas.

Tabla 9. Coeficientes de irregularidad en planta.

<p><b>Tipo 1 - Irregularidad torsional</b>  <math>\phi_{pi}=0.9</math>  <math>\Delta &gt; 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}</math></p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas</b> <math>\phi_{pi}=0.9</math>  <math>A &gt; 0.15B</math> y <math>C &gt; 0.15D</math></p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso</b>  <math>\phi_{pi}=0.9</math>  a) <math>CxD &gt; 0.5AxB</math>  b) <math>[CxD + CxE] &gt; 0.5AxB</math></p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p><b>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos</b>  <math>\phi_{pi}=0.9</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Fuente: (NEC, 2015)

Tabla 10. Coeficientes de irregularidad en elevación.

<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_{EI}=0.9</math>                      Rigidez <math>K_c &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math>  <math>Rigidez &lt; 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Distribución de masa</b>  <math>\phi_{EI}=0.9</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_E</math> ó  <math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Irregularidad geométrica</b>  <math>\phi_{EI}=0.9</math>  <math>a &gt; 1.3 b</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Fuente: (NEC, 2015)

A continuación, se presentará la tabla de los edificios a analizar con sus respectivos coeficientes de irregularidad.



Tabla 11. Edificios a analizar con sus respectivos coeficientes de irregularidad.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación	$\Phi_P$	$\Phi_E$
1	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	1.0	0.9
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	Pedernales	1.0	0.9
3	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	1.0	1.0
4	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	1.0	0.9
5	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	0.9	0.9
6	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	1.0	0.9
7	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales	1.0	1.0
8	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales	1.0	1.0
9	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez	1.0	0.9
10	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	Manta	1.0	0.9
11	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	1.0	1.0
12	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	0.9	0.9
13	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	0.9	0.9

14	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	1.0	1.0
15	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	0.9	1.0
16	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	0.9	0.9
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez	1.0	1.0
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	1.0	1.0
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil	1.0	1.0

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

### 3.3.5. Determinación del período de vibración T

Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Ecuación 1. Período de vibración.

Dónde:

**C<sub>t</sub>**: Coeficiente que depende del tipo de edificio

**h<sub>n</sub>**: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

**T**: Período de vibración

Para:

Tabla 12. Coeficientes según sistema estructural.

Tipo de estructura	$C_t$	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
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

Fuente: (NEC, 2015)

A continuación, se presentará los periodos de vibración de los edificios a analizar. Para las estructuras con cascarones de hormigón armado, se asume un periodo de vibración de 0.40 seg, debido que este tipo de estructuras por lo general presentan periodos de vibración bajos.

Tabla 13. Cálculo de periodos de vibración de los edificios a analizar.

N.	Edificios	Sistema estructural	$C_t$	$\alpha$	hn	T(seg)
1	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	0.055	0.9	16.30	<b>0.68</b>
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	0.055	0.9	15.42	<b>0.65</b>
3	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	0.055	0.9	9.60	<b>0.42</b>
4	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	0.055	0.9	12.80	<b>0.55</b>
5	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	0.055	0.9	13.50	<b>0.57</b>

6	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	0.055	0.9	18.60	<b>0.76</b>
7	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	0.055	0.9	11.65	<b>0.50</b>
8	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	0.055	0.9	11.65	<b>0.50</b>
9	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	0.055	0.9	11.35	<b>0.49</b>
10	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	0.055	0.9	10.65	<b>0.46</b>
11	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	0.055	0.75	5.95	<b>0.21</b>
12	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	0.055	0.75	24.55	<b>0.61</b>
13	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	0.055	0.75	34.50	<b>0.78</b>
14	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	0.055	0.75	13.60	<b>0.39</b>
15	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	0.055	0.75	23.10	<b>0.58</b>
16	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	0.055	0.75	34.80	<b>0.79</b>
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón				<b>0.40</b>
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón				<b>0.40</b>
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón				<b>0.40</b>

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

### **3.3.6. Factor de reducción de resistencia sísmica R**

El factor R permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, lo cual es permitido siempre que las estructuras y sus conexiones se diseñen para desarrollar un mecanismo de falla previsible y con adecuada ductilidad, donde el daño se concentre en secciones especialmente detalladas para funcionar como rótulas plásticas.

Los factores de reducción de resistencia R dependen realmente de algunas variables, tales como:

- tipo de estructura,
- tipo de suelo,
- período de vibración considerado
- factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite.



Tabla 14. Coeficiente R para distintos sistemas estructurales.

<b>Sistemas Estructurales Dúctiles</b>	<b>R</b>
<b>Sistemas Duales</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
<b>Sistemas Estructurales Dúctiles</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
<b>Otros sistemas estructurales para edificaciones</b>	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
<b>Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada</b>	
<b>Pórticos resistentes a momento</b>	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
<b>Muros estructurales portantes</b>	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Fuente: (NEC, 2015)

A continuación se presenta la tabla de los edificios a analizar con sus respectivo factor de reducción de resistencia sísmica R.

Tabla 15. Coeficientes R de los edificios a analizar.

N.	Edificios	Sistema estructural	Factor R
1	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	8
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	8
3	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	8
4	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	8
5	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	8
6	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	5
7	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	5
8	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	5
9	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	5
10	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	5
11	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	8
12	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	8
13	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	8

14	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	8
15	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	8
16	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	8
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	5
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	5
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	5

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

### 3.4. Espectros de respuesta de estaciones acelerográficas en el sismo del 16 de abril del 2016

En la siguiente tabla se presenta la información de las estaciones acelerográficas de las ciudades que se están analizando en este trabajo. Se usará la estación ubicada en Chone, debido a que es la estación mas cercana a Bahía de Caráquez.

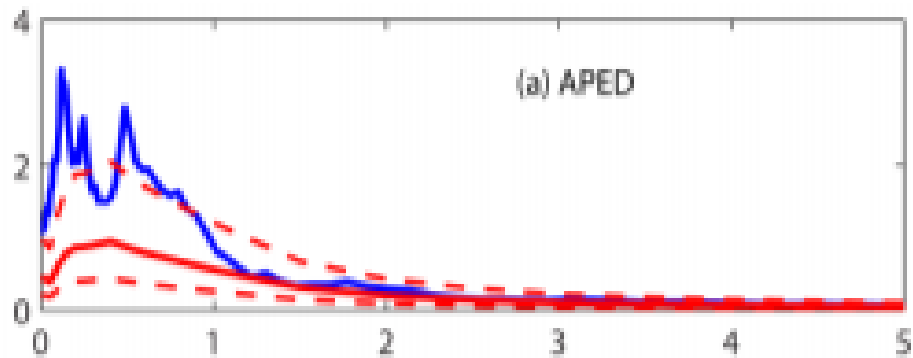
Tabla 16. Estaciones de acelerómetros.

Estación	Ciudad	Coordenadas geográficas		Vs30	PGA (g)		
		Latitud	Longitud		EW	NS	VER
APED	Pedernales	0° 4' 4.8" N	80° 3' 25.2" W	342	1.408	0.83	0.742
ACHN	Chone	0° 41' 52.8" S	80° 5' 2.4" W	200	0.328	0.371	0.173

APO1	Portoviejo	1° 2' 16.8" S	80° 27' 36" W	224	0.317	0.381	0.105
AMNT	Manta	0° 56' 27.6" S	80° 44' 6" W	496	0.404	0.525	0.162
AGYE	Guayaquil	2° 3' 14.4" S	79° 57' 7.2" W	1800	0.019	0.024	0.015
AGYE1	Guayaquil	2° 15' 3.6" S	79° 54' 36" W	178	0.059	0.065	0.02
AGY2	Guayaquil	1 -2° 11' 56.4" S	79° 53' 56.4" W	101	0.094	0.098	0.038

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

### 3.4.1. Espectro de respuesta en estación APED (pedernales)



Fuente: (GEER-ATC, 2016)

Ilustración 69. Espectro de respuesta de media geográfica registrada en acelerómetro. (línea azul)

A continuación, se presentará una tabla con los edificios analizados en Pedernales con su respectivo período de vibración.

Tabla 17. Edificios ubicados en Pedernales y su respectivo período de vibración.

Edificios	Sistema estructural	Ubicación	T(seg)
Municipio Pedernales	Vigas peraltadas	Pedernales	0.65
Last Mar	Vigas banda	Pedernales	0.50
Juana Wacho	Vigas banda	Pedernales	0.50

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

Las tres edificaciones tuvieron su período de vibración en la meseta del espectro de respuesta, por lo tanto, los elementos de las estructuras se vieron afectadas directamente por la intensidad del sismo.

### 3.4.2. Espectro de respuesta en estación AMNT (Manta)

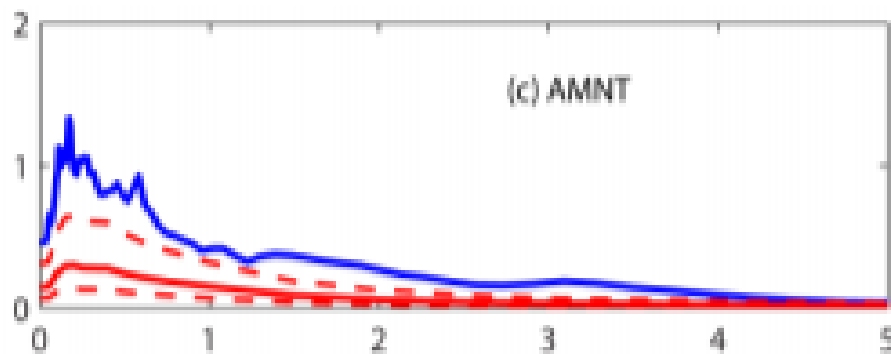


Figura 70. Espectro de respuesta de media geográfica registrada en acelerómetro. (línea azul)

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

A continuación, se presentará una tabla con los edificios analizados en Manta con su respectivo período de vibración.



Tabla 18. Edificios ubicados en Manta y su respectivo período de vibración.

<b>Edificios</b>	<b>Sistema estructural</b>	<b>Ubicación</b>	<b>T(seg)</b>
<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	0.42
<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	0.55
<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	0.57
<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	Manta	0.46
<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	0.21
<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	0.39
<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	0.58
<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	0.79

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

Todas las edificaciones analizadas en Mana tuvieron su periodo de vibración en la meseta de aceleraciones máximas del espectro de respuesta, siendo afectadas directamente por el sismo y provocando la mayoría de los daños.

### 3.2.1. Espectro de respuesta en estación APO1 (Portoviejo)

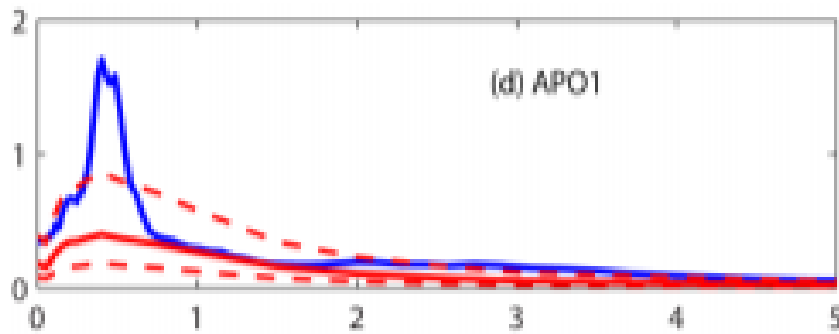


Figura 71. Espectro de respuesta de media geográfica registrada en acelerómetro. (línea azul)

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

A continuación, se presentará una tabla con los edificios analizados en Portoviejo con su respectivo período de vibración.

Tabla 19. Edificios ubicados en Portoviejo y su respectivo período de vibración.

<b>Edificios</b>	<b>Sistema estructural</b>	<b>Ubicación</b>	<b>T(seg)</b>
<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	0.68
<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	0.76

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

Las estructuras analizadas en la ciudad de Portoviejo no tuvieron su período de vibración en las aceleraciones máximas del espectro de respuesta de la

estación. Es decir que no presentaron mayores daños debido al terremoto, sino a su deficiente sistema constructivo.

### 3.2.1. Espectro de respuesta en estación ACHN (Chone)

Ese espectro se usará para los edificios ubicados en Bahía de Caráquez ya que ACHN es la estación más cercana.

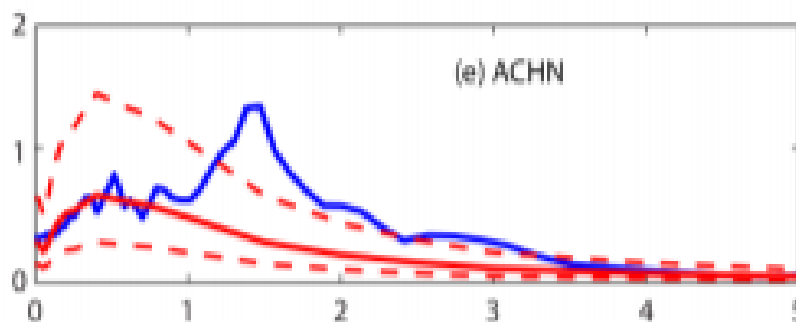


Figura 72. Espectro de respuesta de media geográfica registrada en acelerómetro. (línea azul)

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

Tabla 20. Edificios ubicados en Bahía de Caráquez y su respectivo período de vibración.

Edificios	Sistema estructural	Ubicación	T(seg)
Municipio Cantón Sucre	Vigas banda	Bahía de Caráquez	0.49
Sala de velaciones	Cascarón	Bahía de Caráquez	0.40

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

Estos edificios sufrieron aceleraciones altas, mas no las máximas representadas en el espectro de respuesta de la estación.

### 3.2.1. Espectros de respuesta en estaciones AGYE y AGY2 (Guayaquil)

Se escoge estas dos estaciones ya que están ubicadas en un perfil de suelo similar al perfil que están cimentadas los edificios a analizar.

La estación AGY2 está ubicada en un perfil de suelo flexible, mientras tanto que la estación AGYE está ubicada en un perfil de suelo más rocoso.

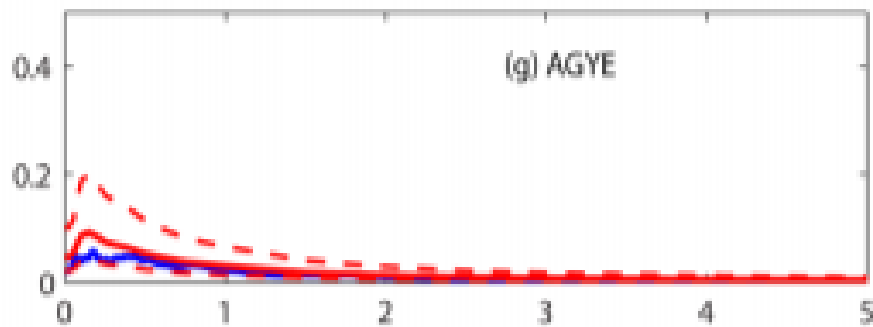


Ilustración 73. Espectro de respuesta de media geográfica registrada en acelerómetro. (línea azul).

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

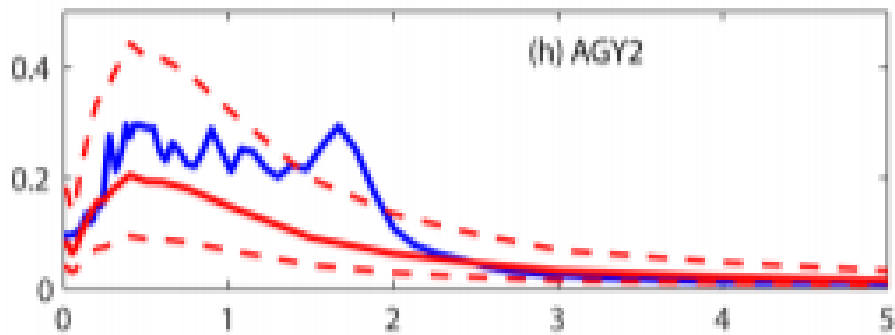


Ilustración 74. Espectro de respuesta de media geográfica registrada en acelerómetro. (línea azul)

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

Tabla 21. Edificios ubicados en Guayaquil y su respectivo período de vibración.

<b>Edificios</b>	<b>Sistema estructural</b>	<b>Ubicación</b>	<b>T(seg)</b>
<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	0.61
<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	0.78
<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	0.40
<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil	0.40

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

Los edificios Holiday Inn y el complejo judicial están cimentados en un perfil correspondiente a la estación AGY2, se vieron afectados directamente por el sismo, debido a que sus periodos de vibración se encuentran en la meseta del espectro de respuesta. A diferencia de las otras dos estructuras que percibieron bajas aceleraciones.

### **3.5. Intensidad de sismo**

Según el (IGEPN, 2016) La intensidad es un indicador de la fuerza del evento, medido en personas, objetos y edificaciones. Para determinar los niveles de intensidad se utilizó la Escala Macrosísmica europea (EMS98), que es una actualización de la Escala de Mercalli. Esta escala cuenta con 12 grados.

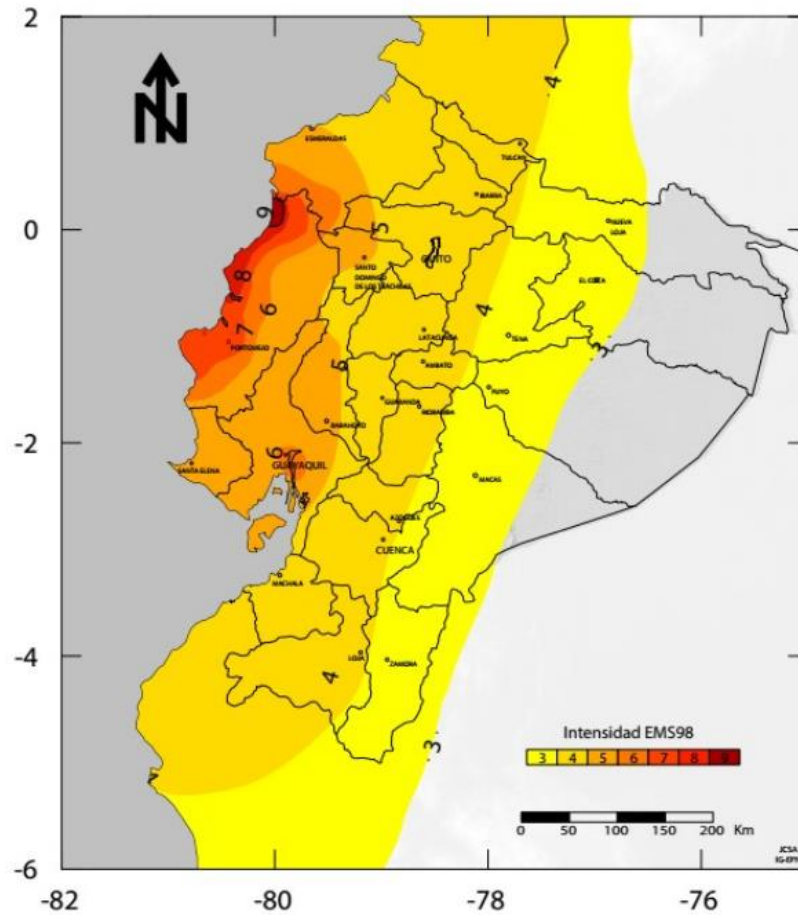


Figura 75. Mapa de intensidades del sismo del 16 de abril de 2016.

Fuente: (IGEPN, 2016)

A continuación, se presentará una tabla de los edificios a analizar con su respectiva intensidad del sismo.

Tabla 22. Edificios a analizar con su respectiva intensidad de sismo.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación	Intensidad Mercalli
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	Pedernales	9



3	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales	9
4	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales	9
5	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez	8
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez	8
1	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	7
6	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	7
7	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	7
8	<b>Corporación nacional de telecomunicaciones</b>	Vigas banda	Manta	7
9	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	7
10	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	7
11	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	7
12	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	7
13	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	7

14	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	7
15	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	6
16	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	6
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	6
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil	6

Fuente: (IGEPN, 2016)

### 3.6. Grado de daño

#### 3.6.1. Nivel de desempeño según NEC 2015

Según (NEC, 2015) es necesario determinar el nivel de desempeño estructural y no estructural para poder realizar una rehabilitación de un edificio.

Se comprobarán las estructuras para 4 niveles de desempeño:

- 1-A: nivel operacional
- 1-B: nivel de ocupación inmediata
- 3-C: nivel de seguridad de vida
- 5-E: nivel de prevención al colapso.

Esta es una de las maneras que la NEC determina el nivel de daño de una construcción, sabiendo así su desempeño después del sismo.

Tabla 23. Control de daño y niveles de desempeño para edificios.

	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)	Nivel de Seguridad de Vida (5-E)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel Operacional (1-A)
<b>Daño Global</b>	<b>Severo</b>	<b>Moderado</b>	<b>Ligero</b>	<b>Muy Ligero</b>
<b>General</b>	Pequeña resistencia y rigidez residual, pero columnas y muros cargadores funcionando. Grandes derivas permanentes. Algunas salidas bloqueadas. Parapetos no asegurados que han fallado o tienen alguna falla incipiente. El edificio está cerca del colapso	Algo de resistencia y rigidez residual ha quedado en todos los pisos. Elementos que soportan cargas gravitacionales aún funcionando. Fallas en muros dentro de su plano o parapetos inclinados. Algo de deriva permanente. Daño en paredes divisorias. El Edificio se mantiene económicamente reparable	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, cielos razos así como en elementos estructurales. Los ascensores aún pueden ser encendidos. Sistema contra incendios aún operable	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene la resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, y cielos razos así como en elementos estructurales. Todos los sistemas importantes para una operación normal están en funcionamiento
<b>Componentes No Estructurales</b>	Daño severo	Peligro de caída de objetos mitigado pero bastante daño en sistemas: arquitectónico, mecánico y eléctrico	Equipos y contenido están seguros de manera general, pero algunos no operan debido a fallas mecánicas o falta de utilidad	Ocurre daño insignificante. La energía eléctrica y otros servicios están disponibles, posiblemente por servicios de reserva

Fuente: (NEC, 2015)

### 3.6.2. Grado de daño según MIDUVI

El ministerio de desarrollo urbano y vivienda realizó un relevamiento de las estructuras en las ciudades afectadas hasta el 29 de abril del 2016, la siguiente encuesta de daños muestra el porcentaje de daño en edificios en las ciudades de Manta, Portoviejo, Muisne y Bahía de Caráquez.

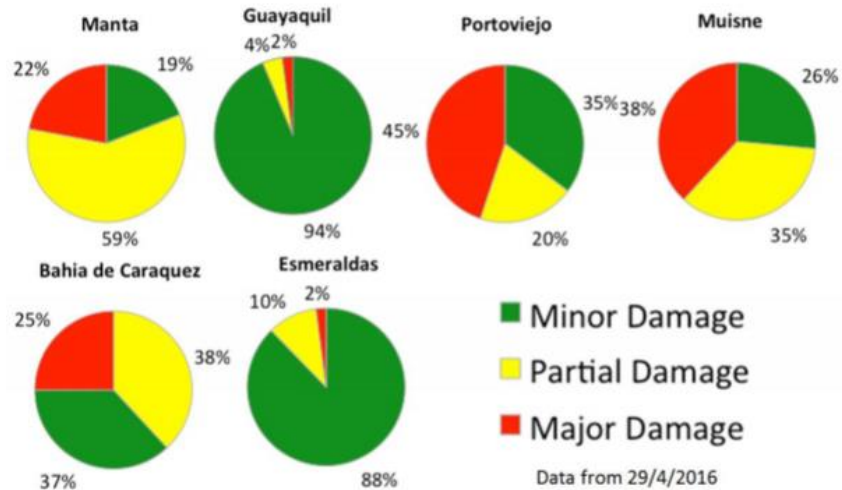


Figura 76. Porcentaje de daño de estructuras en las zonas más afectadas de diferentes ciudades.

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

El MIDUVI también presentó una estimación de daño estructural promedio expresado como porcentaje entre las 4 principales ciudades afectadas: Portoviejo, Pedernales, Manta y Bahía de Caráquez, en función del número de pisos. Datos basados en la evaluación posterior al terremoto del Ministerio de vivienda.

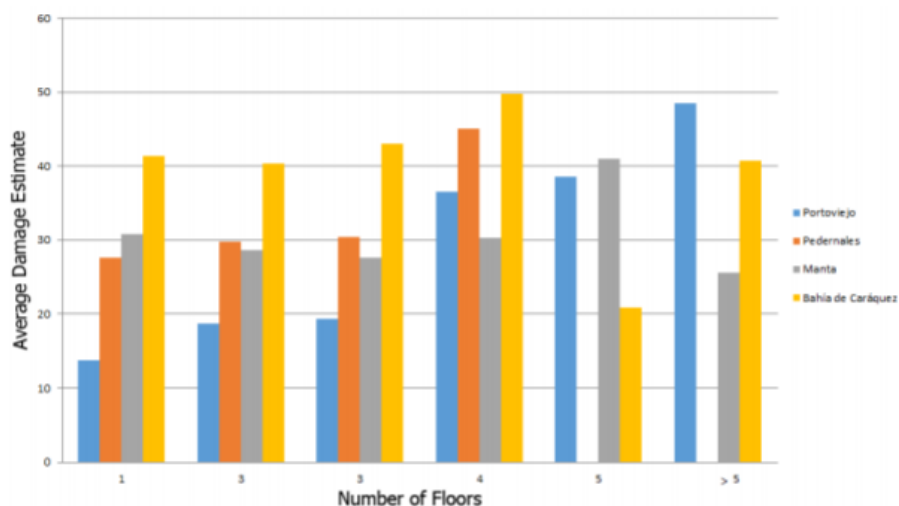


Figura 77. Daño estructural promedio en porcentaje con respecto al número de pisos.

Fuente: (GEER-ATC, 2016)

### 3.6.3. Grado de daño por medio de la escala de EERI

La EERI (Earthquake Engineering Research Institute, con sede en Oakland, California) propone una guía para evaluar el grado de daño que pueden sufrir diferentes clases de edificios después de un terremoto. Para la EERI el daño se debe documentar de una manera detallada para todos los edificios, incluyendo edificios de un mismo tipo y tamaño ya que estos no necesariamente se comportan de la misma manera ante un terremoto.

Tabla 24. Definición d estado de daño.

Nivel	Estado de daño (%)	Definición
Ninguno	0	Sin daño.
Ligero	0 –5	Daño no estructural aislado; costo de reparación menor al 5% del valor del mercado del edificio.
Moderado	5 – 25	Daño considerable no estructural y daño estructural ligero; costo de reparación menor al 25% del valor del mercado.
Severo	25 –50	Daño estructural considerable y daño no estructural excesivo; costo de reparación menor al 50% del valor del mercado.
Total	50 – 100	Más económico demoler que reparar.
Colapso	>100	Colapso de la estructura.

Fuente: (EERI,1996)

### 3.6.4. Escalas de daño estudiadas por la NHRC

La NHRC (Natural Hazards Research Centre, con sede en la Universidad de Macquire, Australia) ha realizado una recopilación de algunas de las escalas de daño mas completas para la evaluación de daños en edificios producidos por un sismo.

Tabla 25. Escala de daño en estructuras.

Estado de daño	Daño estructural	Daño no estructural	Relación de daño (%)	Descripción del estado de daño
0	Ninguno	Ninguno	0.00 – 0.05	Sin daño
1	Ninguno	Menor	0.05 – 0.30	Daño no estructural menor –grietas en algunos muros y tabique agrietados; daños irrelevantes en componentes mecánicos y eléctricos–
2	Ninguno	Localizado	0.30 – 1.25	Daño no estructural localizado –agrietamiento más importante (pero todavía no generalizado); posible daño en elevadores y/o otros componentes mecánicos y eléctricos–
3	No apreciable	Generalizado	1.25 – 3.50	Daño no estructural generalizado –posible agrietamiento en algunas vigas y columnas, aunque no apreciables–
4	Menor	Sustancial	3.50 – 7.50	Daño estructural menor –agrietamiento obvio o cedencia de algunos elementos estructurales; daño sustancial no estructural con grietas generalizadas–
5	Substancial	Extensivo	7.50 – 20.0	Daño estructural sustancial en donde se requiere reparar o reemplazar algunos elementos estructurales; asociado a un daño importante en elementos no estructurales–
6	Mayor	Cercano al total	20.0 – 65.0	Daño estructural mayor, en donde se requiere reparar o reemplazar muchos elementos estructurales; el daño no estructural asociado requiere reparar la mayor parte del interior; el edificio se desaloja durante la reparación
7	Declarado en ruina		100	Edificio declarado en ruina
8	Colapso		100	Colapso total

Fuente: (NHRC, 1973)



### 3.6.5. Grados de daño de edificios analizados

Tabla 26. Diferentes grados de daño de estructuras analizadas, ordenado de mayor a menor según escala de Mercalli.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación	Intensidad Mercalli	Nivel de desempeño	Grado de daño (EERI)	Grado de daño (NHRC)	Según ubicación (MIDUVI)			
								% de daño por # de pisos	Daños menores	Daños parciales	Daños mayores
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	Pedernales	9	5-E	85%	100%	45%	-	-	-
3	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	76%	65%	45%	-	-	-
4	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	65%	56%	45%	-	-	-
5	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez	8	3-C	36%	18%	27%	37%	38%	25%
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez	8	1-A	0%	0%	41%	37%	38%	25%
1	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	7	5-E	100%	100%	48%	35%	20%	45%
6	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	7	3-C	25%	16%	38%	35%	20%	45%
7	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	7	1-B	12%	10%	30%	19%	59%	22%
8	<b>Corporación nacional de telecomunicacio</b>	Vigas banda	Manta	7	1-B	10%	7.5%	28%	19%	59%	22%
9	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	9%	7.5%	30%	19%	59%	22%
10	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	8%	3.5%	28%	19%	59%	22%
12	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	7	1-B	6%	3.5%	25%	19%	59%	22%
13	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	7	1-A	5%	2.6%	28%	19%	59%	22%
14	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	7	1-A	5%	2.5%	25%	19%	59%	22%
11	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	6%	0.1%	28%	19%	59%	22%
15	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
16	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

Tabla 27. Diferentes grados de daño de estructuras analizadas, ordenado según el nivel de desempeño de Severo a muy ligero.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación	Intensidad Mercalli	Nivel de desempeño	Grado de daño (EERI)	Grado de daño (NHRC)	Según ubicación (MIDUVI)			
								% de daño por # de pisos	Daños menores	Daños parciales	Daños mayores
2	Municipio Pedernales	Vigas peraltadas	Pedernales	9	5-E	85%	100%	45%	-	-	-
3	Last Mar	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	76%	65%	45%	-	-	-
4	Juana Wacho	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	65%	56%	45%	-	-	-
1	Farmacia Comercio	Vigas banda	Portoviejo	7	5-E	100%	100%	48%	35%	20%	45%
5	Municipio Cantón Sucre	Vigas banda	Bahía de Caráquez	8	3-C	36%	18%	27%	37%	38%	25%
6	Florería Esmeralda	Vigas peraltadas	Portoviejo	7	3-C	25%	16%	38%	35%	20%	45%
7	Universidad Laica "Eloy Alfaro"	Muro de corte	Manta	7	1-B	12%	10%	30%	19%	59%	22%
8	Corporación nacional de telecomunicación	Vigas banda	Manta	7	1-B	10%	7.5%	28%	19%	59%	22%
9	Unidad de vigilancia comunitaria	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	9%	7.5%	30%	19%	59%	22%
10	Corporación aduanera del Ecuador	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	8%	3.5%	28%	19%	59%	22%
12	Museo centro cultural	Muro de corte	Manta	7	1-B	6%	3.5%	25%	19%	59%	22%
11	Mall del Pacífico	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	6%	0.1%	28%	19%	59%	22%
17	Sala de velaciones	Cascarón	Bahía de Caráquez	8	1-A	0%	0%	41%	37%	38%	25%
13	Templo Nuestra señora del Rosario	Arriostrado	Manta	7	1-A	5%	2.6%	28%	19%	59%	22%
14	Sail Plaza Hotel	Muro de corte	Manta	7	1-A	5%	2.5%	25%	19%	59%	22%
15	Hotel Holiday Inn	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
16	Complejo judicial de Guayaquil	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
18	Laboratorios de asfalto y suelos UCSG	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
19	Café Bombons Ceibos	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

Tabla 28. Diferentes grados de daño de estructuras analizadas, ordenado según el grado de daño (EERI) de mayor a menor.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación	Intensidad Mercalli	Nivel de desempeño	Grado de daño (EERI)	Grado de daño (NHRC)	Según ubicación (MIDUVI)			
								% de daño por # de pisos	Daños menores	Daños parciales	Daños mayores
1	<b>Farmacia Comercio</b>	Vigas banda	Portoviejo	7	5-E	100%	100%	48%	35%	20%	45%
2	<b>Municipio Pedernales</b>	Vigas peraltadas	Pedernales	9	5-E	85%	100%	45%	-	-	-
3	<b>Last Mar</b>	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	76%	65%	45%	-	-	-
4	<b>Juana Wacho</b>	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	65%	56%	45%	-	-	-
5	<b>Municipio Cantón Sucre</b>	Vigas banda	Bahía de Caráquez	8	3-C	36%	18%	27%	37%	38%	25%
6	<b>Florería Esmeralda</b>	Vigas peraltadas	Portoviejo	7	3-C	25%	16%	38%	35%	20%	45%
7	<b>Universidad Laica "Eloy Alfaro"</b>	Muro de corte	Manta	7	1-B	12%	10%	30%	19%	59%	22%
8	<b>Corporación nacional de telecomunicación</b>	Vigas banda	Manta	7	1-B	10%	7.5%	28%	19%	59%	22%
9	<b>Unidad de vigilancia comunitaria</b>	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	9%	7.5%	30%	19%	59%	22%
10	<b>Corporación aduanera del Ecuador</b>	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	8%	3.5%	28%	19%	59%	22%
12	<b>Museo centro cultural</b>	Muro de corte	Manta	7	1-B	6%	3.5%	25%	19%	59%	22%
11	<b>Mall del Pacífico</b>	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	6%	0.1%	28%	19%	59%	22%
13	<b>Templo Nuestra señora del Rosario</b>	Arriostrado	Manta	7	1-A	5%	2.6%	28%	19%	59%	22%
14	<b>Sail Plaza Hotel</b>	Muro de corte	Manta	7	1-A	5%	2.5%	25%	19%	59%	22%
17	<b>Sala de velaciones</b>	Cascarón	Bahía de Caráquez	8	1-A	0%	0%	41%	37%	38%	25%
15	<b>Hotel Holiday Inn</b>	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
16	<b>Complejo judicial de Guayaquil</b>	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
18	<b>Laboratorios de asfalto y suelos UCSG</b>	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
19	<b>Café Bombons Ceibos</b>	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

Tabla 29. Diferentes grados de daño de estructuras analizadas, ordenado según el grado de daño (NHRC) de mayor a menor.

N.	Edificios	Sistema estructural	Ubicación	Intensidad Mercalli	Nivel de desempeño	Grado de daño (EERI)	Grado de daño (NHRC)	Según ubicación (MIDUVI)			
								% de daño por # de pisos	Daños menores	Daños parciales	Daños mayores
1	Farmacia Comercio	Vigas banda	Portoviejo	7	5-E	100%	100%	48%	35%	20%	45%
2	Municipio Pedernales	Vigas peraltadas	Pedernales	9	5-E	85%	100%	45%	-	-	-
3	Last Mar	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	76%	65%	45%	-	-	-
4	Juana Wacho	Vigas banda	Pedernales	9	5-E	65%	56%	45%	-	-	-
5	Municipio Cantón Sucre	Vigas banda	Bahía de Caráquez	8	3-C	36%	18%	27%	37%	38%	25%
6	Florería Esmeralda	Vigas peraltadas	Portoviejo	7	3-C	25%	16%	38%	35%	20%	45%
7	Universidad Laica "Eloy Alfaro"	Muro de corte	Manta	7	1-B	12%	10%	30%	19%	59%	22%
8	Corporación nacional de telecomunicación	Vigas banda	Manta	7	1-B	10%	7.5%	28%	19%	59%	22%
9	Unidad de vigilancia comunitaria	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	9%	7.5%	30%	19%	59%	22%
10	Corporación aduanera del Ecuador	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	8%	3.5%	28%	19%	59%	22%
12	Museo centro cultural	Muro de corte	Manta	7	1-B	6%	3.5%	25%	19%	59%	22%
13	Templo Nuestra señora del Rosario	Arriostrado	Manta	7	1-A	5%	2.6%	28%	19%	59%	22%
14	Sail Plaza Hotel	Muro de corte	Manta	7	1-A	5%	2.5%	25%	19%	59%	22%
11	Mall del Pacífico	Vigas peraltadas	Manta	7	1-B	6%	0.1%	28%	19%	59%	22%
17	Sala de velaciones	Cascarón	Bahía de Caráquez	8	1-A	0%	0%	41%	37%	38%	25%
15	Hotel Holiday Inn	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
16	Complejo judicial de Guayaquil	Arriostrado	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
18	Laboratorios de asfalto y suelos UCSG	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%
19	Café Bombons Ceibos	Cascarón	Guayaquil	6	1-A	0%	0%	-	94%	4%	2%

Fuente: Ronny Chérrez, 2020

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mayoría de los edificios sufrieron daños debido a la intensidad del sismo, esto se comprobó en el capítulo 3 ubicando los periodos de vibración de cada estructura en el espectro de respuesta de la estación correspondiente a cada edificio. Asimismo, hubo edificios como por ejemplo los ubicados en Portoviejo que no tuvieron su periodo de vibración en la meseta del espectro, esto quiere decir que los daños que sufrieron estos edificios se debieron a su deficiente sistema constructivo, mas no a las elevadas aceleraciones del sismo.

En el capítulo anterior se obtuvieron varios resultados que ayudan a llegar a una conclusión muy clara. Las tablas de grado de daño indican claramente, que sin importar el método que se use para evaluar el grado de daño, el sistema de pórticos con vigas banda fue el mas desfavorable en el sismo del 16 de abril del 2016. A pesar de estar permitido por normativas de diseño, no es recomendable usar este sistema estructural en lugares donde el riesgo sísmico es elevado, ya que, a pesar de ser capaz de soportar cargas gravitacionales, las vigas banda no son capaces de soportar cargas laterales como son las fuerzas inducidas por un sismo. Cabe recalcar que la gran mayoría de estructuras que colapsaron en la provincia de Manabí estaban conformadas por pórticos con vigas banda.

En segundo lugar, están los pórticos con vigas peraltadas, que tienen un buen desempeño sísmico, sin embargo, se comporta de una manera neutral, dependiendo de los cuidados que tome el diseñador en el diseño sismo resistente. En la actualidad, las vigas peraltadas son muy usadas debido al buen desempeño que han tenido en los sismos, sobre todo por su capacidad de soportar cargas horizontales.

Los muros de corte y los arriostramientos, su característica principal es rigidizar la estructura, evitando daños a los elementos estructurales y no

estructurales. Se recomiendan usar estos sistemas estructurales para conseguir una construcción segura y buen desempeño sísmico.

Las estructuras de cascarones de hormigón armado analizadas en este trabajo, como es notorio, no sufrieron daño alguno en su estructura, demostrando un buen desempeño sísmico, a pesar de eso este sistema no es muy usado debido a su complejidad de construcción.

Es recomendable usar mas de uno de estos sistemas constructivos a la vez, como, por ejemplo, edificios con vigas peraltadas y muros de corte con un correcto diseño, aseguraran un excelente desempeño sísmico.



## REFERENCIAS

- ACI. (2014). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14)*.
- Aguiar, R. (2016). *Revista Ciencia*. Obtenido de OMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS AFECTADOS POR EL TERREMOTO DE 2016 EN MANTA.: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/541/454>
- Armendáriz, H. (2016). *Resultado de la Inspeccion Visual realizada durante el Breve recorrido por las calles de Portoviejo en Abril 19 - 2016*. Portoviejo: ASCE.
- Arriaga, D. (2006). *Academia*. Obtenido de Losas Planas: [https://www.academia.edu/29282098/CAPITULO\\_1\\_LOSAS\\_PLANAS](https://www.academia.edu/29282098/CAPITULO_1_LOSAS_PLANAS)
- BBC. (20 de Abril de 2016). *Terremoto de magnitud 7,8 en la zona costera de Ecuador deja más de 600 muertos*. Obtenido de BBC NEWS: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416\\_ecuador\\_terremoto\\_magnitud\\_colombia\\_peru\\_bm](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416_ecuador_terremoto_magnitud_colombia_peru_bm)
- Bermeo, C., & Diego, S. (2017). *Comportamiento de conexión losa-columna en pórticos con vigas banda en nudos interiores*. Quito.
- Detalles constructivos. (2004).
- Elbert, G. (2018). *Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16*. Obtenido de Repositorio UCSG: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11226/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-266.pdf>
- GEER-ATC. (2016). *GEER-ATC EARTHQUAKE RECONNAISSANCE*. Muisne.

- IGEPN. (4 de Mayo de 2016). *Informe sísmico especial N. 18 -2016*. Obtenido de Instituto geofísico: <http://www.igepn.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html>
- Instituto de investigación geológico y energético. (2017). *Mapas geológicos 2017 - 2018*. Obtenido de Instituto de investigación geológico y energético: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>
- Maldonado Daniel, D. J. (2013). *Metodología para evaluación y reforzamiento estructural de edificios de hormigón armado mediante muros de corte y fibras de carbono*. Obtenido de Pontificia universidad católica del Ecuador:  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6069/T-PUCE-6315.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mallqui, A. (2013). *CLASIFICACION ESTRUCTURAL*. Obtenido de Universidad peruana de Los Andes:  
<https://amallquis.files.wordpress.com/2013/04/identificacic3b3n-de-los-sistemas-estructurales-bc3a1sicos.pdf>
- NEC. (2015). *Estructuras de acero*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-AC-Estructuras-de-Acero.pdf>
- NEC. (2015). *Estructuras de hormigón armado*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf>
- NEC. (2015). *Peligro sísmico parte 1*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>
- NEC. (2015). *Peligro sísmico parte 2*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-2.pdf>

content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-2.pdf

NEC. (2015). *Peligro sísmico parte 3*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-31.pdf>

NEC. (2015). *Peligro sísmico parte 4*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-4.pdf>

NEC. (2015). *Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-RE-Riesgo-s%C3%ADsmico.pdf>



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Chérrez Herrera, Ronny Amador, con C.C: # 0928887017 autor del trabajo de titulación: Desempeño de edificios en Ecuador durante el terremoto del 16 de abril de 2016 según su sistema constructivo 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, 14 de septiembre del 2020

f. \_\_\_\_\_

Nombre: Chérrez Herrera, Ronny Amador

C.C: 0928887017

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Desempeño de edificios en Ecuador durante el terremoto del 16 de abril de 2016 según su sistema constructivo		
<b>AUTOR(ES)</b>	Ronny Amador Chérrez Herrera		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Alex Raúl Villacrés Sánchez		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>14 de septiembre del 2020</b>	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	105
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Investigación, estructuras, diseño		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	Sistema estructural, grado de daño, vigas descolgadas, vigas banda, arriostramientos, muro de corte.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>Después del terremoto del 16 de abril del 2016, es necesario analizar los sistemas estructurales y su grado de daño. En este trabajo se estudiarán diferentes sistemas estructurales tales como: pórticos con vigas banda, pórticos con vigas descolgadas, arriostramientos, muros de corte y cascarones de hormigón armado. Se analizarán edificios que posean estos sistemas estructurales en condiciones similares. Se toma en cuenta las condiciones de la Norma ecuatoriana de la construcción para todos los edificios, determinando periodos de vibración y ubicarlos en los espectros de respuesta de los acelerógrafos registrados en el sismo del 2016. Se forman tablas multi variables tomando en cuenta varios factores de cada edificio, prevaleciendo el grado de daño de cada edificio en relación a su ubicación, material, y sobre todo su sistema constructivo. Llegando a una conclusión de cuál fue el sistema constructivo más desfavorable y cuál fue el que obtuvo el menor grado de daño.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO AUTOR/ES:</b>	<b>CON</b>	<b>Teléfono:</b> +593-98-888-3556	<b>E-mail:</b> rcherrezherrera@gmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>LA</b>	<b>Nombre:</b> Clara Catalina Glas Cevallos	
		<b>Teléfono:</b> +593-98-461-6792	
	<b>DEL</b>	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.com.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			