

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

TEMA:

**Relación estadística de la coincidencia del período de vibración de
suelos y edificios con el grado de daños de edificios durante el sismo
del 16 de abril de 2016 en la Costa del Ecuador**

AUTOR:

Gaviria Mendoza, Arianna Teresa

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

TUTOR:

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

Guayaquil, Ecuador

15 de septiembre del 2021



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Gaviria Mendoza, Arianna Teresa**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera 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 15 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Gaviria Mendoza, Arianna Teresa

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Relación estadística de la coincidencia del período de vibración de suelos y edificios con el grado de daños de edificios durante el sismo del 16 de abril de 2016 en la Costa del Ecuador**, 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 15 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR (A)

f. _____

Gaviria Mendoza, Arianna Teresa



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Gaviria Mendoza, Arianna Teresa**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Relación estadística de la coincidencia del período de vibración de suelos y edificios con el grado de daños de edificios durante el sismo del 16 de abril de 2016 en la Costa del Ecuador**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR(A):

f. _____

Gaviria Mendoza, Arianna Teresa

Reporte Urkund



Urkund Analysis Result

Analysed Document: GAVIRIA_ARIANNA_FINAL.docx (D113416287)
Submitted: 9/25/2021 6:05:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 1 %

Sources included in the report:

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10150/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-243.pdf>

Instances where selected sources appear:

1

Agradecimiento

Mi vida universitaria ha sido una etapa llena de retos y cambios a lo largo de cada uno de estos años de estudio, los mismos que me han ayudado a crecer y madurar. No obstante, no hubiera podido lograr llegar hasta aquí sin ayuda y agradezco mucho por ello.

Le doy gracias a Dios, por iluminar mi mente y brindarme la fortaleza y paciencia necesaria para seguir adelante día a día.

A mi mamá, por brindarme todo su amor y cariño, y, esforzarse cada día para que yo pueda cumplir con mis objetivos, sin importar qué tan difícil sea.

A mi papá y mi hermanito, por darme siempre su cariño y apoyo incondicional. Asimismo, a mis tías por ser parte de este largo proceso con amor y ayudándome en todo lo que esté al alcance de ellas.

A mis mejores amigos: Joyce Velásquez, Jorge Saltos, Naomi Yagual y Alejandro Samaniego, gracias, por enseñarme el valor de la amistad y ser un soporte fundamental en todos estos años de estudio.

Le agradezco a todos los profesores que he tenido a lo largo de la carrera, por cada una de sus enseñanzas que serán aporte fundamental en mi vida profesional; a mi tutor de tesis, por guiarme en el desarrollo de esta investigación y poder realizarla de la mejor manera, y así, obtener el título de Ingeniera Civil.

Arianna Teresa Gaviria Mendoza.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por iluminar mis días y ser mi fortaleza para seguir adelante, llenando de bendiciones y amor a mi ser.

Y, también a mi familia por ser un pilar fundamental en cada uno de mis días y apoyarme en este largo proceso de vida universitaria.

Arianna Teresa Gaviria Mendoza.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Carlos Chon Díaz, M. Sc.

DECANO DE CARRERA

f. _____

Ing. Xavier Casal Rodríguez, M. Sc.

COORDINADOR DEL ÁREA ESTRUCTURA Y CIMENTACIONES

f. _____

Ing. José Barros Cabezas, M. Sc

OPONENTE

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	2
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4
1.1.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Alcance.....	5
1.5. Metodología.....	5
CAPÍTULO II	6
2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	6
2.1. Fuentes de Información	6
2.1.1. <i>Periódicos y Páginas Web</i>	6
2.1.2. <i>Papers</i>	6
2.1.3. <i>Tesis UCSG</i>	7
2.2. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016.....	7
2.2.1. <i>Pedernales</i>	7
2.2.2. <i>Chone</i>	7
2.2.3. <i>Portoviejo</i>	8
2.2.4. <i>Manta</i>	8
2.2.5. <i>Guayaquil</i>	9

CAPÍTULO III.....	10
3. DESCRIPCIÓN DE EDIFICIOS AFECTADOS	10
3.1. Edificios afectados en Pedernales	10
3.1.1. Edificio Venus Loor.....	10
3.1.2. Edificio Líder Vera.....	11
3.1.3. Edificio Julio Williams.....	11
3.1.4. Edificio Williams Center.....	12
3.1.5. Gobierno Autónomo Descentralizado de Pedernales.....	12
3.1.6. Edificio YamYam.....	13
3.1.7. Edificio Juana Wacho	14
3.1.8. Hotel Last Mar.....	14
3.1.9. UPC Pedernales.....	15
3.1.10. Edificio Miranda Banchón	15
3.2. Edificios afectados en Chone	16
3.2.1. Unidad Educativa Amazonas	16
3.2.2. Hospital Napoleón Dávila Córdova.....	16
3.2.3. Unidad Educativa Aurelio Salazar	17
3.2.4. Unidad Educativa Eugenio Espejo	17
3.2.5. Unidad Educativa Juan Montalvo	17
3.2.6. Unidad Educativa 24 de julio	17
3.2.7. Unidad Educativa Abdón Calderón.....	18
3.3. Edificios afectados en Portoviejo	18
3.3.1. Universidad San Gregorio.....	18

3.3.2.	<i>Unidad Educativa Santa María de Jesús</i>	19
3.3.3.	<i>Unidad Educativa Cristo Rey</i>	20
3.3.4.	<i>UVC</i>	20
3.3.5.	<i>Cuartel del Cuerpo de Bomberos</i>	21
3.4.	Edificios afectados en Manta	22
3.4.1.	<i>Unidad Educativa Linus Palling</i>	22
3.4.2.	<i>Unidad Educativa Salesiana San José</i>	23
3.4.3.	<i>ULEAM</i>	24
3.4.4.	<i>Capitanía del Puerto de Manta</i>	25
3.4.5.	<i>UVC</i>	25
3.5.	Edificios afectados en Guayaquil	27
3.5.1.	<i>Unidad de Flagrancia del Cuartel Modelo</i>	27
3.5.2.	<i>Edificio de Solca</i>	27
3.5.3.	<i>Edificio del Hospital Naval</i>	29
3.5.4.	<i>Edificio Vihcar</i>	30
3.5.5.	<i>Centro Comercial San Marino</i>	31
3.5.6.	<i>Edificio Banco del Pichincha, Urdesa</i>	32
CAPÍTULO IV		34
4.	METODOLOGÍA	34
4.1.	Zona Sísmica y Factor de Zona z	34
4.2.	Zonificación Sísmica de Suelos.....	35
4.2.1.	<i>Mapas geológicos de las ciudades de estudio</i>	36
4.2.2.	<i>Determinación de perfil de suelo según NEC - 15</i>	40

4.2.3.	<i>Coefficientes de Perfil de Suelo</i>	41
4.2.4.	<i>Espectro Elástico de Diseño en aceleraciones Sa</i>	42
4.2.5.	<i>Registro de la Red de Acelerógrafos</i>	46
4.3.	Cálculo del período de vibración T de una estructura.....	49
4.4.	Relación Estadística. Análisis Experimental de dos variables (Prueba de independencia)	50
CAPÍTULO V		52
5.	MEMORIA DE CÁLCULO	52
	Hipótesis:	52
5.1.	Caracterización del tipo de suelo en estructuras seleccionadas.....	52
5.1.1.	<i>Pedernales</i>	52
5.1.2.	<i>Chone</i>	54
5.1.3.	<i>Portoviejo</i>	55
5.1.4.	<i>Manta</i>	57
5.1.5.	<i>Guayaquil</i>	59
5.2.	Resumen de Características de los Edificios	61
5.2.1.	<i>Pedernales</i>	61
5.2.2.	<i>Chone</i>	61
5.2.3.	<i>Portoviejo</i>	62
5.2.4.	<i>Manta</i>	62
5.2.5.	<i>Guayaquil</i>	62
5.3.	Determinación de la Aceleración Espectral.....	63
5.3.1.	<i>Pedernales</i>	63

5.3.2.	<i>Chone</i>	66
5.3.3.	<i>Portoviejo</i>	69
5.3.4.	<i>Manta</i>	72
5.3.5.	<i>Guayaquil</i>	75
5.4.	Relación Estadística entre Grado de Daño y Aceleración Espectral	77
5.4.1.	<i>Pedernales</i>	79
5.4.2.	<i>Chone</i>	81
5.4.3.	<i>Portoviejo</i>	81
5.4.4.	<i>Manta</i>	84
5.4.5.	<i>Guayaquil</i>	86
CAPÍTULO VI.....		89
6.	RESULTADOS.....	89
6.1.1.	<i>Resultados Portoviejo</i>	89
6.1.2.	<i>Resultados Manta</i>	89
6.1.3.	<i>Resultados Guayaquil</i>	90
CONCLUSIONES		91
RECOMENDACIONES.....		92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de Factor z, en función de la zona sísmica. Fuente: NEC – 15	35
Tabla 2 Tipo de Perfil de suelo. Fuente: NEC - 15.....	40
Tabla 3 Tipo de suelo y factor de sitio Fa	41
Tabla 4 Tipo de suelo y factor de sitio Fd	41
Tabla 5 Tipo de suelo y factor de sitio Fs.....	42
Tabla 6 Registro de la Red de Acelerógrafos del Ecuador. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador	46
Tabla 7 Parámetros de Ct y Alfa	50
Tabla 8 tabla “Correspondencia entre clases de sitio To y rangos de velocidades Vs.....	53
Tabla 9 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Pederales	53
Tabla 10 perfil de Suelo tipo D.....	54
Tabla 11 perfil de Suelo tipo E	55
Tabla 12 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Chone	55
Tabla 13 perfil de Suelo tipo D.....	56
Tabla 14 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Portoviejo.	57
Tabla 15 perfil de Suelo tipo D.....	58
Tabla 16 perfil de Suelo tipo E	58
Tabla 17 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Manta	58
Tabla 18 Perfil de Suelo tipo F.....	60

Tabla 19 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Guayaquil	60
Tabla 20 Características de Edificios en Pedernales	61
Tabla 21 Características de Edificios en Chone.....	61
Tabla 22 Características de Edificios en Portoviejo	62
Tabla 23 Características de Edificios en Manta	62
Tabla 24 Características de Edificios en Guayaquil	62
Tabla 25 Valores de Portoviejo para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio	64
Tabla 26 Valores de aceleración espectral calculados para la ciudad de Pedernales.....	65
Tabla 27 Valores ordenados de edificaciones de Pedernales.....	65
Tabla 28 Resultados de cada edificio de la muestra de Chone (Te, Sa, Grado de daño).....	68
Tabla 29 Valores para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio de la muestra de Portoviejo	70
Tabla 30 Valores de aceleración espectral calculados.	71
Tabla 31 Valores ordenados de edificaciones de Portoviejo.....	71
Tabla 32 Valores para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio de la muestra de Manta	73
Tabla 33 Valores de aceleración espectral calculados.	73
Tabla 34 Valores ordenados de edificaciones de Manta.....	74
Tabla 35 Valores para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio de la muestra de Guayaquil	75
Tabla 36 Valores de aceleración espectral calculados.	76

Tabla 37 Valores ordenados de edificaciones de Guayaquil.....	77
Tabla 38 Datos de Pedernales ordenados de menor a mayor en relación a Sa.	79
Tabla 39 Frecuencias observadas de la muestra	80
Tabla 40 Frecuencias esperadas de la muestra.	81
Tabla 41 Datos de Portoviejo ordenados de menor a mayor en relación a Sa.	81
Tabla 42 Frecuencias observadas de la muestra	83
Tabla 43 Frecuencias esperadas de la muestra.	83
Tabla 44 Cálculo de Chi-Cuadrado.....	83
Tabla 45 Datos de Manta ordenados de menor a mayor en relación a Sa.	84
Tabla 46 Frecuencias observadas de la muestra	85
Tabla 47 Frecuencias esperadas de la muestra.	86
Tabla 48 Cálculo de Chi-Cuadrado.....	86
Tabla 49 Datos de Guayaquil ordenados de menor a mayor en relación a Sa.	86
Tabla 50 Frecuencias observadas de la muestra	88
Tabla 51 Frecuencias esperadas de la muestra.	88
Tabla 52 Cálculo de Chi-Cuadrado.....	88

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Edificaciones afectadas en el área urbana. Fuente: MIDUVI.....	3
Ilustración 2 Edificaciones afectadas en el área rural. Fuente: Gobierno de Manabí .	3
Ilustración 3 Edificio Venus Loor.....	11
Ilustración 4 Edificio Líder Vera	11
Ilustración 5 Edificio Julio Williams	12
Ilustración 6 Edificio Williams Center	12
Ilustración 7 Edificio GAD Pedernales	13
Ilustración 8 Edificio Yam Yam	13
Ilustración 9 Edificio Juana Wacho	14
Ilustración 10 Hotel Last Mar	14
Ilustración 11 Edificio Miranda Banchón	15
Ilustración 12 Actuales instalaciones del colegio Amazonas. Fuente: Julio Vergara, 2020	16
Ilustración 13 Instalaciones de la Universidad San Gregorio. Fuente: Julio Vergara, 2020	18
Ilustración 14 Actuales instalaciones de la Universidad San Gregorio. Fuente: Julio Vergara, 2020.....	19
Ilustración 15 Unidad Educativa Santa Mariana de Jesús después del sismo del 16A. Fuente: Sitio Web de periódico El Diario, 2016.....	19
Ilustración 16 Daños localizados de la U. E. Cristo Rey. Fuente: GEER - ATC, 2016.....	20
Ilustración 17 Daños en UVC de Portoviejo después del sismo del 16 de abril de 2016. Fuente: GEER - ATC, 2016.....	21

Ilustración 18 Cuartel de Cuerpo de Bomberos después del sismo del 16 de abril de 2016. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016	22
Ilustración 19 Daños presentados en edificio, formación de rótulas plásticas. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016	22
Ilustración 20 Unidad Educativa Linus Palling después del terremoto del 16A. Fuente: GEER - ATC, 2016	23
Ilustración 21 Parte colapsada de la U. E. Linus Palling. Fuente: GEER - ATC, 2016.....	23
Ilustración 22 Demolición del centro educativo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2017.....	24
Ilustración 23 Evaluación de daños a edificios. Fuente: Página Web del Noticiero NTI, 2016.....	24
Ilustración 24 Reconocimiento de daños en Capitanía del Puerto de Manta. Fuente: Diario Expreso, 2016	25
Ilustración 25 Daños en UVC de Manta. Fuente: Diario El Universo, 2016 .	26
Ilustración 26 UVC de Manta, a) Vista general, b) Mampostería con daño extensivo en fachada principal de ingreso, c) Mampostería con daño extensivo en fachada posterior, d) Columnas de acero rellenas de hormigón, e) Falta de elementos confinantes. Fuente: Aguiar, 2016.....	26
Ilustración 27 Daños en el edificio Unidad de Flagrancia por el sismo del 16 ^a	27
Ilustración 28 Daños en instalaciones de Solca debido al sismo del 16 de abril de 2016.....	28
Ilustración 29 Vista exterior del edificio de Solca	28
Ilustración 30 Daños en el interior del Hospital Naval a causa del sismo. Fuente: Diario El Universo, 2016	29

Ilustración 31 Instalaciones deshabilitadas luego del sismo. Fuente: Diario El Universo, 2016.....	30
Ilustración 32 Instalaciones del edificio Vihcar.....	31
Ilustración 33 Antes y después del edificio Vihcar debido al sismo. Fuente: Diario Expreso, 2020	31
Ilustración 34 Tumbado colapsado cerca de Supercines debido al sismo ...	32
Ilustración 35 Vista frontal del colapso del tumbado	32
Ilustración 36 Edificio del Banco del Pichincha en Urdesa.....	33
Ilustración 37 Daños ocasionados por el sismo en el banco.....	33
Ilustración 38 Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño. Fuente: NEC – 15	34
Ilustración 39 Mapa Geológico de Pedernales. Fuente.....	36
Ilustración 40 Mapa Geológico de Chone. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz.....	36
Ilustración 41 Mapa Geológico de Bahía de Caráquez. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz.....	37
Ilustración 42 Mapa Geológico de Manta. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz	37
Ilustración 43 Mapa Geológico de Portoviejo. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz....	38
Ilustración 44 Zonificación de Guayaquil. Fuente: GEOESTUDIOS	38
Ilustración 45 Descripción del suelo del Mapa de Zonificación de Guayaquil. Fuente: GEOESTUDIOS.....	39
Ilustración 46 Caracterización del suelo debido al periodo de vibración. Fuente.....	39
Ilustración 47 Espectro sísmico elástico de aceleraciones. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015	43

Ilustración 48 Parámetros para el diseño del espectro de aceleración. Fuente: NEC-SE-DS Peligro	43
Ilustración 49 Ecuaciones y parámetros para el cálculo de Sa dependiendo del rango T. Fuente: NECSE-DS Peligro Sísmico 2015	44
Ilustración 50 Ecuaciones y parámetros para el cálculo de Sa y período de vibración menores a T0. Fuente: NECSE-DS Peligro Sísmico 2015	45
Ilustración 51 Acelerógrafos ubicados en el mapa del Ecuador. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador.....	46
Ilustración 52 Estación APED - Pedernales. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador	47
Ilustración 53 Estación ACHN - Chone. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador	47
Ilustración 54 Estación AMNT - Manta. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador	47
Ilustración 55 Estación Portoviejo. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador	48
Ilustración 56 Estaciones en Guayaquil. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador	48
Ilustración 57 Estaciones AGYE, AGYE1, AGYE2 - Guayaquil. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador.....	49
Ilustración 58 Ecuación y parámetros para el cálculo del período vibración T. Fuente: NEC-SE-DS	49
Ilustración 59 Mapa de clasificación de terrenos en Pedernales con fines de diseño sísmico. Fuente: AMENAZA_SISMICA_MICROZONIFICACION_SISMICA_Y_ESPECTROS_DE_DISEÑO_DE_LA_CIUADAD_DE_PEDERNALES_MANABI_ECUADOR de (Martínez, León, Hernández et. al., 2017).....	52

Ilustración 60 Zonas para verificación de tipo de suelo en Pedernales. Fuente: AMENAZA_SISMICA_MICROZONIFICACION_SISMICA_Y_ESPECTROS_DE_DISEÑO_DE_LA_CIUADAD_DE_PEDERNALES_MANABI_ECUADOR de (Martínez, León, Hernández et. al., 2017).....	53
Ilustración 61 Ubicación de edificios en Mapa de Chone y Mapa de Corte de Onda	54
Ilustración 62 Ubicación de edificios en Mapa de Portoviejo y Mapa de Corte de Onda	56
Ilustración 63 Ubicación de edificios en Mapa de Guayaquil y Mapa de Zonificación Sísmica	59
Ilustración 64 Descripción del suelo del Mapa de Zonificación de Guayaquil. Fuente: GEOESTUDIOS.....	59
Ilustración 65 Espectro de Respuesta Acelerograma APED N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador.....	63
Ilustración 66 Espectro de respuesta Pedernales (Sa, Te, Grado de Daño).66	
Ilustración 67 Espectro de Respuesta Acelerograma ACHN N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador.....	66
Ilustración 68 Registro acelerógrafo para ACHN. Fuente: Instituto Geofísico EPN	67
Ilustración 69 Espectro de Respuesta Chone, suelo tipo E.....	68
Ilustración 70 Espectro de respuesta Chone suelo E, Sa y Te de los edificios.	69
Ilustración 71 Espectro de Respuesta Acelerograma APO1 N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN - Ecuador	69
Ilustración 72 Espectro de respuesta Portoviejo (Sa, Te, Grado de Daño). 72	
Ilustración 73 Espectro de Respuesta Acelerograma AMNT N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador.....	72

Ilustración 74 Espectro de respuesta Manta (Sa, Te, Grado de Daño).....	74
Ilustración 75 Espectro de Respuesta Acelerograma AGYE1 N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador.....	75
Ilustración 76 Espectro de respuesta Guayaquil (Sa, Te, Grado de Daño). 77	
Ilustración 77 Espectro de Respuesta Pedernales para cálculo de relación estadística.....	80
Ilustración 78 Espectro de Respuesta Portoviejo para cálculo de relación estadística.....	83
Ilustración 79 Espectro de Respuesta Manta para cálculo de relación estadística.....	85
Ilustración 80 Espectro de Respuesta Guayaquil para cálculo de relación estadística.....	88

RESUMEN

El estudio se realizó con una muestra total de 50 edificios, los cuales fueron afectados durante el terremoto de magnitud 7.8 Mw, del 16 de abril del 2016, ocurrido en la ciudad de Pedernales (Costa Ecuatoriana). Dichas edificaciones, pertenecientes a cinco ciudades de esta región: Pedernales, Chone, Portoviejo, Manta y Guayaquil. Para el análisis estadístico, fue necesario reconocer las características de la muestra, como período de vibración, tipo de suelo y grado de daño generado, información recabada de trabajos de titulación pasados, cálculos siguiendo el reglamento NEC – 15 y con los mapas de zonificación de suelos de cada ciudad; de esta manera, poder calcular la aceleración espectral por medio del Espectro de Respuesta de cada una de las ciudades durante el sismo. Este último dato sirvió para realizar la comprobación de la hipótesis “La clasificación del grado de daño en moderado o grave es independiente de S_a ” mediante el método del Chi-Cuadrado de independencia de datos. De esta manera, se llegó a los resultados esperados y se efectuaron las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Palabras Claves: (sismo, edificios, grado de daño, período de vibración, aceleración espectral, hipótesis)

ABSTRACT

The investigation was carried out with a total sample of 50 buildings, which were affected during the 7.8 MW earthquake on April 16, 2016 occurred in Pedernales City (Ecuadorian coast). These buildings belong to five cities in the region: Pedernales, Chone, Portoviejo, Manta and Guayaquil. For statistical analysis purposes, it was necessary to recognize the characteristics of the sample, such as period of vibration, type of soil and degree of damage generated, information collected from past degree thesis, calculations following the NEC - 15 regulation and with the soils zoning maps of each city and, in this way, being able to calculate the spectral acceleration through the Response Spectrum of each city during the earthquake. This last piece of information was used to prove the hypothesis "The classification of the degree of damage as moderate or severe is independent of S_a " using the Chi-Square method of data independence. In such manner, the expected results were reached and the respective conclusions and recommendations were made as well.

Keywords: (earthquake, buildings, degree of damage, vibration period, spectral acceleration, hypothesis)

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El Ecuador se encuentra ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, especialmente la Región Costa del país. El 16 de abril de 2016, un sismo de magnitud 7.8 Mw cuyo epicentro fue en la ciudad de Pedernales, Manabí; sacudió la Costa Ecuatoriana a las 7:58 de la noche, dejando daños significativos, principalmente en la provincia del suceso. Debido a que Ecuador es una zona sísmicamente activa, Bravo (2017) afirmó lo siguiente:

Este no es el primer sismo de gran magnitud que se vive en las costas ecuatorianas. El Ecuador por encontrarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico, es una zona geológicamente muy dinámica. La costa ecuatoriana se encuentra en el margen de la zona de subducción de la placa oceánica de Nazca con las placas continentales de América del Sur y el Caribe, ambas separadas por el mega escudo Guayaquil- Caracas, lo que le hace muy vulnerable a terremotos y tsunamis de origen tectónico.

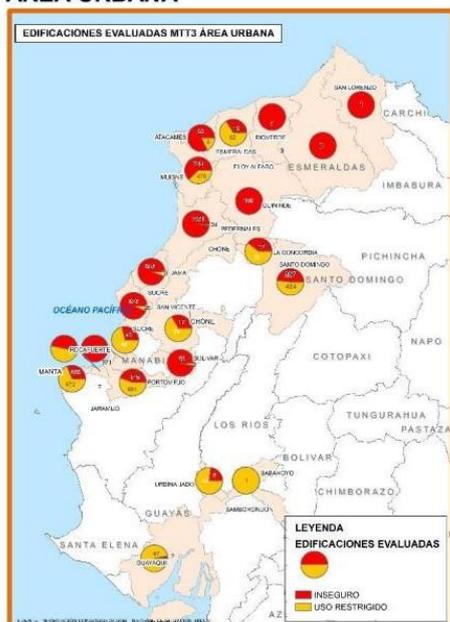
Este terremoto marcó un antes y un después para la población ecuatoriana, debido a que el movimiento telúrico trajo consigo el daño y colapso de un gran número de estructuras y con esto se llevó numerosas vidas humanas. En un reportaje realizado por el sitio web mexicano Tribuna Noticias (2016), se presenta que:

El director de la OCHA, Stephen O'Brien, manifestó su tristeza por la pérdida de vidas, y su preocupación por las personas que aún estuvieran atrapadas en los escombros tras el terremoto de 7.8 grados, el más fuerte en azotar a Ecuador en décadas.

Explicó que, aunque las autoridades aún evalúan el impacto y la destrucción causada por el sismo, ya se conoce que en las provincias de Manabí y Esmeralda fueron destruidas o dañadas viviendas, hospitales, caminos, negocios y líneas de electricidad.

A continuación, se exponen mapas sobre la situación de las infraestructuras tanto en el área rural como en el área urbana de las zonas afectadas por el terremoto, de esta manera reconociendo si son inseguras o de uso restringido a la población:

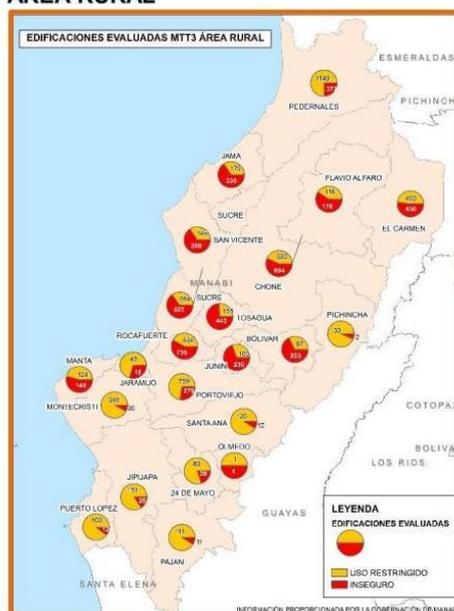
ÁREA URBANA



**10.506 EDIFICACIONES AFECTADAS
ÁREA URBANA**
Fuente: MIDUVI

Ilustración 1 Edificaciones afectadas en el área urbana. Fuente: MIDUVI

ÁREA RURAL



**8.157 EDIFICACIONES AFECTADAS
ÁREA RURAL**
Fuente: Gobernación de Manabí

Ilustración 2 Edificaciones afectadas en el área rural. Fuente: Gobierno de Manabí

1.2. Justificación

La zona costera del Ecuador es de alta peligrosidad sísmica, por este motivo a lo largo de la historia se han presentado ciertos sismos representativos, los cuales han causado desde daños de menor gravedad hasta inminentes en las edificaciones construidas,

debiéndose en gran parte al movimiento producido, pero también, al tipo de suelo sobre el que han sido construidas estas estructuras. Un gran ejemplo de lo anteriormente mencionado, es el terremoto del 16 de abril de 2016, cuyo epicentro fue la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí.

La presente investigación tiene como fin reconocer la relación estadística de la coincidencia del período de vibración de suelos y edificios con el grado de daños durante el sismo mencionado, identificar si el grado de daño es proporcional a la aceleración espectral que se ha producido.

1.3. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Reconocer la Relación estadística de la coincidencia del período de vibración de suelos y edificios con el grado de daños de edificios durante el sismo del 16 de abril de 2016 en las ciudades de Pedernales, Chone, Manta, Portoviejo y Guayaquil

1.1.2. Objetivos Específicos

- Recabar la información disponible sobre zonificación de suelos de las ciudades de estudio, determinando los períodos de vibración característicos del suelo para cada zona de dichas ciudades.
- Recabar los espectros de respuesta de los registros de aceleración obtenidos por las redes nacionales en las estaciones existentes en dichas ciudades, durante el evento sísmico del 2016.
- Determinar el período de vibración de los edificios que experimentaron algún grado de daño en esas ciudades durante el terremoto del 16 de abril de 2016 (ninguno, leve, moderado, grave, colapso).
- Relacionar estadísticamente el grado de daño de los edificios durante el terremoto del 2016 con la coincidencia del período de vibración del edificio con el período de vibración del suelo

1.4. Alcance

Esta investigación se basa en el estudio del comportamiento de una muestra de edificios de cinco ciudades de Manabí y una del Guayas (Pedernales, Chone, Manta, Portoviejo y Guayaquil) durante el sismo del 16 de abril de 2016 en Ecuador y de esta manera poder cumplir con los objetivos propuestos; para lo cual se va a recabar información sobre el tipo de suelo sobre el que fueron construidas estas estructuras, asimismo, la búsqueda de información sobre los espectros de respuesta de los registros de aceleración de dichas ciudades, además se deben reconocer ciertas características de los edificios como tipo de estructura, periodo de vibración y grado de daño durante el sismo, para de esta manera realizar la relación estadística requerida entre el grado de daño y los periodo de vibración con su respectiva aceleración espectral.

1.5. Metodología

Se obtendrá información sobre daños en edificios de Pedernales, Chone, Manta, Portoviejo y Guayaquil, durante el sismo del 16 de abril de 2016, que se pudo apreciar en diarios, publicaciones técnicas, tesis de grado y trabajos de titulación.

Se recabarán los mapas de zonificación de suelos de las 6 ciudades del estudio, donde se muestra el tipo de suelo de acuerdo a diversos criterios y los períodos de vibración característicos de los suelos.

Se determinará el período de vibración de los edificios de la muestra mediante el Método 1 propuesto por la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC – 15). En muchos casos ya fueron determinados en otros trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería de la UCSG.

Se correlacionará estadísticamente el período de vibración del suelo, el período de vibración del edificio, la aceleración espectral y el grado de daño observado, para conocer la influencia de la coincidencia de los períodos de vibración de suelos y

edificios con el grado de daño experimentado por las estructuras (ninguno, leve, moderado, grave, colapso).

CAPÍTULO II

2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Este capítulo presenta las fuentes que serán utilizadas para el desarrollo del estudio de caso y así poder realizar una investigación concreta exponiendo una muestra de los edificios de las ciudades de estudio y el daño que experimentaron a causa del terremoto del 16 de abril de 2016; de esta manera, cumplir con los objetivos propuestos.

2.1. Fuentes de Información

2.1.1. Periódicos y Páginas Web

Se recolectó información de páginas web de periódicos tales como El Universo, El Diario, El Telégrafo, entre otros que remiten información principalmente de Manabí y Guayaquil, de esta forma, indagar sobre las consecuencias que provocó el terremoto en cuestión

2.1.2. Papers

Se hizo uso del artículo “Tipos de perfil de suelo para diseño sísmico en Manta, Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez ciudades afectadas por el sismo del 16 de abril del 2016” del Ing. Hugo Bonifaz, de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; el cual, sirvió para poder clasificar los tipos de suelos en las ciudades de estudio con ayuda de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

Por otro lado, para poder clasificar los suelos en la ciudad de Guayaquil, se utilizó un proyecto que pertenece a la Secretaría de Gestión de Riesgos, a cargo del Dr. Xavier Vera, realizado por GEOESTUDIOS S.A. La sistematización de estos suelos, está en

función de la zonificación geotécnica de Guayaquil y de la variación espacial del periodo elástico (T_e) de sitio del subsuelo de Guayaquil.

2.1.3. Tesis UCSG

Se obtuvo información de tesis de Ingeniería Civil pasadas de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, que hayan tenido relación con el sismo del 16 de abril del 2016 y de esta manera, facilitar resultados tales como período de vibración de los edificios, espectros de respuesta de las ciudades de estudio, entre otros.

2.2. Edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril de 2016

A continuación, se presenta la muestra de edificios afectados en las diferentes ciudades que se estudiarán en la investigación.

2.2.1. Pedernales

- Edificio Venus Loor
- Edificio Líder Vera
- Edificio Julio Williams
- Edificio Williams Center
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Pedernales
- Edificio YamYam
- Hotel Last Mar
- UPC Pedernales
- Edificio Miranda Banchón

2.2.2. Chone

- Unidad Educativa Amazona
- Hospital Napoleón Dávila Córdova

- Unidad Educativa Aurelio Salazar
- Unidad Educativa Eugenio Espejo
- Unidad Educativa Juan Montalvo
- Unidad Educativa 24 de julio
- Unidad Educativa Abdón Calderón

2.2.3. Portoviejo

- ECU 911
- CNT
- Universidad San Gregorio
- Unidad Educativa Santa María de Jesús
- Unidad Educativa Cristo Rey
- UVC
- Cuartel del Cuerpo de Bomberos
- Clínica Santa Margarita
- Farmacia San Gregorio
- Clínica San Antonio
- Florería Esmeralda
- Farmacia Comercio

2.2.4. Manta

- Torre de Control Aérea – Aeropuerto Eloy Alfaro
- Edificio CNEL
- Yatch Club
- Unidad Educativa Linus Pauling
- Unidad Educativa Salesiana San José
- ULEAM
- Capitanía del Puerto de Manta
- UVC
- Mall del Pacífico
- Hotel Sail Plaza

- Colegio Nacional 5 de junio

2.2.5. Guayaquil

- Unidad de Flagrancia del Cuartel Modelo
- SOLCA
- Hospital Naval
- Edificio Vihcar
- Centro Comercial San Marino
- Edificio de Banco de Pichincha en Urdesa
- La Catedral
- Iglesia La Victoria
- Casa Ayacucho y García Moreno
- Hotel Oro Verde

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DE EDIFICIOS AFECTADOS

Fueron muchos los daños que ocasionó el sismo del 16 de abril de 2016, entre ellos estructuras que colapsaron o tuvieron un cierto grado de daño; por ello, en el capítulo anterior se enumeró la muestra de edificios que sufrieron daños, y, serán estudiadas en este proyecto.

A continuación, se va a describir las características de estos edificios y el grado de daño que tuvieron, sin embargo, de muchos de ellos, no se tiene información al respecto, de hecho, la muestra es pequeña debido a que no se tienen estudios previos que sirvan de referencia.

3.1. Edificios afectados en Pedernales

3.1.1. Edificio Venus Loor

Según lo expuesto por Elbert Chávez Gema Alejandra (2018) en su trabajo de titulación ESTUDIO DE LAS CAUSAS DE DEMOLICIÓN DE EDIFICIOS AFECTADOS POR EL SISMO DEL 16 DE ABRIL DE 2016 EN PEDERNALES, “La estructura posee daño general severo (colapso) en las paredes de Primer 77 Piso Alto (1PA) y segundo Piso Alto (2PA), en donde colapsaron totalmente paredes interiores y exteriores” (Elbert, 2018).



Ilustración 3 Edificio Venus Loor

3.1.2. Edificio Líder Vera

“La estructura posee daño general severo (colapso) en las paredes de Primer Piso Alto (1PA) y segundo Piso Alto (2PA)” (Elbert, 2018).



Ilustración 4 Edificio Líder Vera

3.1.3. Edificio Julio Williams

“La estructura tuvo colapso y daños en Planta baja, primer piso, segundo piso” (Elbert, 2018).



Ilustración 5 Edificio Julio Williams

3.1.4. Edificio Williams Center

“La estructura tuvo colapso y daños en la Planta alta (4 PA)” (Elbert, 2018).



Ilustración 6 Edificio Williams Center

3.1.5. Gobierno Autónomo Descentralizado de Pedernales

Según lo explica David Leonardo Sabagay Mena (2021), en su trabajo de titulación, INFLUENCIA DE LA IRREGULARIDAD EN PLANTA EN DAÑOS EN EDIFICIOS DURANTE SISMOS EN ECUADOR...

...el GAD de Pedernales, presenta irregularidades en planta a simple vista. Al parecer la estructura no tuvo daños estructurales, no obstante, en mampostería y paredes si existieron fracturas, sin embargo, Elbert Chávez Gema Alejandra

(2018) recalca un dato importante y es que: “... los daños en los elementos estructurales fueron en las columnas y vigas” (Elbert, 2018). Sabagay (2021).



Ilustración 7 Edificio GAD Pedernales

3.1.6. Edificio YamYam

“La estructura tuvo colapso y daños en Planta Baja, Primer Piso y segundo piso” (Elbert, 2018).

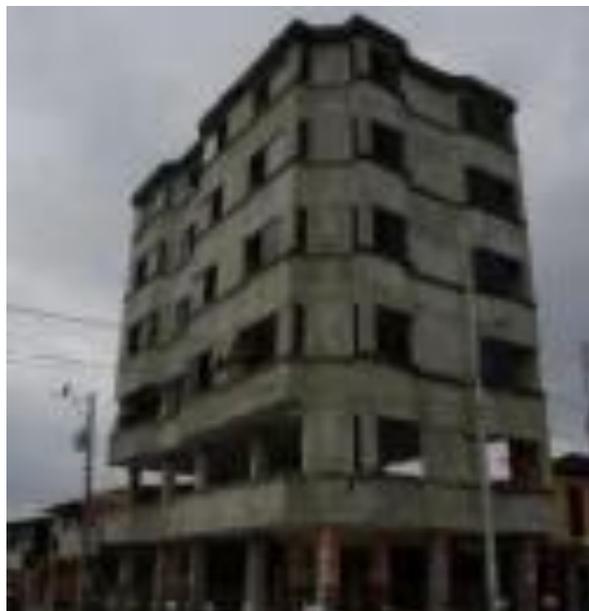


Ilustración 8 Edificio Yam Yam

3.1.7. Edificio Juana Wacho

“La estructura tuvo colapso y daños en Planta baja, primer piso, segundo piso” (Elbert, 2018).



Ilustración 9 Edificio Juana Wacho

3.1.8. Hotel Last Mar

“La estructura tuvo colapso y daños en Planta Baja, Primer Piso segundo piso” (Elbert, 2018).



Ilustración 10 Hotel Last Mar

3.1.9. UPC Pedernales

“La estructura tuvo daños interiores en la planta baja, primer piso y segundo piso” (Elbert, 2018).

No hay registros fotográficos.

3.1.10. Edificio Miranda Banchón

Según lo explica David Leonardo Sabagay Mena (2021), en su tesis de pregrado, INFLUENCIA DE LA IRREGULARIDAD EN PLANTA EN DAÑOS EN EDIFICIOS DURANTE SISMOS EN ECUADOR...

Esta edificación sufrió daños fuertes en el extremo inferior de la columna por el desprendimiento del recubrimiento, así como también daños en la mampostería traduciéndolo en daños fuertes. Otro caso más que se presentó en esta edificación es cuando se realizó la extracción de un núcleo y este no cumplía con los parámetros de rotura en resistencia a compresión máxima de las columnas Sabagay (2021).



Ilustración 11 Edificio Miranda Banchón

3.2. Edificios afectados en Chone

3.2.1. Unidad Educativa Amazonas

El colegio se encuentra en la Av. Amazonas de la ciudad de Chone. No existen registros en páginas web o periódicos sobre lo que sucedió con la institución después del sismo del 16 de abril de 2016, por este motivo se recurrió a tesis anteriores donde, Vergara, 2020 indica que:

Debido a que no se encontró información referente al Colegio Nacional Mixto Amazonas de la ciudad de Chone, se procedió a visitar esta institución para poder analizar el estado actual de la edificación y además entrevistar al personal que trabaja o moradores que habiten cerca de esta institución. Durante la visita a esta institución se pudo conversar con el personal que trabaja en este colegio, de manera que se entrevistó al trabajador sobre lo sucedido con esta estructura después el sismo del 16 de abril 2016. Después de realizarle las preguntas respondió que el colegio sufrió daños en las paredes que conformaban los cursos, sin embargo, luego de 3 meses se hicieron las debidas reparaciones.



Ilustración 12 Actuales instalaciones del colegio Amazonas. Fuente: Julio Vergara, 2020

3.2.2. Hospital Napoleón Dávila Córdova

El hospital se encuentra ubicado en la Av. Amazonas y sufrió daños severos durante el sismo, por lo que se tuvo que trasladar a las personas a diferentes dispensarios que estuvieran en buenas condiciones.

No se tienen registros fotográficos de la situación del edificio.

3.2.3. Unidad Educativa Aurelio Salazar

El colegio se encuentra en la Av. Amazonas de la ciudad de Chone. No tuvo daños severos, más que en mampostería y no estructural, por ellos su grado de daño fue moderado.

No se tienen registros fotográficos de la situación del edificio.

3.2.4. Unidad Educativa Eugenio Espejo

El colegio se encuentra en la Av. Marcos Aray Dueñas de la ciudad de Chone. No tuvo daños severos, más que en mampostería y no estructural, por ellos su grado de daño fue moderado.

No se tienen registros fotográficos de la situación del edificio.

3.2.5. Unidad Educativa Juan Montalvo

El colegio se encuentra entre la Av. Eugenio Espejo y Av. Eloy Alfaro de la ciudad de Chone. No tuvo daños severos, más que en mampostería y no estructural, por ellos su grado de daño fue moderado.

No se tienen registros fotográficos de la situación del edificio.

3.2.6. Unidad Educativa 24 de julio

El colegio se encuentra entre las calles Raymundo y Pichincha, Aveiga, de la ciudad de Chone. No tuvo daños severos, más que en mampostería y no estructural, por ellos su grado de daño fue moderado.

No se tienen registros fotográficos de la situación del edificio.

3.2.7.

Unidad Educativa Abdón Calderón

El colegio se encuentra en ubicado en la Av. 24 de Mayo de la ciudad de Chone. No tuvo daños severos, más que en mampostería y n estructural, por ellos su grado de daño fue moderado.

No se tienen registros fotográficos de la situación del edificio.

3.3. Edificios afectados en Portoviejo

3.3.1. *Universidad San Gregorio*

Esta Universidad se encuentra ubicada en la Av. Metropolitana de Portoviejo. A diferencia de otras estructuras, sufrió daños leves luego del sismo del 16 de abril de 2016.



Ilustración 13 Instalaciones de la Universidad San Gregorio. Fuente: Julio Vergara, 2020



Ilustración 14 Actuales instalaciones de la Universidad San Gregorio. Fuente: Julio Vergara, 2020

3.3.2. Unidad Educativa Santa María de Jesús

Este centro educativo se encuentra ubicado en las Calles Córdova entre Eugenio Espejo y Juan Montalvo, de la ciudad de Portoviejo. “Según el informe de ingenieros, un tramo del colegio quedó un poco afectado en dos columnas, pero otro tramo, donde está la mayoría de aulas, está estructuralmente bien, sólo son daños en mampostería” (El Diario, 2016)



Ilustración 15 Unidad Educativa Santa Mariana de Jesús después del sismo del 16A. Fuente: Sitio Web de periódico El Diario, 2016

3.3.3. Unidad Educativa Cristo Rey

Este centro educativo se encuentra ubicado en la Calle Cristo Rey entre Sucre y Baquerizo Moreno, de la ciudad de Portoviejo. A diferencia de instituciones que sufrieron daños significativos, este colegio, fue uno de los pocos que solo experimentó daños leves tales como grietas en mampostería y desprendimiento de luminarias.



Ilustración 16 Daños localizados de la U. E. Cristo Rey. Fuente: GEER - ATC, 2016

3.3.4. UVC

Este edificio se encuentra ubicado en la Av. José María Urbina de la ciudad de Portoviejo. La estructura es de hormigón armado y su uso es policial. Durante el sismo del 16 de abril de 2016 sufrió daños no estructurales como desmoronamiento de las paredes exteriores entre otros Oromar Televisión en el informativo NTI, reportó que, “la Unidad de Vigilancia de Policía de Portoviejo, presentó daños no solo en su fachada sino en su interior; el ascensor no funcionaba, hubo daños en los baños, presentó paredes cuarteadas, cielo raso desprendido y mampostería averiada” (Cevallos, 2016).



Ilustración 17 Daños en UVC de Portoviejo después del sismo del 16 de abril de 2016. Fuente: GEER - ATC, 2016

3.3.5. Cuartel del Cuerpo de Bomberos

Este edificio se encuentra ubicado en las Calles Córdova y Ricaurte de la ciudad de Portoviejo. Es una edificación esencial, es decir es de uso de emergencia; por del sismo del 16 de abril de 2016, sufrió daños importantes en su sistema estructural y no estructural. Según diario El Universo, 2016:

El edificio del organismo debe demolerse por los daños que causó el terremoto. Por el desastre, el edificio del Cuerpo de Bomberos de Portoviejo, ubicado en pleno centro de la ciudad, quedó endeble y por ello se recomendó deshabilitarlo y proceder a demolerlo. La edificación no prestó servicio después del sismo, los bomberos atendieron la emergencia en carpas ubicadas junto al edificio



Ilustración 18 Cuartel de Cuerpo de Bomberos después del sismo del 16 de abril de 2016. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016



Ilustración 19 Daños presentados en edificio, formación de rótulas plásticas. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2016

3.4. Edificios afectados en Manta

3.4.1. Unidad Educativa Linus Palling

Este centro educativo se encuentra localizado en la avenida Tarqui, Manta. En GEER – ATC, 2016 se expresa que:

Contaba, el primer edificio más antiguo que estaba construido por hormigón armado de 5 pisos el cual colapsó por completo en toda su estructura, mientras que el segundo edificio más reciente, pero con la misma altura, no obtuvo daños estructurales visibles exceptuando la zona de junta que tenía con el primer edificio. (GEER-ATC, 2016)



Ilustración 20 Unidad Educativa Linus Palling después del terremoto del 16A. Fuente: GEER - ATC, 2016



Ilustración 21 Parte colapsada de la U. E. Linus Palling. Fuente: GEER - ATC, 2016

3.4.2. Unidad Educativa Salesiana San José

Este centro educativo, fue fundado en el año 1942, siendo en un inicio un colegio salesiano solo para varones. El evento sísmico del 2016 dejó gravemente afectada a la

institución con daños estructurales: existiendo grandes grietas en sus 18 elementos estructurales y colapso de elementos secundarios. Por tener daños muy graves, las autoridades optaron por demoler el plantel para así construir uno nuevo.



Ilustración 22 Demolición del centro educativo. Fuente: Ing. Alex Villacrés, 2017

3.4.3. ULEAM

Se encuentra ubicada en la Vía San Mateo de la ciudad de Manta. Como muchas estructuras, con el sismo del 2016, sufrió daños estructurales graves en algunos departamentos tales como: biblioteca general, departamento de vinculación y de posgrado; motivo por el cual los edificios en donde se encontraban fueron demolidos.



Ilustración 23 Evaluación de daños a edificios. Fuente: Página Web del Noticiero NTI, 2016

3.4.4. Capitanía del Puerto de Manta

Este edificio está ubicado en el Malecón de la ciudad de Manta, es una edificación de hormigón armado de 4 pisos, siendo de uso Naval. Durante el sismo del 16 de abril de 2016, el personal tuvo que ser evacuado de las instalaciones, debido a que ciertas paredes colapsaron y otras sufrieron daños significativos.



Ilustración 24 Reconocimiento de daños en Capitanía del Puerto de Manta. Fuente: Diario Expreso, 2016

3.4.5. UVC

Este edificio se encuentra ubicado en la Calle 304 entre AV. 113 y Av. 4 de Noviembre de la ciudad de Manta. Esta estructura es de acero A57 (grado 50) con vigas tipo I y columnas tipo H. Después del sismo del 16 de abril de 2016, los daños que se observaron fueron de manera más significativa en la planta baja de la estructura, debido a la ausencia de columnetas. Diario El Universo, 2016 reportó que:

Graves afectaciones y cuarteamientos, se observaron en las paredes del área de cocina del distrito de la Policía Nacional en Manta. Allí en la unidad de seguridad, no era lo único que se observó afectado, pues las paredes del exterior también quedaron deterioradas.



Ilustración 25 Daños en UVC de Manta. Fuente: Diario El Universo, 2016



Ilustración 26 UVC de Manta, a) Vista general, b) Mampostería con daño extensivo en fachada principal de ingreso, c) Mampostería con daño extensivo en fachada posterior, d) Columnas de acero rellenas de hormigón, e) Falta de elementos confinantes. Fuente: Aguiar, 2016

3.5. Edificios afectados en Guayaquil

3.5.1. Unidad de Fragrancia del Cuartel Modelo

Este edificio se encuentra ubicado en la Av. De Las Américas de la ciudad de Guayaquil, frente a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Por causa del sismo del 16 de abril de 2016, se presentaron grietas en las paredes, desprendimiento de hormigón, entre otros daños que llevaron a los encargados de la institución a decretar la cancelación del local.



Ilustración 27 Daños en el edificio Unidad de Fragrancia por el sismo del 16^a

3.5.2. Edificio de Solca

Este edificio se encuentra en la Av. Pedro Menéndez Gilbert. El sismo del 16 de abril de 2016, provocó que los pacientes internos, tuvieran que trasladarse a otro lugar. Los daños que sufrió el hospital no fueron estructurales, pero sí arquitectónicos y de mampostería. Luego, expertos realizaron estudios para conocer el estado de la estructura; y, se llegó a la conclusión que se debían ensanchar las columnas para darle mayor rigidez a la estructura además de instalar amortiguadores, es decir, dispositivo sismoresistentes.



Ilustración 28 Daños en instalaciones de Solca debido al sismo del 16 de abril de 2016

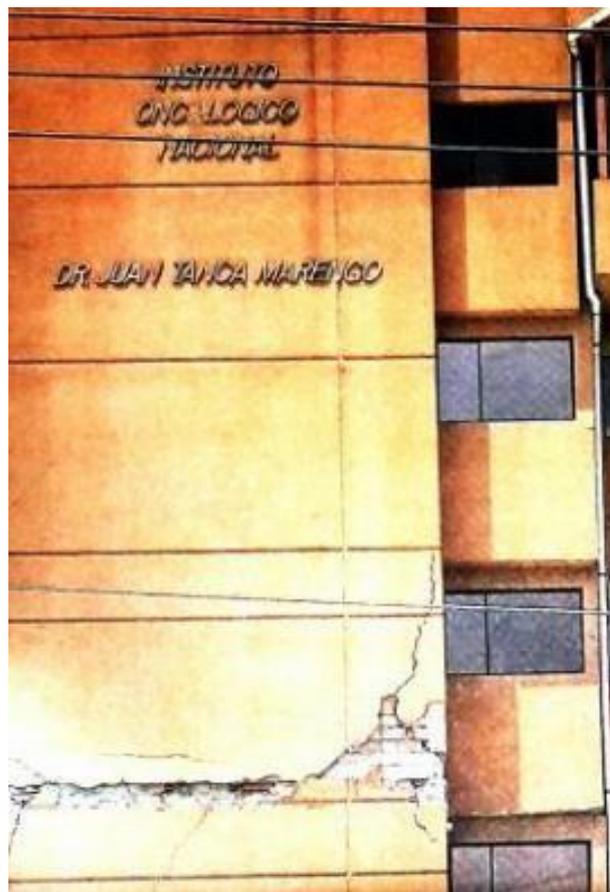


Ilustración 29 Vista exterior del edificio de Solca

3.5.3. Edificio del Hospital Naval

Este edificio se encuentra ubicado en las instalaciones de la Base Naval Sur, en la Av. 25 de julio de Guayaquil. Diario El Universo, 2016 reportó que “los principales daños de la edificación fue el colapso de una parte del tumbado además de grietas en mampostería y columnas agrietadas, tanto en la fachada como en el interior del hospital” (El Universo, 2016). Por esta razón muchos pacientes fueron trasladados a zonas seguras del hospital y otros fueron llevado a otros centros de salud.



Ilustración 30 Daños en el interior del Hospital Naval a causa del sismo. Fuente: Diario El Universo, 2016



Ilustración 31 Instalaciones deshabilitadas luego del sismo. Fuente: Diario El Universo, 2016

3.5.4. Edificio Vihcar

Este edificio se encuentra localizado entre las calles Luque y Tulcán, de la ciudad de Guayaquil. Las personas que se encontraban dentro del edificio tuvieron que trasladarse a la torre 10 del Complejo de la Florida Norte, debido a que, durante el sismo del 16 de abril de 2016, la estructura sufrió el colapso de paredes de vidrio y demás daños en la edificación. Se ha esperado a que se mejoren las condiciones del edificio hasta el día de hoy (Año 2021) sin embargo, no hay respuesta a ello.



Ilustración 32 Instalaciones del edificio Vihcar



Ilustración 33 Antes y después del edificio Vihcar debido al sismo. Fuente: Diario Expreso, 2020

3.5.5. Centro Comercial San Marino

Este centro se encuentra ubicado en la Av. Francisco de Orellana, norte de Guayaquil. Durante el sismo del 16 de abril de 2016, se produjo el desprendimiento del tumbado en varias secciones del lugar, siendo la mayor parte en el tercer piso, cerca de Supercines y asimismo otro tipo de daños no estructurales; por otro lado, asimismo,

en una de las torres se desprendió una parte de moldadura de decoración. Por este motivo, el shopping, cerró un corto tiempo sus puertas al público para de esta manera realizar mejoras en la edificación.

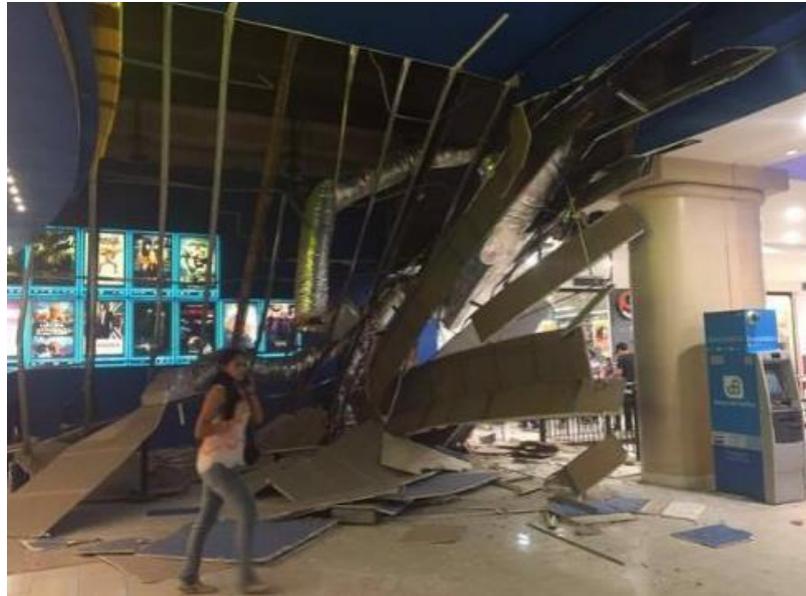


Ilustración 34 Tumbado colapsado cerca de Supercines debido al sismo



Ilustración 35 Vista frontal del colapso del tumbado

3.5.6. Edificio Banco del Pichincha, Urdesa

Este edificio, está ubicado en Urdesa, entre la calle Víctor Emilio Estrada y avenida del Rotario. Se canceló la atención al público luego del terremoto del 2016 para realizar

remodelaciones, ya que esta edificación tuvo daños no estructurales como el desprendimiento de paredes.



Ilustración 36 Edificio del Banco del Pichincha en Urdesa

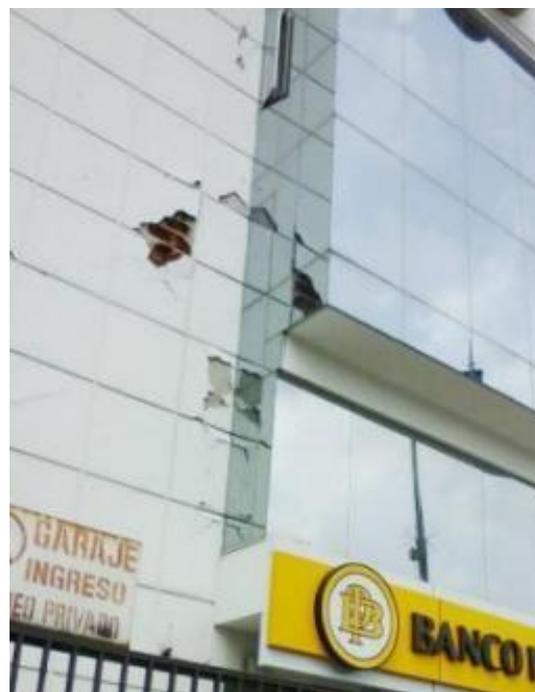


Ilustración 37 Daños ocasionados por el sismo en el banco

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA

4.1. Zona Sísmica y Factor de Zona z

“El factor Z representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.” (NEC, 2015). En Ecuador existen 6 zonas sísmicas diferenciadas por este factor z, teniendo al Litoral Ecuatoriano en zona VI, es decir de alta peligrosidad sísmica como se lo ha mencionado en anteriores oportunidades. A continuación, se lo puede apreciar en la imagen mostrada:

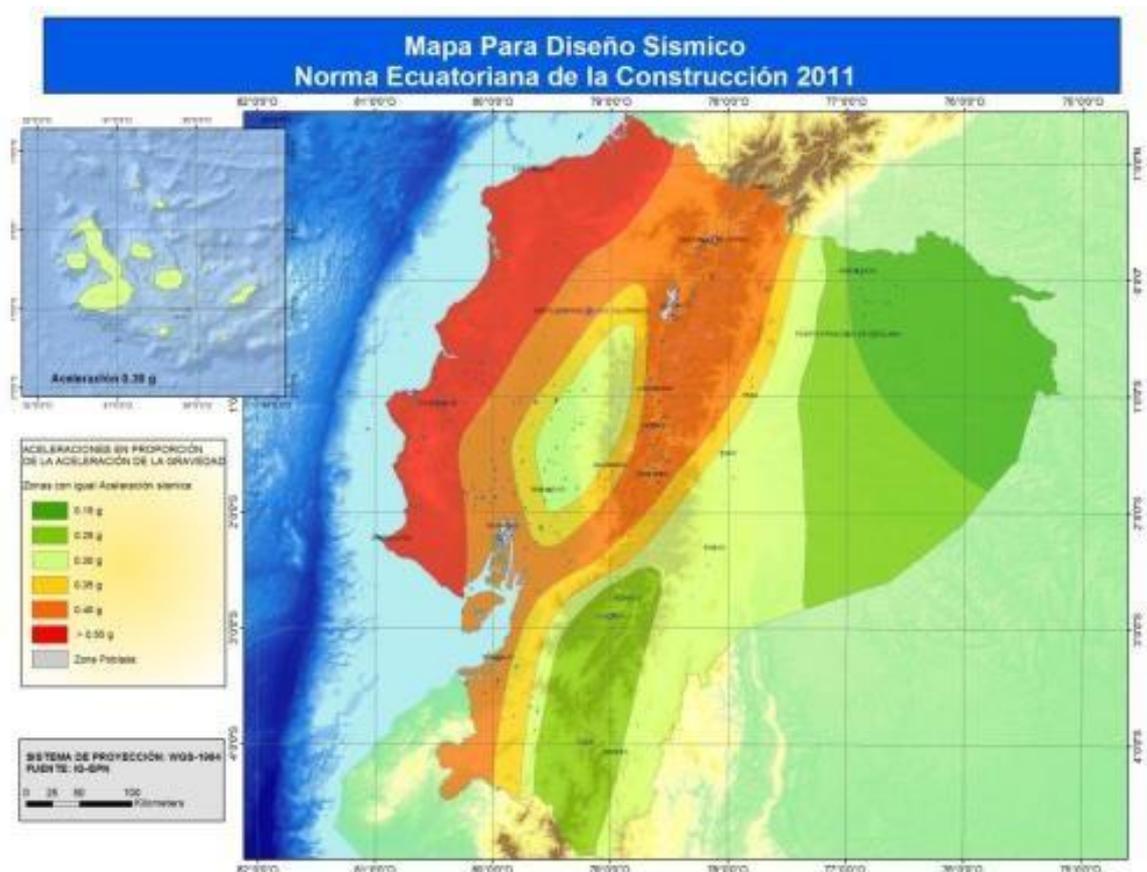


Ilustración 38 Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño. Fuente: NEC – 15

A continuación, se puede visualizar el valor que se le asigna a cada zona sísmica, y de esta manera se cataloga el peligro sísmico en cada una de ellas. “Todo el territorio ecuatoriano está descrito como de amenaza sísmica alta, con excepción del Nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia, tenido al Litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta.” (NEC, 2015)

Tabla 1 Valores de Factor z, en función de la zona sísmica. Fuente: NEC – 15

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

Para los cálculos previstos, este factor z servirá como indicio para identificar el factor z aproximado para cada ciudad en el suelo que se hará el estudio dependiendo de los registros acelerográficos de la Red Nacional de Estaciones de cada una de estas poblaciones.

4.2. Zonificación Sísmica de Suelos

Por medio de mapas geológicos de las diferentes ciudades afectadas que hacen referencia en esta investigación, se procede a establecer con respecto a la NEC – 15 el tipo de suelo (Tipo A, B, C, D y E) sobre el que las edificaciones fueron construidas para así poder determinar los períodos de vibración característicos del suelo para cada zona de dichas ciudades.

4.2.1. Mapas geológicos de las ciudades de estudio

- Pedernales

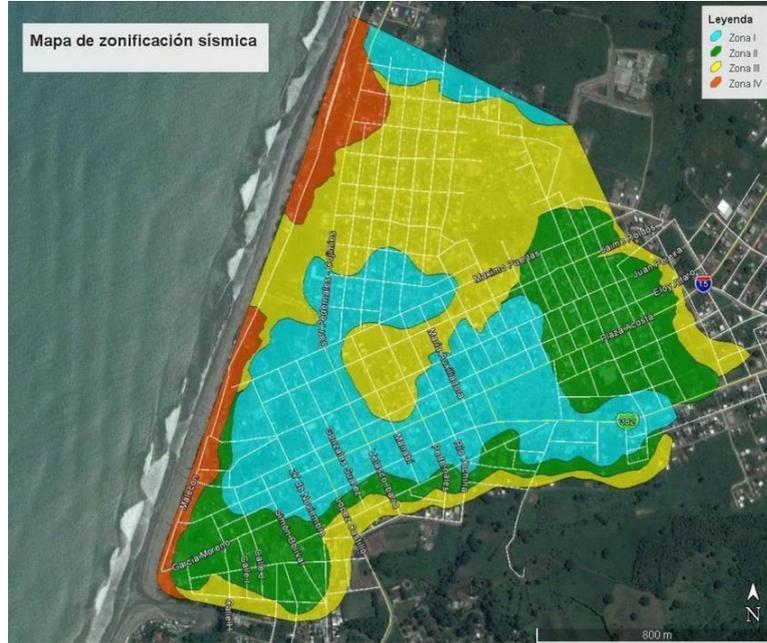


Ilustración 39 Mapa Geológico de Pedernales. Fuente:

- Chone

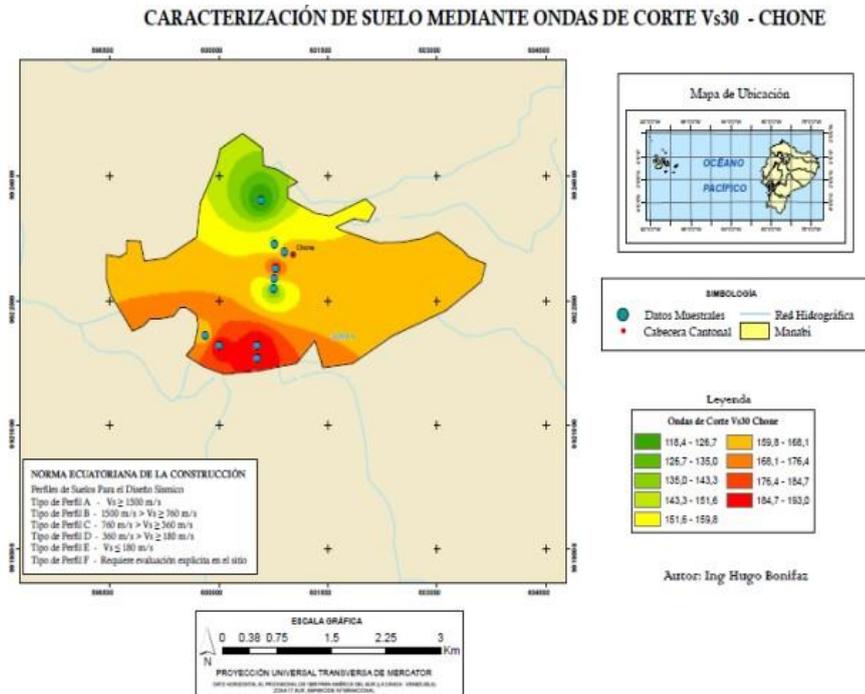


Ilustración 40 Mapa Geológico de Chone. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz

- Bahía de Caráquez

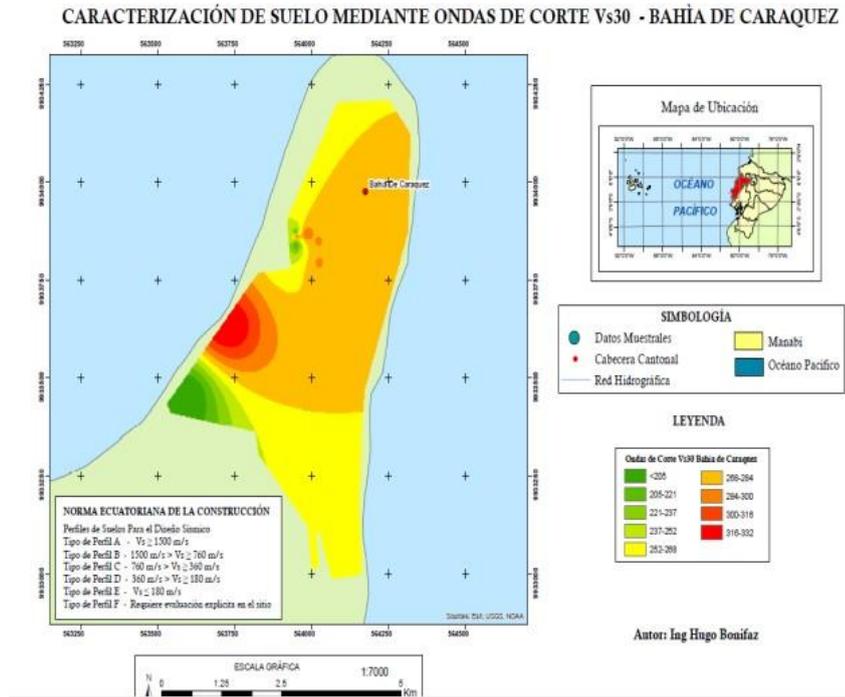


Ilustración 41 Mapa Geológico de Bahía de Caráquez. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz

- Manta

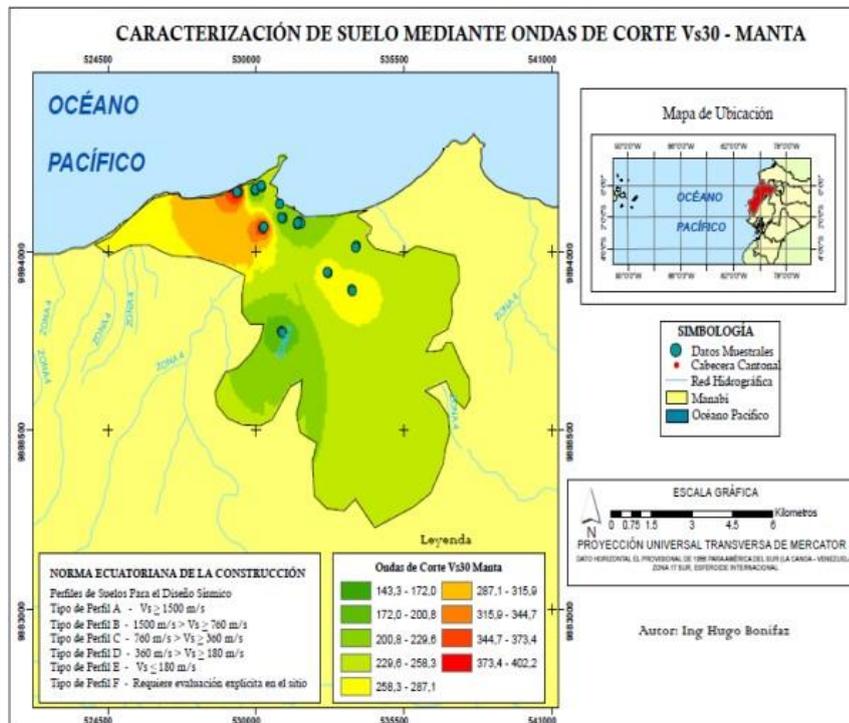


Ilustración 42 Mapa Geológico de Manta. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz

- Portoviejo

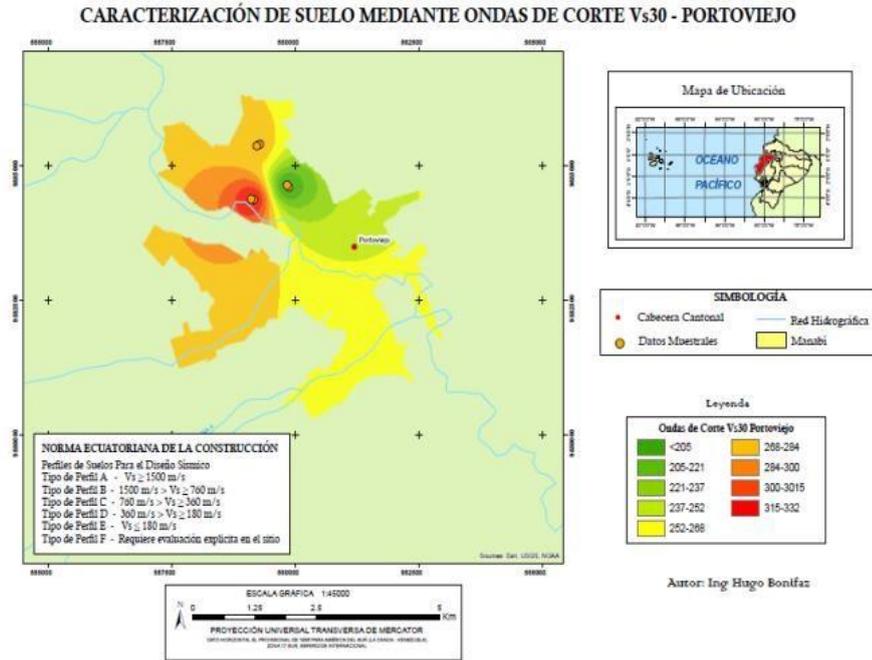


Ilustración 43 Mapa Geológico de Portoviejo. Fuente: Ing. Hugo Bonifaz

- Guayaquil

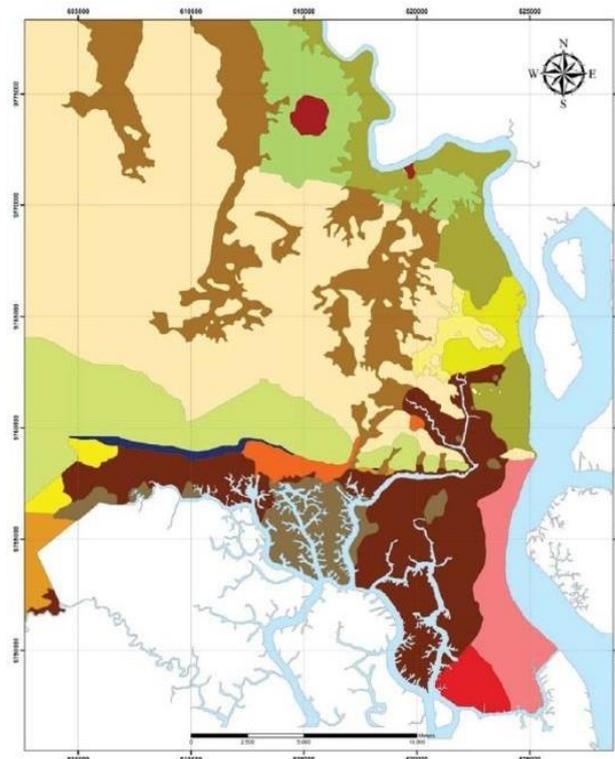


Ilustración 44 Zonificación de Guayaquil. Fuente: GEOESTUDIOS



Ilustración 45 Descripción del suelo del Mapa de Zonificación de Guayaquil. Fuente: GEOESTUDIOS

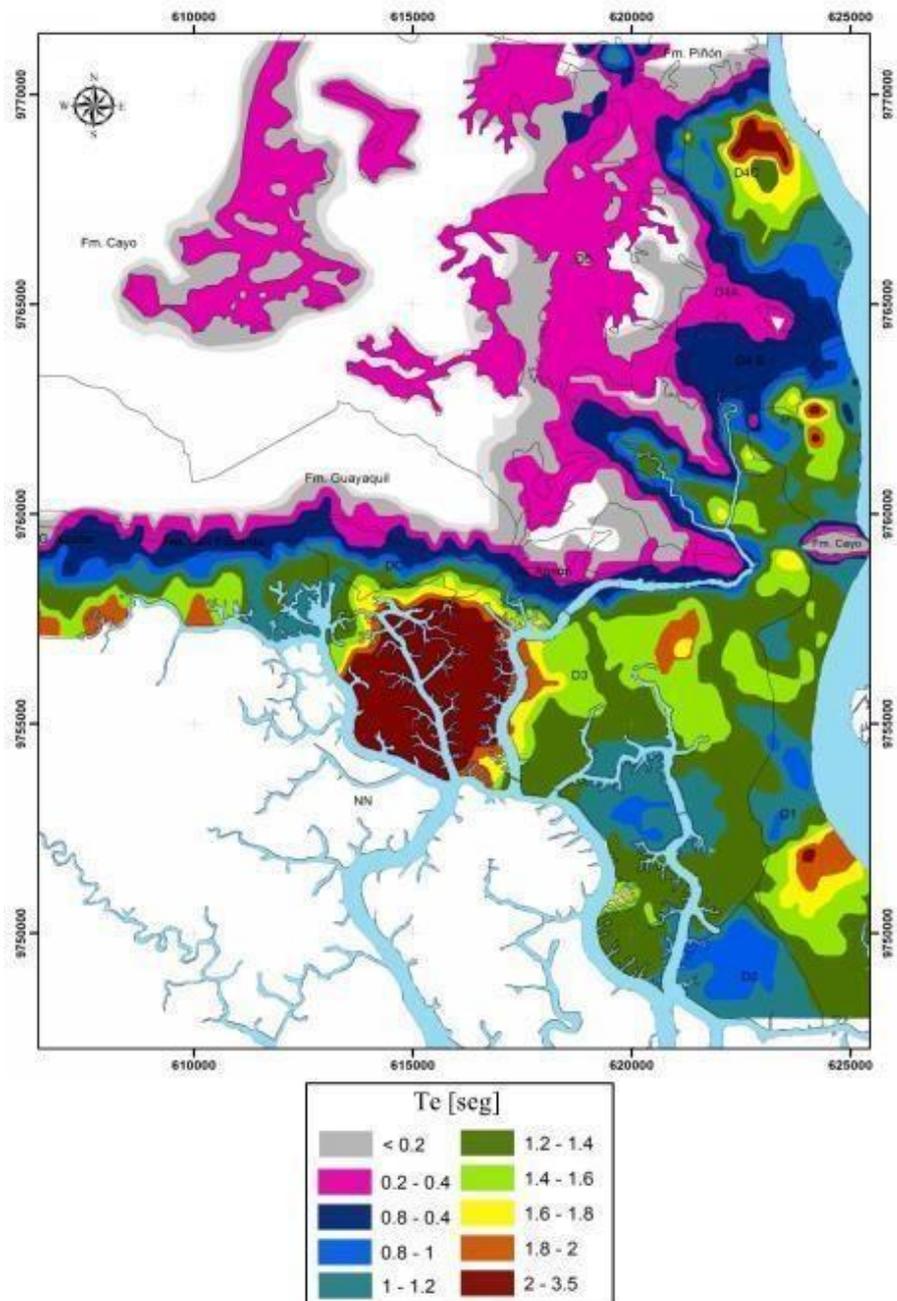


Ilustración 46 Caracterización del suelo debido al periodo de vibración. Fuente:

4.2.2. Determinación de perfil de suelo según NEC - 15

Se procede a determinar el tipo de perfil de suelo en referencia a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015), la cual, en el inciso 3.2.1. establece que:

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. Para el perfil tipo F se aplican otros criterios.

Tabla 2 Tipo de Perfil de suelo. Fuente: NEC - 15

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

4.2.3. Coeficientes de Perfil de Suelo

4.2.3.1. Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto

En la siguiente tabla “se presentan los valores del coeficiente Fa que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio” (NEC, 2015).

Tabla 3 Tipo de suelo y factor de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

4.2.3.2. Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro de respuesta de desplazamiento para diseño en roca

En la siguiente tabla “se representan los valores del coeficiente Fd que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio” (NEC, 2015).

Tabla 4 Tipo de suelo y factor de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

4.2.3.3. Fs: Comportamiento no lineal de los suelos

En la siguiente tabla se muestran los valores que, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015 representan:

Los valores del coeficiente F_s , que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tabla 5 Tipo de suelo y factor de sitio F_s

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

4.2.4. *Espectro Elástico de Diseño en aceleraciones S_a*

Por lo expresado en (NEC, 2015), para la elaboración del espectro elástico de aceleraciones S_a se debe determinar:

- el factor de zona sísmica Z ,
- el tipo de suelo del sitio de la estructura,
- los coeficientes de amplificación del suelo F_a , F_d , y F_s

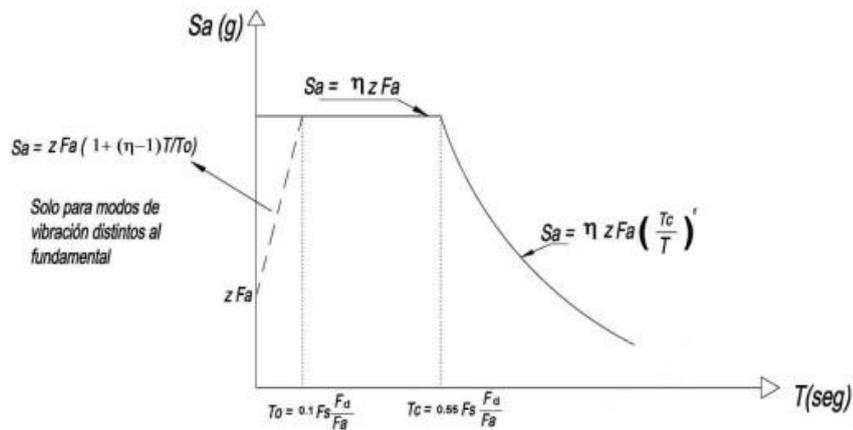


Ilustración 47 Espectro sísmico elástico de aceleraciones. Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Dónde:	
η	Razón entre la aceleración espectral $S_a (T = 0.1 \text{ s})$ y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T_0	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
T_c	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Ilustración 48 Parámetros para el diseño del espectro de aceleración. Fuente: NEC-SE-DS Peligro

“Dicho espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos” (NEC, 2015):

$S_a = \eta Z F_a$	para $0 \leq T \leq T_c$
$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$	para $T > T_c$
Dónde:	
η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
r	Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto
$r = 1$	para tipo de suelo A, B o C
$r = 1.5$	para tipo de suelo D o E.
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T_c	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Ilustración 49 Ecuaciones y parámetros para el cálculo de S_a dependiendo del rango T . Fuente: NECSE-DS Peligro Sísmico 2015

La relación entre la aceleración espectral y el PGA, depende de la zona en la que se esté haciendo el estudio, según lo indica la NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015 de la siguiente manera:

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

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

Los límites para el periodo de vibración T_c y T_L se obtienen de las siguientes expresiones, según lo indica la NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015:

$$T_c = 0,55 F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_L = 2,4 F_d$$

Dónde:

- **TC** = Es el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representan el sismo de diseño.
- **TL** = Es el período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos.

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

“Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de **S_a** debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de periodo de vibración menores a **T₀**” (NEC, 2015):

$S_a = Z F_a \left[1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right] \text{ para } T \leq T_0$	
$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$	
Dónde:	
η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
F_a	Coficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_d	Coficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_s	Coficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
S_a	Es el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura.
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T₀	Es el periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
S_s	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Ilustración 50 Ecuaciones y parámetros para el cálculo de S_a y período de vibración menores a T_0 . Fuente: NECSE-DS Peligro Sísmico 2015

4.2.5. Registro de la Red de Acelerógrafos

A continuación, se presentarán los espectros de respuesta de los registros de aceleración del suelo del Instituto Geofísico EPN Ecuador teniendo en cuenta la información tomada por el terremoto del 16A

Tabla 6 Registro de la Red de Acelerógrafos del Ecuador. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

RED	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)	R _{epi} (km)*	PGA E (m/s ²)	PGA N (m/s ²)	PGA Z (m/s ²)
RENAC	AAM2	-1,269	-78,611	2664	235	0,2548	0,3465	0,1465
	ACH1	-3,287	-79,910	13	407	0,2501	0,2365	0,0805
	ACHN	-0,698	-80,084	18	120	3,2349	3,6266	1,7287
	ACUE	-2,910	-78,959	2578	381	0,3419	0,2896	0,1748
	AES2	0,991	-79,646	4	76	1,5120	1,0831	0,4314
	AGYE	-2,054	-79,952	30	270	0,1832	0,2304	0,1462
	AIB1	0,347	-78,125	2208	202	0,4839	0,5682	0,1223
	AIB2	0,349	-78,106	2298	204	0,2080	0,3246	0,0839
	ALAT	-0,926	-78,618	2777	206	0,3104	0,2738	0,1191
	ALIB	-2,243	-80,846	40	308	0,4113	0,3895	0,2066
	ALJ1	-3,987	-79,197	2147	492	0,1490	0,1595	0,0882
	ALOR	1,293	-78,847	22	159	0,2564	0,2623	0,1512
	AMIL	-2,181	-79,529	20	288	0,5103	0,4504	0,1836
	AMNT	-0,941	-80,735	38	171	3,9720	5,1421	1,6213
	AOTA	0,240	-78,256	2529	188	0,4203	0,3441	0,1822
	APED	0,068	-80,057	15	36	13,8034	8,3187	7,2734
	APO1	-1,038	-80,460	47	167	3,1150	3,7303	1,0184
	ASDO	-0,263	-79,124	615	115	2,0223	1,0884	0,4988
ATUL	0,772	-77,723	3097	251	0,1598	0,2065	0,0664	
EPNL	-0,212	-78,492	2813	174	0,2632	0,1987	0,1307	
PRAM	-0,145	-78,495	2840	171	0,2458	0,2290	0,1318	
ADN**	LGCB	0,382	-79,575	160	41	0,8338	0,8888	0,4279
	PDNS	0,111	-79,991	442	29	10,4085	9,5497	5,6183
OCP**	AMA1	0,935	-79,725	234	67	4,1746	1,9870	1,3195
	APR1	-0,046	-78,614	2981	155	0,0050	0,0036	0,0021
	APR2	0,077	-78,968	804	113	0,9911	1,0767	0,5544
	APS4	-0,371	-78,106	2887	220	0,0691	0,0633	0,0236
	AV11	-0,073	-78,371	2058	181	0,2930	0,3839	0,1961
	AV18	0,313	-79,478	107	52	1,4142	1,2913	0,6758
AV21	0,661	-79,547	62	54	1,8957	1,4723	0,8941	

* R_{epi}= Distancia Epicentral
 ** Proyectos de cooperación.

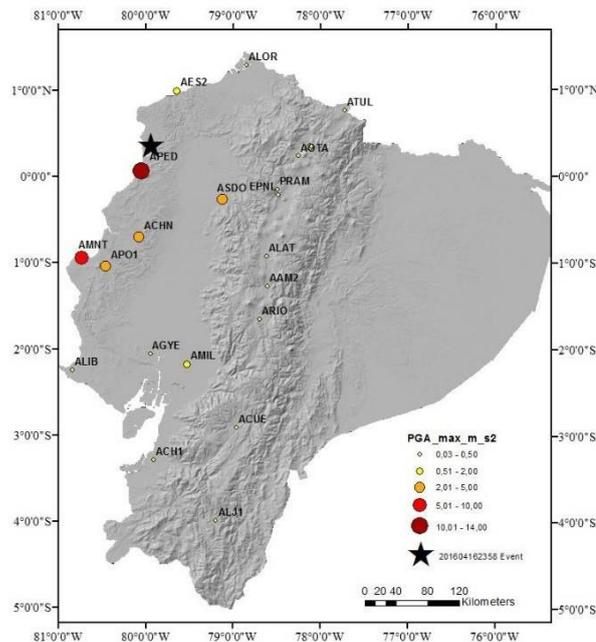


Ilustración 51 Acelerógrafos ubicados en el mapa del Ecuador. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

- Pedernales

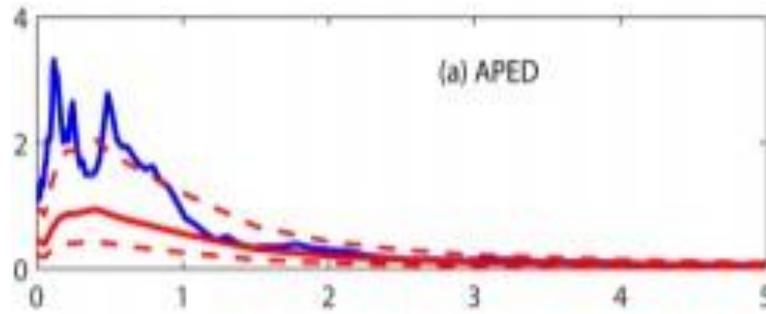


Ilustración 52 Estación APED - Pedernales. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

- Chone

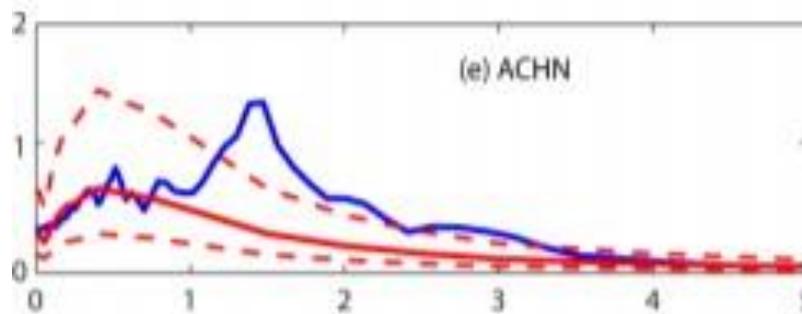


Ilustración 53 Estación ACHN - Chone. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

- Manta

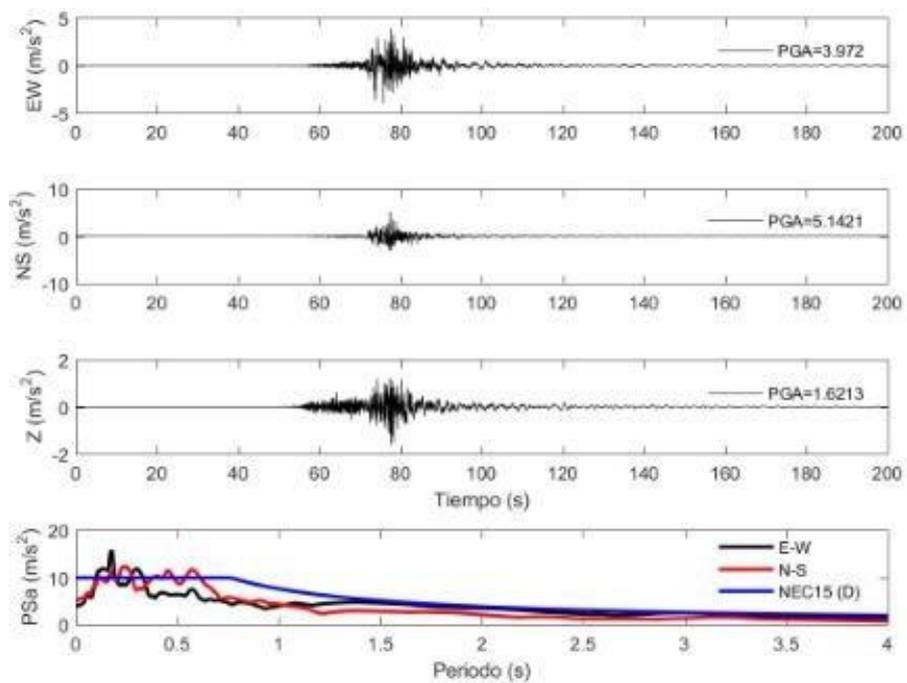


Ilustración 54 Estación AMNT - Manta. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

- Portoviejo

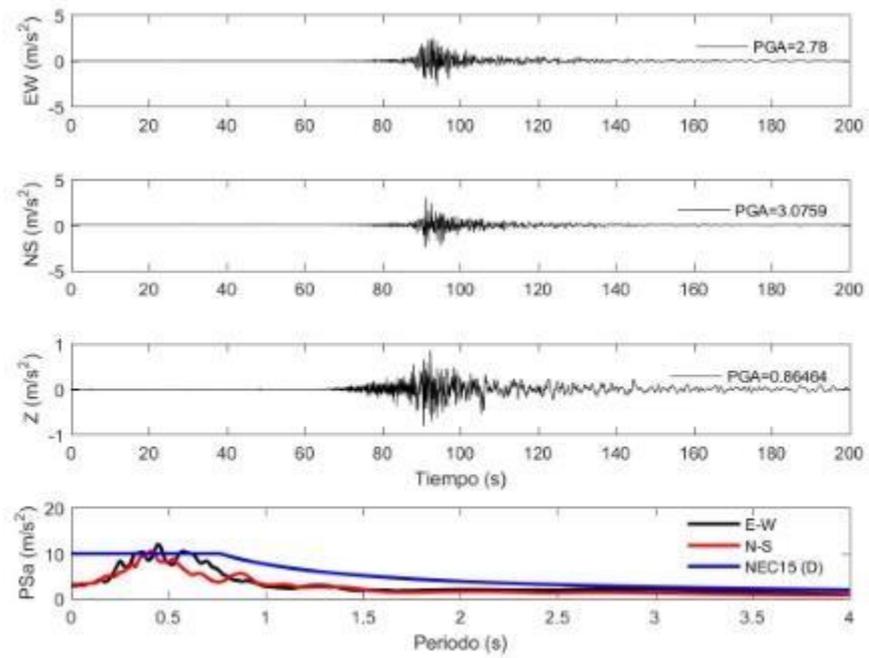


Ilustración 55 Estación Portoviejo. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

- Guayaquil

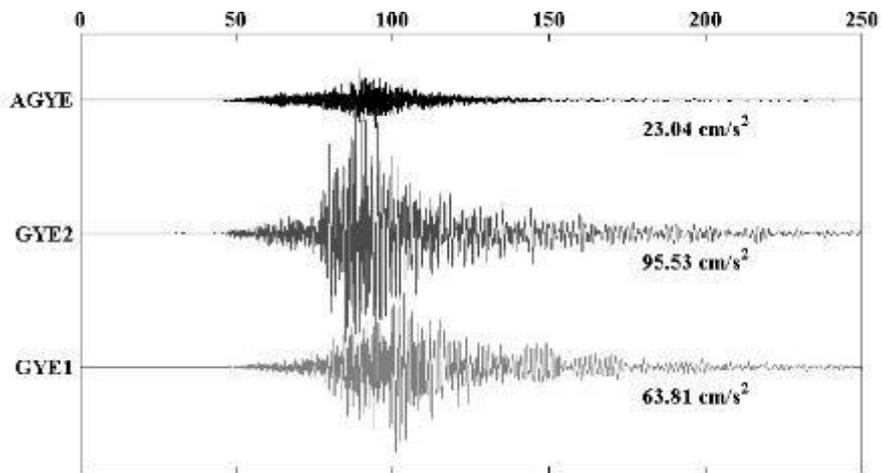


Ilustración 56 Estaciones en Guayaquil. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

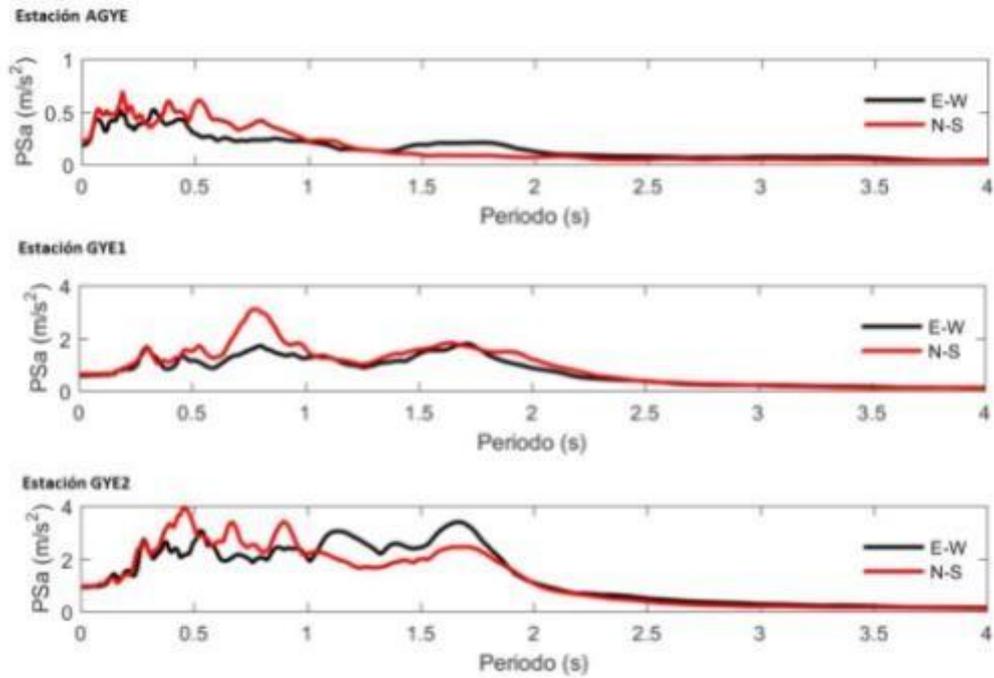


Ilustración 57 Estaciones AGYE, AGYE1, AGYE2 - Guayaquil. Fuente: Instituto Geofísico EPN Ecuador

4.3. Cálculo del período de vibración T de una estructura

Para este trabajo se usará uno de los dos métodos descritos en la NEC – 15 para el cálculo del período de vibración. De esta manera, según lo indica la NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015:

El valor de T_a obtenido al utilizar estos métodos es una estimación inicial razonable del periodo estructural que permite el cálculo de las fuerzas sísmicas a aplicar sobre la estructura y realizar su dimensionamiento. T_a permite determinar el valor S_a del espectro en aceleraciones.

Tomando en cuenta, lo expuesto el método que se usará, es el siguiente:

$T_a = Ct^{h_n^{0.75}}$	
Dónde:	
h_n	Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.
T_a	Periodo de vibración
Ct	Coficiente que depende del tipo de edificio

Ilustración 58 Ecuación y parámetros para el cálculo del período vibración T . Fuente: NEC-SE-DS

Tabla 7 Parámetros de C_t y α .

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.047	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.049	0.75

Alternativamente, para estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural (con $\alpha = 1$):

Fuente: NEC-SE-DS Peligro Sísmico 2015

4.4. Relación Estadística. Análisis Experimental de dos variables (Prueba de independencia)

En estadística es necesario, escoger una población para de esta manera realizar el debido estudio que le interese al individuo. Esta población, suele ser muy grande por lo que se selecciona una muestra de elementos representativos para poder llegar a una conclusión que abarque el resultado que se desea obtener.

Para este trabajo de titulación, se usará la prueba del CHI – CUADRADO DE AJUSTE E INDEPENDENCIA, la cual permitirá conocer si la hipótesis que se plantea es aceptada o no. La Universidad complutense de Madrid (2012), en su artículo: “La muestra aleatoria. Parámetros y estadísticos”, explica que:

Las pruebas chi-cuadrado son un grupo de contrastes de hipótesis que sirven para comprobar afirmaciones acerca de las funciones de probabilidad (o densidad) de una o dos variables aleatorias. Estas pruebas no pertenecen propiamente a la estadística paramétrica pues no establecen suposiciones restrictivas en cuanto al tipo de variables que admiten, ni en lo que refiere a su distribución de probabilidad ni en los valores y/o el conocimiento de sus parámetros. Universidad complutense de Madrid (2012).

Chi cuadrado de independencia

La Universidad complutense de Madrid (2012), en su artículo: “La muestra aleatoria. Parámetros y estadísticos”, indica que:

La prueba chi-cuadrado de contingencia sirve para comprobar la independencia entre dos variables propuestas, X e Y. Para lo cual, se tienen dos hipótesis a estudiar:

- Hipótesis nula: X e Y son independientes.
- Hipótesis alternativa: X e Y no son independientes (No importa cuál sea la relación que mantengan ni el grado de esta.

Luego se ello, se procede a realizar los cálculos respectivos para conocer si la hipótesis es aceptada o no, cuya medida estadística para comprobar la hipótesis de independencia es:

$$x^2 = \sum_{ij} \frac{(x_{ij} - E(x_{ij}))^2}{E(x_{ij})}$$

CAPÍTULO V

5. MEMORIA DE CÁLCULO

Hipótesis: El grado de daño de la estructura es independiente de la aceleración espectral (S_a), y, por tanto, no depende solo del período de vibración del suelo.

5.1. Caracterización del tipo de suelo en estructuras seleccionadas

5.1.1. Pedernales

A continuación, se muestra el mapa de Pedernales que prácticamente indica que mayor parte de su zona es de suelo tipo D, donde se encuentran los edificios de esta muestra.

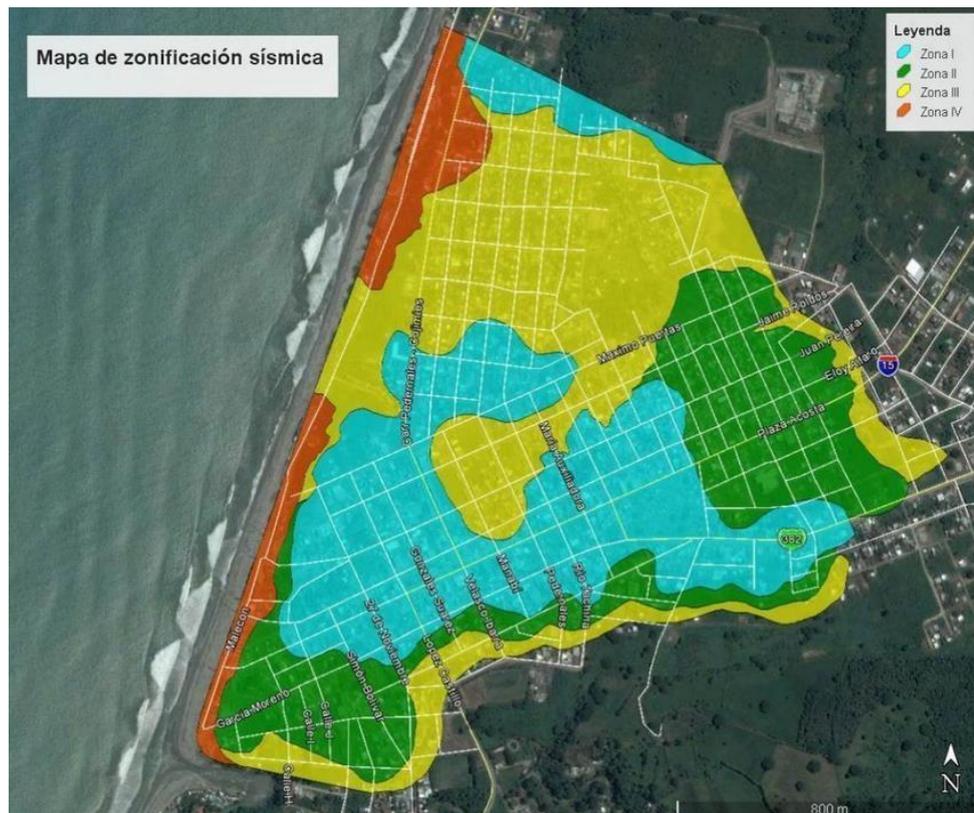


Ilustración 59 Mapa de clasificación de terrenos en Pedernales con fines de diseño sísmico. Fuente: AMENAZA_SISMICA_MICROZONIFICACION_SISMICA_Y_ESPECTROS_DE_DISEÑO_DE_LA_CIUADAD_DE_PEDERNAL_ES_MANABI_ECUADOR de (Martínez, León, Hernández et. al., 2017)

Este mapa, está dividido en cinco zonas dependiendo del período del suelo de cada una de ellas, como se muestra a continuación:

- Zona I (color azul). Esta zona se caracteriza por ser una zona libre de efecto de sitio. Es la zona más dura o competente de la ciudad.
- Zona II (color verde). Esta zona se caracteriza por tener periodos fundamentales entre 0.33 a 0.5 segundos. Constituida por estratos de arcilla y limo varios metros de espesor, que sobreyacen a los arcilla.
- Zona III (color amarillo). Esta zona se caracteriza por tener periodos fundamentales entre 0.5 a 1.0 segundos. Constituida por estratos de arena y gravas con poco contenido de limo.
- Zona IV (color naranja). Esta zona se caracteriza por tener periodos fundamentales entre 0.1 a 0.5 segundos. Constituida por depósitos de playa (estratos de arena-limo) que sobreyacen a los estratos de la Zona III

Ilustración 60 Zonas para verificación de tipo de suelo en Pedernales. Fuente: AMENAZA_SISMICA_MICROZONIFICACION_SISMICA_Y_ESPECTROS_DE_DISENO_DE_LA_CIUADAD_DE_PEDERNAL_ES_MANABI_ECUADOR de (Martínez, León, Hernández et. al., 2017)

Con estos datos, se procede a verificar en la tabla “Correspondencia entre clases de sitio T_0 y rangos de velocidades V_s (Zhao et al., 2006)” a qué tipo de suelo corresponden cada una de las zonas, lo que da como resultado en promedio, un suelo Tipo D

Tabla 8 tabla “Correspondencia entre clases de sitio T_0 y rangos de velocidades V_s .

Fuente: (Zhao et al., 2006)”

Cuadro 1

Correspondencia entre clases de sitio, T_0 y rangos de velocidades V_s (Zhao et al. 2006)

Clases de sitio	Periodo natural del sitio T_0 (s)	Promedio de las velocidades de onda cortante (m/s)	Equivalencia con la clasificación del NEHRP
S I (roca/suelo rígido)	$T_0 < 0,2$	$V_{s30} > 600$	A+B
S II (suelo firme)	$0,2 = T_0 < 0,4$	$300 < V_{s30} = 600$	C
S III (suelo medio)	$0,4 = T_0 < 0,6$	$200 < V_{s30} = 300$	D
S IV (suelo blando)	$T_0 = 0,6$	$V_{s30} = 200$	E

Por ello, se procede a clasificar cada edificio de la siguiente manera.

Tabla 9 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Pedernales

	NOMBRE DEL EDIFICIO	UBICACIÓN	PISOS	T_a EDIFICIO	ZONA	GRADO DE DAÑO
A	EDIFICIO VENUS LOOR	Pedernales	7	0,91	D	Grave
B	EDIFICIO LÍDER VERA	Pedernales	4	0,48	D	Grave
C	EDIFICIO JULIO WILLIANS	Pedernales	3	0,38	D	Grave
D	EDIFICIO WILLIANS CENTER	Pedernales	5	0,61	D	Grave
E	GAD DE PEDERNALES	Pedernales	4	0,65	D	Moderado
F	YAM YAM	Pedernales	6	0,73	D	Grave
G	JUANA WACHO	Pedernales	4	0,38	D	Grave
H	Last Mar	Pedernales	7	0,8	D	Grave
I	UPC	Pedernales	3	0,37	D	Moderado
J	Frente a UPC	Pedernales	3	0,37	D	Moderado
K	Miranda Banchón	Pedernales	3	0,37	D	Grave

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Chone

A continuación, se mostrará el mapa de Portoviejo con la ubicación de los edificios estudiados:

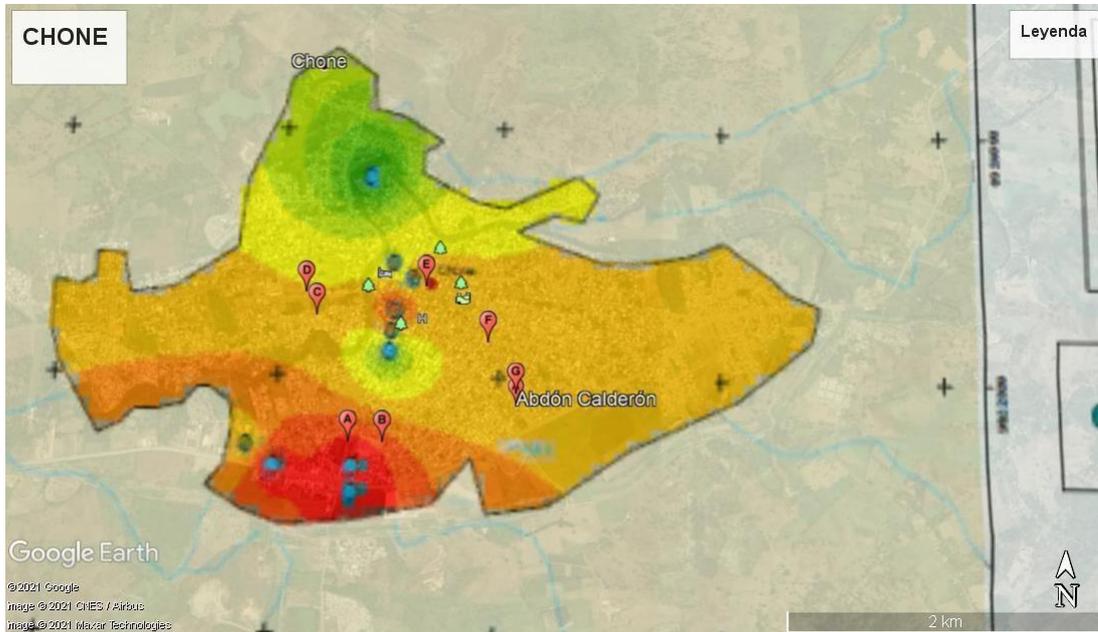


Ilustración 61 Ubicación de edificios en Mapa de Chone y Mapa de Corte de Onda.

Fuente: Google Earth

Según el mapa del Ing. Hugo Bonifaz, el cual está superpuesto al mapa de Chone, se puede verificar el Corte de Onda de cada localización, y de esta manera con la tabla de los tipos de perfiles de suelo mostrada en el capítulo anterior de la NEC – 15, se puede saber a qué clasificación pertenece el área donde están construidos los edificios de estudio.

Tabla 10 perfil de Suelo tipo D

D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_{v2} \geq 50 \text{ kPa}$

Fuente: NEC – 15

Tabla 11 perfil de Suelo tipo E

E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$

Fuente: NEC – 15

Tabla 12 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Chone

	NOMBRE DEL EDIFICIO	UBICACIÓN
A	U.E. Amazonas	Avenida Amazonas (161,97 km) 130703 Chone
B	Hospital Napoleón Dávila Córdova	Avenida Amazonas (161,97 km) 130703 Chone
C	U.E. Aurelio Salazar	Av. Marcos Aray Dueñas, Chone 130301
D	U.E. Eugenio Espejo	D Av. Eugenio Espejo - Av. Eloy Alfaro (esquina)
E	U.E. Juan Montalvo	Entre calles Rocafuerte y Bolívar
F	U.E. 24 de julio	Y RAYMUNDO, Calle Pichincha, AVEIGA
G	U.E. Abdón Calderón	Calle 24 de mayo

	H ref. (m)	Te EDIFICIO	Sa	CORTE DE ONDA	ZONA	GRADO DE DAÑO
A	7,5	0,29	0,62	184,7 - 193,0	D	moderado
B	18,0	0,63	0,71	176,4 - 184,7	E	Grave
C	6,0	0,24	0,71	159,8 - 168,1	E	moderado
D	8,0	0,31	0,71	151,5 - 159,8	E	moderado
E	8,5	0,32	0,71	159,8 - 168,1	E	moderado
F	7,5	0,29	0,71	159,8 - 168,1	E	moderado
G	9,0	0,34	0,71	159,8 - 168,1	E	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Portoviejo

A continuación, se mostrará el mapa de Portoviejo con la ubicación de los edificios estudiados:

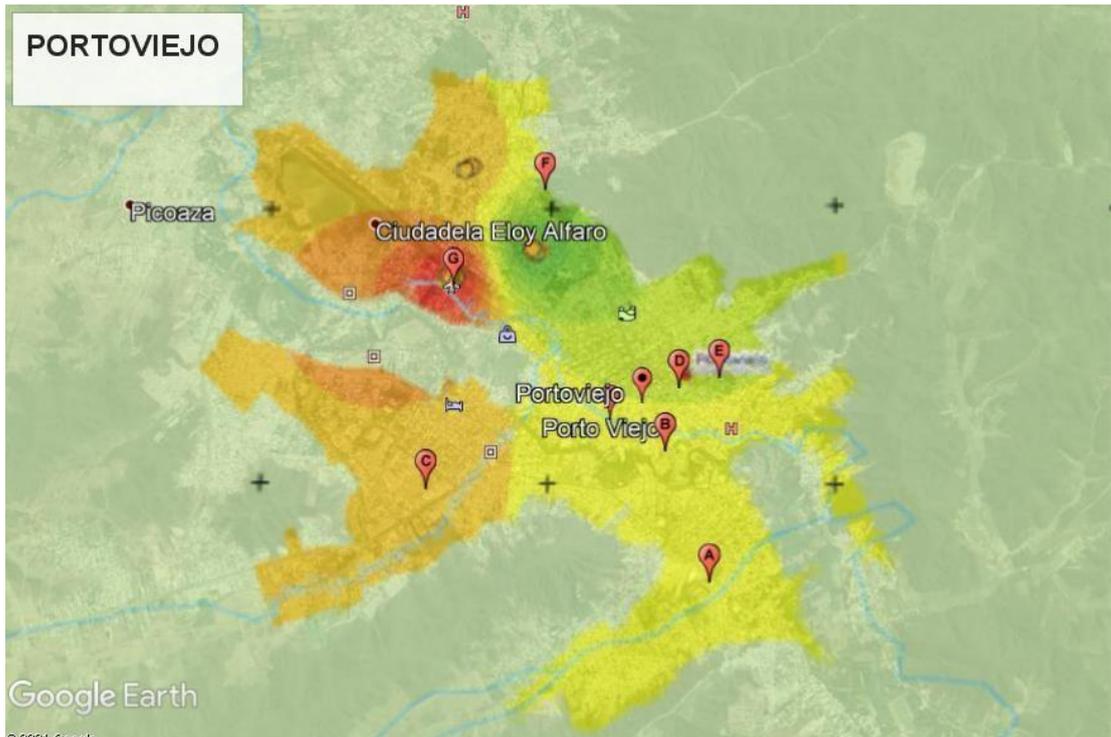


Ilustración 62 Ubicación de edificios en Mapa de Portoviejo y Mapa de Corte de Onda.

Fuente: Google Earth

Según el mapa del Ing. Hugo Bonifaz, el cual está superpuesto al mapa de Portoviejo, se puede verificar el Corte de Onda de cada localización, y de esta manera con la tabla de los tipos de perfiles de suelo mostrada en el capítulo anterior de la NEC – 15, se puede saber a qué clasificación pertenece el área donde están construidos los edificios de estudio.

Tabla 13 perfil de Suelo tipo D

D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_v \geq 50 \text{ kPa}$

Fuente: NEC – 15

Tabla 14 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Portoviejo.

	NOMBRE DEL EDIFICIO	UBICACIÓN	PISOS	Ta EDIFICIO	Corte de Onda	ZONA	GRADO DE DAÑO
A	ECU 911	Los Nardos y Av. 15 de abril	4	0,57	252 - 268	D	moderado
B	CNT	Francisco Pacheco y 10 de Agosto	3	0,43	252 - 268	D	grave
C	Universidad San Gregorio	Av. metropolitana, Av. Olimpica, Portoviejo 130101	4	0,58	268 - 294	D	moderado
D	U.E. Santa María	Córdova entre Espejo y Juan Montalvo	4	0,53	237 - 252	D	moderado
E	U.E. Cristo Rey	Calle Cristo Rey entre Sucre y Baquerizo Moreno	3	0,39	237 - 252	D	moderado
F	UVC	Av. José María Urbina	2	0,32	205 - 221	D	moderado
G	Cuartel del Cuerpo Bomberos	Calle Córdova y Ricaurte	3	0,48	315 - 332	D	grave
H	Clinica Santa Margarita	Portoviejo	4	0,80	237 - 252	D	moderado
I	Farmacia San Gregorio	Portoviejo	2	0,55	237 - 252	D	moderado
J	Clínica San Antonio	Portoviejo	5	0,68	205 - 221	D	moderado
K	Floreria Esmeralda	Portoviejo	2	0,72	315 - 332	D	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Manta

A continuación, se mostrará el mapa de la ciudad de Manta con la ubicación de los edificios estudiados:



Según el mapa del Ing. Hugo Bonifaz, el cual está superpuesto al mapa de Manta, se puede verificar el Corte de Onda de cada localización, y de esta manera con la tabla de los tipos de perfiles de suelo mostrada en el capítulo anterior de la NEC – 15, se puede saber a qué clasificación pertenece el área donde están construidos los edificios de estudio.

Tabla 15 perfil de Suelo tipo D

D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Fuente: NEC – 15

Tabla 16 perfil de Suelo tipo E

E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$

Fuente: NEC – 15

Tabla 17 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Manta

	NOMBRE DEL EDIFICIO	UBICACIÓN
A	Torre de Control Aérea (Aeropuert Eloy Alfaro)	Km. 2,5 Vía Jaramijó
B	Edificio CNEL	Av. 24 de Mayo y calle 6-A
C	YachtClub	
D	Unidad Educativa Linus Pauling	Calle 108, Manta 130203
E	Unidad Educativa Salesiana San José	Calle 108 avenida 108, Manta 130203
F	ULEAM	Circunvalación vía san mateo, Manta
G	Capitanía del Puerto de Manta	Av. Malecón
H	UVC	Calle 304 entre AV. 113 y Av. 4 de Noviembre

	PISOS	Te EDIFICIO	Corte de Onda	ZONA	GRADO DE DAÑO
A	5	0,59	258,3-278,1	D	grave
B	10	1,24	143,3-172	E	moderado
C	2	0,36	172-200,8	D	moderado
D	3	0,62	172-200,8	D	moderado
E	3	0,754	143,3-172	E	moderado
F	5	0,54	315,9-344,7	D	moderado
G	4	0,61	172-200,8	D	grave
H	4	0,66	258,3-278,1	D	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.1.5. Guayaquil

A continuación, se mostrará el mapa de la ciudad de Guayaquil con la ubicación de los edificios estudiados:

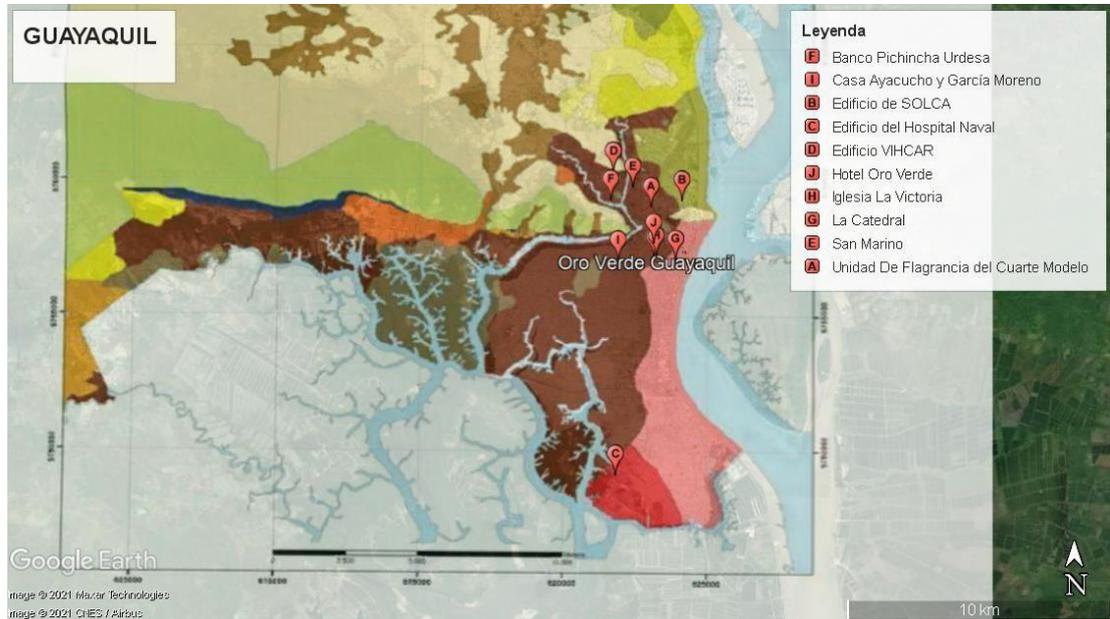


Ilustración 63 Ubicación de edificios en Mapa de Guayaquil y Mapa de Zonificación Sísmica

Fuente: Google Earth

Según el mapa, perteneciente a la Municipalidad de Guayaquil (Realizado por GEOESTUDIOS), “Microzonificación GYE”, el cual está superpuesto al mapa de Guayaquil, muestra la clasificación de los suelos en Guayaquil, de la siguiente manera:



Ilustración 64 Descripción del suelo del Mapa de Zonificación de Guayaquil. Fuente: GEOESTUDIOS

Según la NEC – 15, estas zonas equivalen a los siguientes tipos de suelo:

- D1 → E / F
- D2 → F

- D3 A/B → F
- D4 → E (c río, liq F)
- D5 → D

Lo cual indica que el suelo por el que los edificios fueron construidos es Tipo F, siendo un suelo flexible o suave, además en este mismo tipo de suelo se encuentra la estación AGYE1

Tabla 18 Perfil de Suelo tipo F

F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.

Fuente: NEC – 15

Tabla 19 Tipo de perfil de suelo para cada edificio de la muestra de Guayaquil

	NOMBRE DEL EDIFICIO	UBICACIÓN	Te EDIFICIO	ZONA	GRADO DE DAÑO
A	Unidad de Fragrancia del Cuartel Modelo	Guayaquil 090512	0,60	F	moderado
B	Edificio de Solca	Av. Pedro Menéndez Gilbert	0,85	F	moderado
C	Edificio del Hospital Naval	Guayaquil 090209	0,76	F	grave
D	Edificio Vihcar	Guayaquil 090510	0,73	F	grave
E	San Marino	Av. Francisco de Orellana	0,79	F	grave
F	Edificio Banco Pichincha Urdesa	Av. Victor Emilio	0,70	F	moderado
G	La Catedral	e/ Ago y Ballén, Chimborazo	1,15	F	grave
H	Iglesia La Victoria	Av. Quito, Gye	0,79	F	moderado
I	Casa Ayacucho y García Moreno	Ayacucho y García Moreno	0,47	F	grave
J	Hotel Oro Verde	Av. 9 de octubre 414	1,15	F	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.2. Resumen de Características de los Edificios

Se presenta una tabla con las siguientes características de los edificios:

- Número de pisos
- Período de Vibración del Edificio T_e
- Grado de Daño del Edificio

5.2.1. Pedernales

Tabla 20 Características de Edificios en Pedernales

PEDERNALES			
	NOMBRE DEL EDIFICIO	T_e EDIFICIO	GRADO DE DAÑO
A	EDIFICIO VENUS LOOR	0,91	Grave
B	EDIFICIO LÍDER VERA	0,48	Grave
C	EDIFICIO JULIO WILLIANS	0,38	Grave
D	EDIFICIO WILLIANS CENTER	0,61	Grave
E	GAD DE PEDERNALES	0,65	Moderado
F	YAM YAM	0,73	Grave
G	JUANA WACHO	0,38	Grave
H	Last Mar	0,8	Grave
I	UPC	0,37	Moderado
J	Frente a UPC	0,37	Moderado
K	Miranda Banchón	0,37	Grave

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Chone

Tabla 21 Características de Edificios en Chone

CHONE			
	NOMBRE DEL EDIFICIO	T_e EDIFICIO	GRADO DE DAÑO
A	U.E. Amazonas	0,29	moderado
B	Hospital Napoleón Dávila Córdova	0,63	Grave
C	U.E. Aurelio Salazar	0,24	moderado
D	U.E. Eugenio Espejo	0,31	moderado
E	U.E. Juan Montalvo	0,32	moderado
F	U.E. 24 de julio	0,29	moderado
G	U.E. Abdón Calderón	0,34	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Portoviejo

Tabla 22 Características de Edificios en Portoviejo

PORTOVIEJO			
	NOMBRE DEL EDIFICIO	Ta EDIFICIO	GRADO DE DAÑO
A	ECU 911	0,57	moderado
B	CNT	0,43	grave
C	Universidad San Gregorio	0,58	moderado
D	U.E. Santa María	0,53	moderado
E	U.E. Cristo Rey	0,39	moderado
F	UVC	0,32	moderado
G	Cuartel del Cuerpo Bomberos	0,48	grave
H	Clinica Santa Margarita	0,80	moderado
I	Farmacia San Gregorio	0,55	moderado
J	Clínica San Antonio	0,68	moderado
K	Floreria Esmeralda	0,72	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Manta

Tabla 23 Características de Edificios en Manta

MANTA			
	NOMBRE DEL EDIFICIO	Ta EDIFICIO	GRADO DE DAÑO
A	Torre de Control Aérea (Aeropuert Eloy Alfaro)	0,59	grave
B	Edificio CNEL	1,24	grave
C	YachtClub	0,36	grave
D	Unidad Educativa Linus Pauling	0,62	moderado
E	Unidad Educativa Salesiana San José	0,754	grave
F	ULEAM	0,54	grave
G	Capitanía del Puerto de Manta	0,61	grave
H	UVC	0,66	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Guayaquil

Tabla 24 Características de Edificios en Guayaquil

GUAYAQUIL			
	NOMBRE DEL EDIFICIO	Ta EDIFICIO	GRADO DE DAÑO
A	Unidad de Fragrancia del Cuartel Mode	0,60	moderado
B	Edificio de Solca	0,85	moderado
C	Edificio del Hospital Naval	0,76	grave
D	Edificio Vihcar	0,73	grave
E	San Marino	0,79	grave
F	Edificio Banco Pichincha Urdesa	0,70	moderado
G	La Catedral	1,15	grave
H	Iglesia La Victoria	0,79	moderado
I	Casa Ayacucho y García Moreno	0,47	grave
J	Hotel Oro Verde	1,15	moderado

Fuente: Elaboración propia

5.3. Determinación de la Aceleración Espectral

5.3.1. Pedernales

Como se mostró en el capítulo anterior, el espectro de respuesta del acelerograma del APED – NS de la ciudad de Pedernales, se encuentra trabajado sobre un suelo tipo D, el cual es consistente con el tipo de suelo de las estructuras de estudio por lo tanto se utilizará este mismo gráfico para el cálculo aproximado de las aceleraciones espectrales.

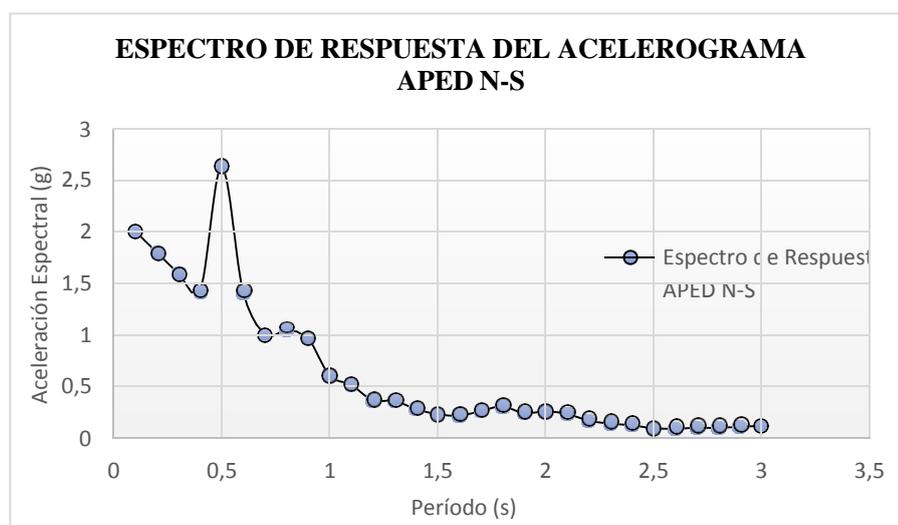


Ilustración 65 Espectro de Respuesta Acelerograma APED N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador

- Cada edificio tiene su propio período de vibración los cuales serán colocados en el Espectro de respuesta de esta ciudad.
- Una vez que se tenga especificado, se procede a calcular la aceleración espectral S_a por medio de una regla de tres entre los valores de períodos y aceleración ya existentes en el gráfico, de la siguiente manera:

Tabla 25 Valores de Portoviejo para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio.

			PARA ITERACIÓN			
	pisos	Te Edificio	Te1	Te2	Sa1	Sa2
A	7	0,91	0,9	1	0,97	0,61
B	4	0,48	0,4	0,5	1,42	2,63
C	3	0,38	0,3	0,4	1,60	1,42
D	5	0,61	0,6	0,7	1,41	1,00
E	4	0,65	0,6	0,7	1,41	1,00
F	6	0,73	0,7	0,8	1,00	1,05
G	4	0,38	0,3	0,4	1,60	1,42
H	7	0,8				
I	3	0,37	0,3	0,4	1,60	1,42
J	3	0,37	0,3	0,4	1,60	1,42
K	3	0,37	0,3	0,4	1,60	1,42

Fuente: Elaboración propia

- El Cálculo de regla de tres se lo realizó de la siguiente forma, tomando en cuenta el primer valor.

$$\frac{1 - 0,9}{0,61 - 0,97} = \frac{0,91 - 0,9}{Sa - 0,97}$$

$$Sa = \frac{0,91 - 0,9}{1 - 0,9} + 0,97$$

$$Sa = 0,93 g$$

Por consiguiente, los resultados quedan de la siguiente manera:

Tabla 26 Valores de aceleración espectral calculados para la ciudad de Pedernales.

PEDERNALES									
		PARA ITERACIÓN							
	pisos	Te Edificio	Te1	Te2	Sa1	Sa2	Sa A USAR	Zona	Grado de daño
A	7	0,91	0,9	1	0,97	0,61	0,93	D	Moderado
B	4	0,48	0,4	0,5	1,42	2,63	2,42	D	Grave
C	3	0,38	0,3	0,4	1,60	1,42	1,33	D	Moderado
D	5	0,61	0,6	0,7	1,41	1,00	1,33	D	Moderado
E	4	0,65	0,6	0,7	1,41	1,00	1,17	D	Moderado
F	6	0,73	0,7	0,8	1,00	1,05	1,02	D	Moderado
G	4	0,38	0,3	0,4	1,60	1,42	1,33	D	Moderado
H	7	0,8					1,05	D	Moderado
I	3	0,37	0,3	0,4	1,60	1,42	1,39	D	Moderado
J	3	0,37	0,3	0,4	1,60	1,42	1,39	D	Moderado
K	3	0,37	0,3	0,4	1,60	1,42	1,39	D	Moderado

Fuente: Elaboración propia

- Se procede a ubicar los valores de Período (Te) de Edificio, así como Aceleración espectral (sa) de Edificio, en el gráfico del acelerograma APED, tomando en cuenta que el tipo de suelo de los edificios, es el mismo donde se hizo el estudio de la Estación del acelerógrafo.
- Para realizar el paso anterior, es necesario poner en orden de menor a mayor en referencia al Te del edificio para que el gráfico sea claro y sistemático.

Tabla 27 Valores ordenados de edificaciones de Pedernales.

PEDERNALES			
Edificio	Ta	Sa	Grado de Daño
I	0,37	1,39	Moderado
J	0,37	1,39	Moderado
K	0,37	1,39	Grave
C	0,38	1,33	Grave
G	0,38	1,33	Grave
B	0,48	2,42	Grave
D	0,61	1,33	Grave
E	0,65	1,17	Moderado
F	0,73	1,02	Grave
H	0,8	1,05	Grave
A	0,91	0,93	Grave

Fuente: Elaboración propia

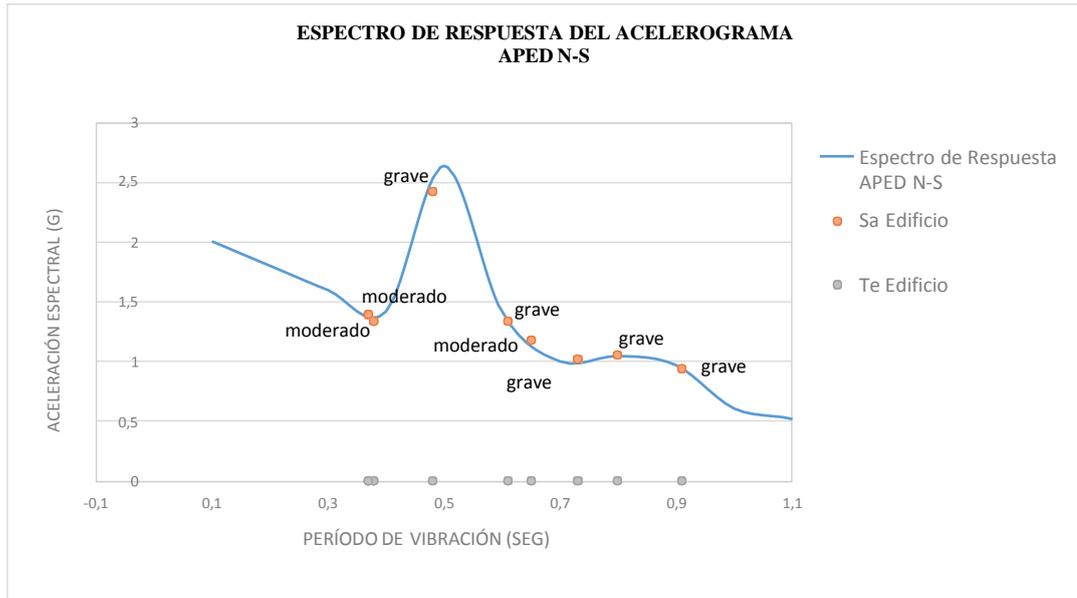


Ilustración 66 Espectro de respuesta Pedernales (Sa, Te, Grado de Daño).

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Chone

En Chone, la estación del acelerógrafo, ACHN N-S, se encuentra estudiada sobre un suelo Tipo D, sin embargo, los datos arrojaron que el tipo de suelo de la muestra de edificios, en su mayoría, fue tipo E. El Espectro de Respuesta para esta estación es el siguiente:

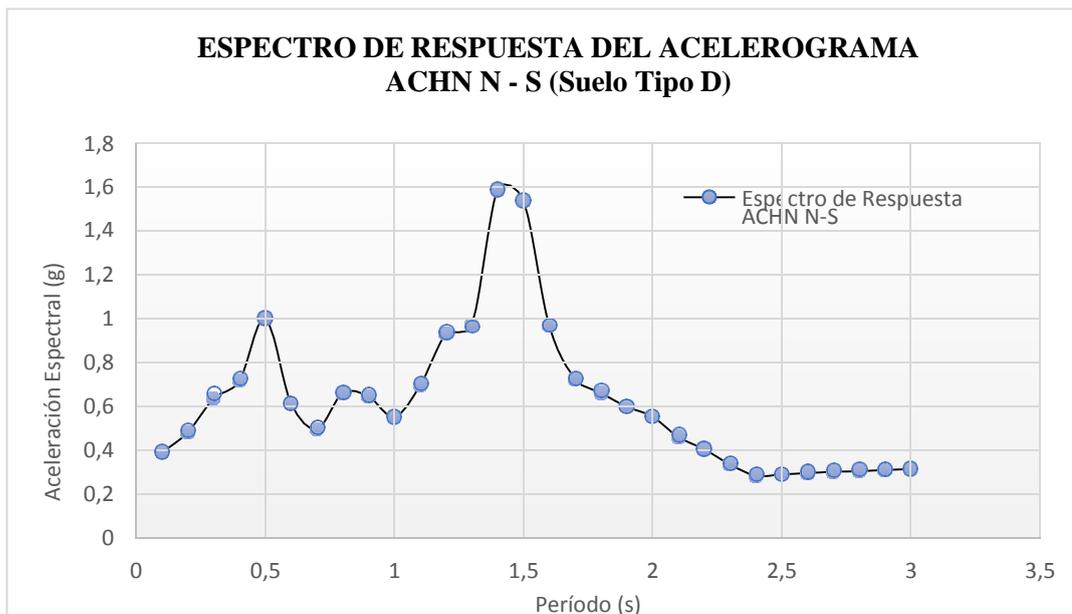


Ilustración 67 Espectro de Respuesta Acelerograma ACHN N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador

- En este caso, lo que se realiza es una aproximación del espectro de respuesta para suelo tipo E, que es el que se necesita, mediante una equivalencia de datos que se puede realizar con ayuda de NEC-15.
- Para ello, se necesita la información arrojada por la estación ACHN N-S durante el sismo (se puede apreciar en el Capítulo IV, numeral 4.2.5.), y de esta manera realizar el proceso de equivalencia:

ACHN	Chone	0° 41' 52.8" S	80° 5' 2.4" W	34	200°	0.328	0.371	0.173
------	-------	----------------	---------------	----	------	-------	-------	-------

Ilustración 68 Registro acelerógrafo para ACHN. Fuente: Instituto Geofísico EPN

- Según esta información para este registro sobre suelo tipo D, se tienen los siguientes datos:
 - Suelo Tipo D:

$$PGA = 0,371 = Fa * z$$

$$Fa = 1,3$$

$$Z = PGA / Fa = 0,285$$

$$n = 1,8$$

$$r = 1,5 \text{ (Suelo E y D)}$$

- Entonces, con un $z=0,285$ para suelo tipo E, se tendrían los siguientes datos:
 - Equivale a zona II, Factor $z = 0,25$

$$Fa = 1,5$$

$$Fs = 1,6$$

$$Fd = 1,75$$

- Con estos datos calculados, se procede a graficar, según lo indicado en NEC – 15, el espectro de respuesta para la ciudad de Chone con un suelo tipo E.

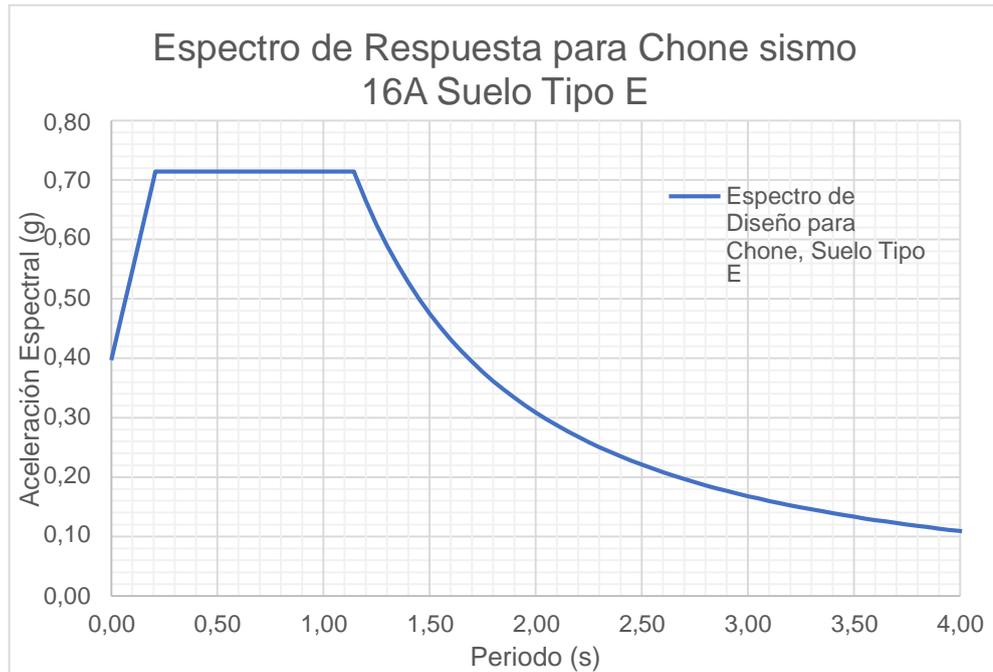


Ilustración 69 Espectro de Respuesta Chone, suelo tipo E.

Fuente: Elaboración propia

- Los valores de Período de los Edificios permitirán encontrar el valor de Aceleración Espectral requerida en el Espectro de Respuesta calculado (no se necesita realizar iteraciones), quedando los resultados de la siguiente manera:

Tabla 28 Resultados de cada edificio de la muestra de Chone (Te, Sa, Grado de daño)

CHONE				
Edificio	Te	Sa	Zona	Grado de Daño
C	0,24	0,71	E	moderado
F	0,29	0,71	E	moderado
D	0,31	0,71	E	moderado
E	0,32	0,71	E	moderado
G	0,34	0,71	E	moderado
B	0,63	0,71	E	Grave

Fuente: Elaboración propia

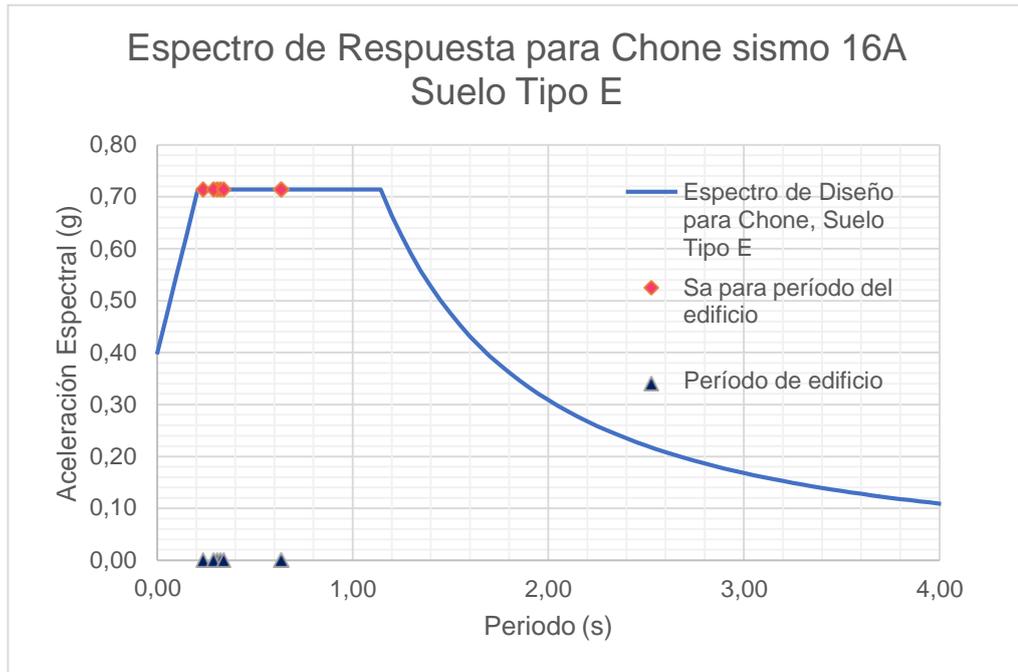


Ilustración 70 Espectro de respuesta Chone suelo E, Sa y Te de los edificios.

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Portoviejo

El espectro de respuesta del acelerograma del APO1 – NS de la ciudad de Portoviejo, se encuentra trabajado sobre un suelo tipo D, el cual es consistente con el tipo de suelo de las estructuras de estudio por lo tanto se utilizará este mismo gráfico para el cálculo aproximado de las aceleraciones espectrales.

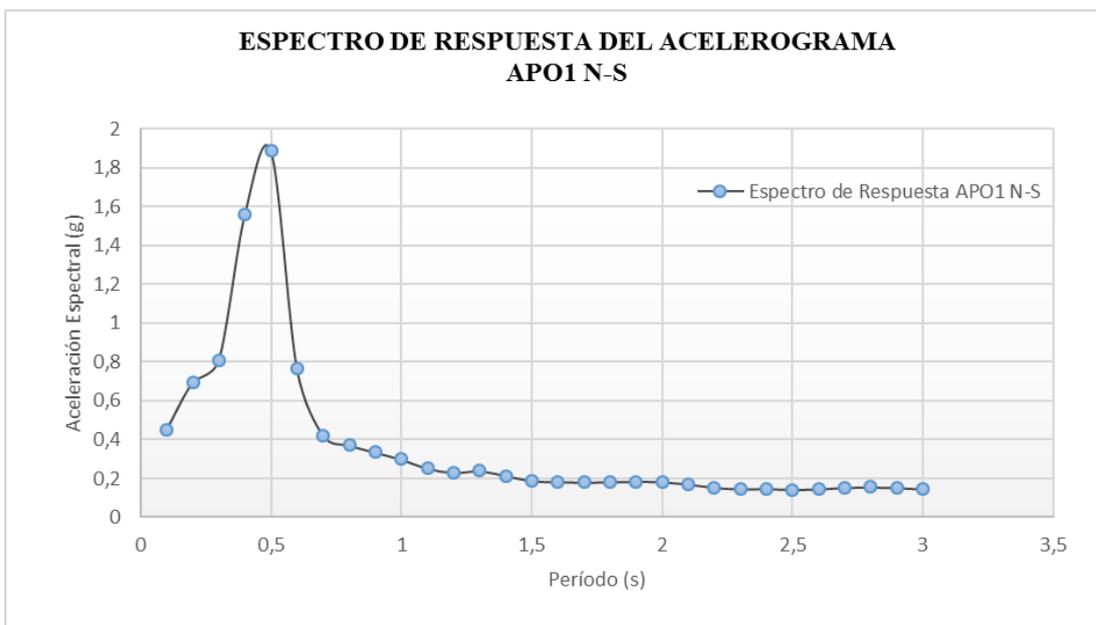


Ilustración 71 Espectro de Respuesta Acelerograma APO1 N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN - Ecuador

- Cada edificio tiene su propio período de vibración los cuales serán colocados en el Espectro de respuesta de esta ciudad, de esta manera, se procede a calcular la aceleración espectral **Sa**:

Tabla 29 Valores para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio de la muestra de Portoviejo.

		PARA ITERACIÓN			
	Te edificio	Te1	Te2	Sa1	Sa2
A	0,57	0,5	0,6	1,89	0,76
B	0,43	0,4	0,5	1,56	1,89
C	0,58	0,5	0,6	1,89	0,76
D	0,53	0,5	0,6	1,89	0,76
E	0,39	0,3	0,4	0,81	1,56
F	0,32	0,3	0,4	0,81	1,56
G	0,48	0,4	0,5	1,56	1,89
H	0,80				
I	0,55	0,5	0,6	1,89	0,76
J	0,68	0,6	0,7	0,76	0,42
K	0,72	0,7	0,8	0,42	0,37

Fuente: Elaboración propia

- El Cálculo es el siguiente:

$$\frac{0,6 - 0,5}{0,76 - 1,89} = \frac{0,57 - 0,5}{Sa_1 - 1,89}$$

$$Sa_1 = \frac{0,57 - 0,5}{0,6 - 0,5} + 1,89$$

$$Sa_1 = 1,10 g$$

Por consiguiente, los resultados quedan de la siguiente manera:

Tabla 30 Valores de aceleración espectral calculados.

PORTOVIEJO								
	PARA ITERACIÓN							
	Ta edificio	Ta1	Ta2	Sa1	Sa2	Sa	Sa A USAR	Grado de daño
A	0,57	0,5	0,6	1,89	0,76	1,10	1,10	moderado
B	0,43	0,4	0,5	1,56	1,89	1,66	1,70	grave
C	0,58	0,5	0,6	1,89	0,76	1,05	1,05	moderado
D	0,53	0,5	0,6	1,89	0,76	1,55	1,58	moderado
E	0,39	0,3	0,4	0,81	1,56	1,48	1,48	moderado
F	0,32	0,3	0,4	0,81	1,56	0,96	0,92	moderado
G	0,48	0,4	0,5	1,56	1,89	1,82	1,90	grave
H	0,80					0,37	0,37	moderado
I	0,55	0,5	0,6	1,89	0,76	1,33	1,33	moderado
J	0,68	0,6	0,7	0,76	0,42	0,49	0,46	moderado
K	0,72	0,7	0,8	0,42	0,37	0,41	0,41	moderado

Fuente: Elaboración propia

- Se procede a ubicar los valores de Período (Te) de Edificio, así como Aceleración espectral (sa) de Edificio, en el gráfico del acelerograma APO1.
- Para realizar el paso anterior, es necesario poner en orden de menor a mayor en referencia al Te del edificio para que el gráfico sea claro y sistemático.

Tabla 31 Valores ordenados de edificaciones de Portoviejo.

PORTOVIEJO			
	Ta	Sa	Grado de Daño
F	0,32	0,92	moderado
E	0,39	1,48	moderado
B	0,43	1,70	grave
G	0,48	1,90	grave
D	0,53	1,58	moderado
I	0,55	1,33	moderado
A	0,57	1,10	moderado
C	0,58	1,05	moderado
J	0,68	0,46	moderado
K	0,72	0,41	moderado
H	0,80	0,37	moderado

Fuente: Elaboración propia

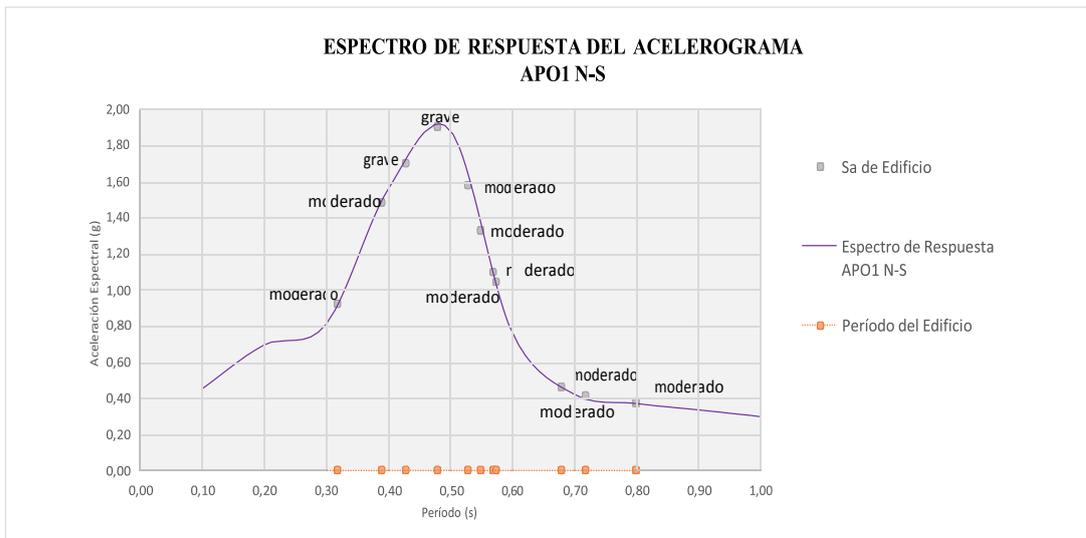


Ilustración 72 Espectro de respuesta Portoviejo (Sa, Te, Grado de Daño).

Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Manta

El espectro de respuesta del acelerograma del AMNT – NS de la ciudad de Manta, se encuentra trabajado sobre un suelo tipo D, el cual es consistente con el tipo de suelo de las estructuras de estudio por lo tanto se utilizará este mismo gráfico para el cálculo aproximado de las aceleraciones espectrales. Se tienen dos estructuras sobre suelo tipo E, pero por motivo de ser pocas, saldría inconsistencia de datos, por lo que no serán calculadas en este estudio.

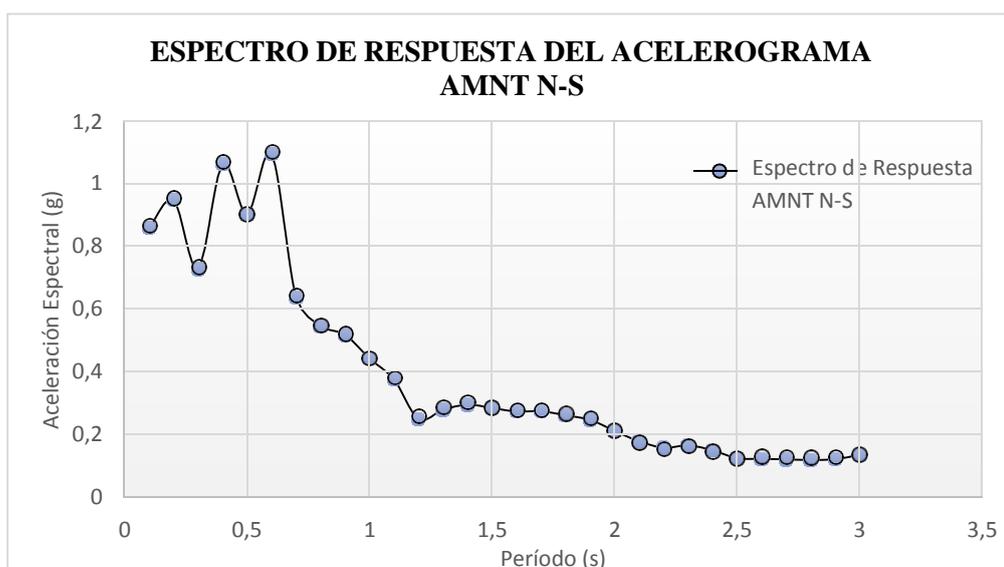


Ilustración 73 Espectro de Respuesta Acelerograma AMNT N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador

- Cada edificio tiene su propio período de vibración los cuales serán colocados en el Espectro de respuesta de esta ciudad, de esta manera, se procede a calcular la aceleración espectral **Sa**:

Tabla 32 Valores para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio de la muestra de Manta.

		PARA ITERACIÓN			
	Te Edificio	Te1	Te2	Sa1	Sa2
A	0,59	0,5	0,6	0,90	1,09
C	0,36	0,3	0,4	0,73	1,06
D	0,62	0,6	0,7	1,09	0,64
F	0,54	0,5	0,6	0,90	1,09
G	0,61	0,6	0,7	1,09	0,64
H	0,66	0,6	0,7	1,09	0,64

Fuente: Elaboración propia

- El Cálculo es el siguiente:

$$\frac{0,6 - 0,5}{1,09 - 0,9} = \frac{0,59 - 0,5}{Sa_1 - 0,9}$$

$$Sa_1 = \frac{0,59 - 0,5}{\frac{0,6 - 0,5}{1,09 - 0,9}} + 0,9$$

$$Sa_1 = 1,09 g$$

Por consiguiente, los resultados quedan de la siguiente manera:

Tabla 33 Valores de aceleración espectral calculados.

MANTA							
		PARA ITERACIÓN					
	Ta Edificio	Ta1	Ta2	Sa1	Sa2	Sa A USAR	Grado de daño
A	0,59	0,5	0,6	0,90	1,09	1,09	grave
C	0,36	0,3	0,4	0,73	1,06	0,93	grave
D	0,62	0,6	0,7	1,09	0,64	1,03	moderado
F	0,54	0,5	0,6	0,90	1,09	0,98	grave
G	0,61	0,6	0,7	1,09	0,64	1,07	grave
H	0,66	0,6	0,7	1,09	0,64	0,82	moderado

Fuente: Elaboración propia

- Se procede a ubicar los valores de Período (T_e) de Edificio, así como Aceleración espectral (S_a) de Edificio, en el gráfico del acelerograma AMNT N-S. Es necesario poner en orden de menor a mayor en referencia al T_e del edificio para que el gráfico sea claro y sistemático.

Tabla 34 Valores ordenados de edificaciones de Manta.

MANTA			
	Ta	Sa	Grado de Daño
C	0,36	0,93	grave
F	0,54	0,98	grave
A	0,59	1,09	grave
G	0,61	1,07	grave
D	0,62	1,03	moderado
H	0,66	0,82	moderado

Fuente: Elaboración propia

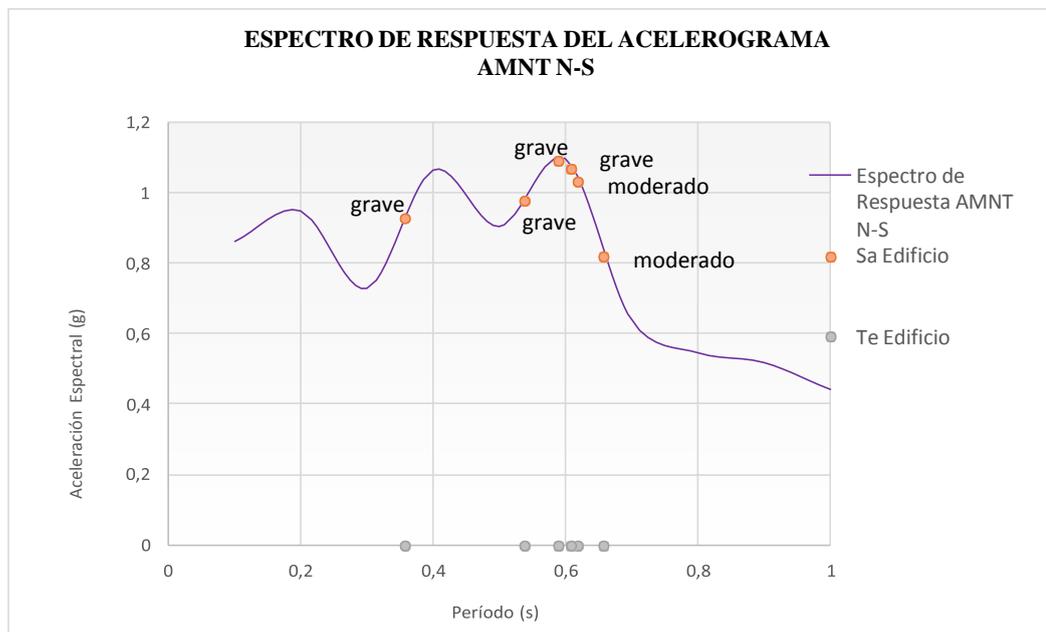


Ilustración 74 Espectro de respuesta Manta (S_a , T_e , Grado de Daño).

Fuente: Elaboración propia

5.3.5. Guayaquil

El espectro de respuesta del acelerograma del AGYE1 – NS de la ciudad de Guayaquil, se encuentra trabajado sobre un suelo Flexible o Suave, semejante a un tipo F, el cual es consistente con el tipo de suelo de las estructuras de estudio por lo tanto se utilizará este mismo gráfico para el cálculo aproximado de las aceleraciones espectrales. Cabe recalcar, que, en el gráfico, las ordenadas corresponden al período de vibración, y las abscis

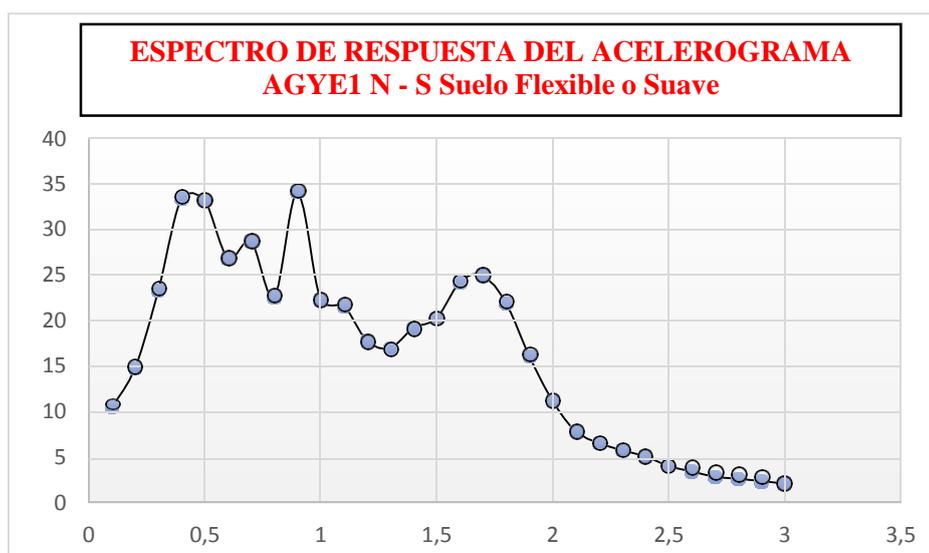


Ilustración 75 Espectro de Respuesta Acelerograma AGYE1 N-S. Fuente: Instituto Geofísico EPN – Ecuador

- Cada edificio tiene su propio período de vibración los cuales serán colocados en el Espectro de respuesta de esta ciudad, de esta manera, se procede a calcular la aceleración espectral S_a :

Tabla 35 Valores para cálculo de Aceleración Espectral para cada edificio de la muestra de Guayaquil.

		PARA ITERACIÓN			
	Te Edificio	T1	T2	S1	S2
A	0,60				
B	0,85	0,8	0,9	22,54	34,08
C	0,88	0,8	0,9	22,54	34,08
D	0,73	0,7	0,8	28,67	22,54
E	0,79	0,7	0,8	28,67	22,54
F	0,70				
G	0,91	0,9	1	34,08	22,24
H	0,79	0,7	0,8	28,67	22,54
I	0,47	0,4	0,5	33,36	33,14
J	1,15	1,1	1,2	21,57	17,75

Fuente: Elaboración propia

- El Cálculo es el siguiente:

$$\frac{0,9 - 0,8}{34,08 - 22,54} = \frac{0,85 - 0,8}{Sa_1 - 22,54}$$

$$Sa_1 = \frac{0,85 - 0,8}{0,9 - 0,8} + 22,54$$

$$Sa_1 = 28,50 \text{ g}$$

Por consiguiente, los resultados quedan de la siguiente manera:

Tabla 36 Valores de aceleración espectral calculados.

GUAYAQUIL							
		PARA ITERACIÓN					
	Ta Edificio	Ta1	Ta2	Sa1	Sa2	Sa a USAR	Grado de daño
A	0,60					26,83	moderado
B	0,85	0,8	0,9	22,54	34,08	28,50	moderado
C	0,88	0,8	0,9	22,54	34,08	32,20	grave
D	0,73	0,7	0,8	28,67	22,54	26,95	grave
E	0,79	0,7	0,8	28,67	22,54	23,15	grave
F	0,70					28,50	moderado
G	0,91	0,9	1	34,08	22,24	33,25	grave
H	0,79	0,7	0,8	28,67	22,54	23,15	moderado
I	0,47	0,4	0,5	33,36	33,14	33,90	grave
J	1,15	1,1	1,2	21,57	17,75	19,56	moderado

Fuente: Elaboración propia

- Se procede a ubicar los valores de Período (Te) de Edificio, así como Aceleración espectral (sa) de Edificio, en el gráfico del acelerograma AGYE1 N-S. Es necesario poner en orden de menor a mayor en referencia al Te del edificio para que el gráfico sea claro y sistemático.

Tabla 37 Valores ordenados de edificaciones de Guayaquil

GUAYAQUIL			
	Ta Edificio	Sa	Grado de daño
I	0,47	33,90	grave
A	0,60	26,83	moderado
F	0,70	28,50	moderado
D	0,73	26,95	grave
E	0,79	23,15	grave
H	0,79	23,15	moderado
B	0,85	28,50	moderado
C	0,88	32,20	grave
G	0,91	33,25	grave
J	1,15	19,56	moderado

Fuente: Elaboración propia

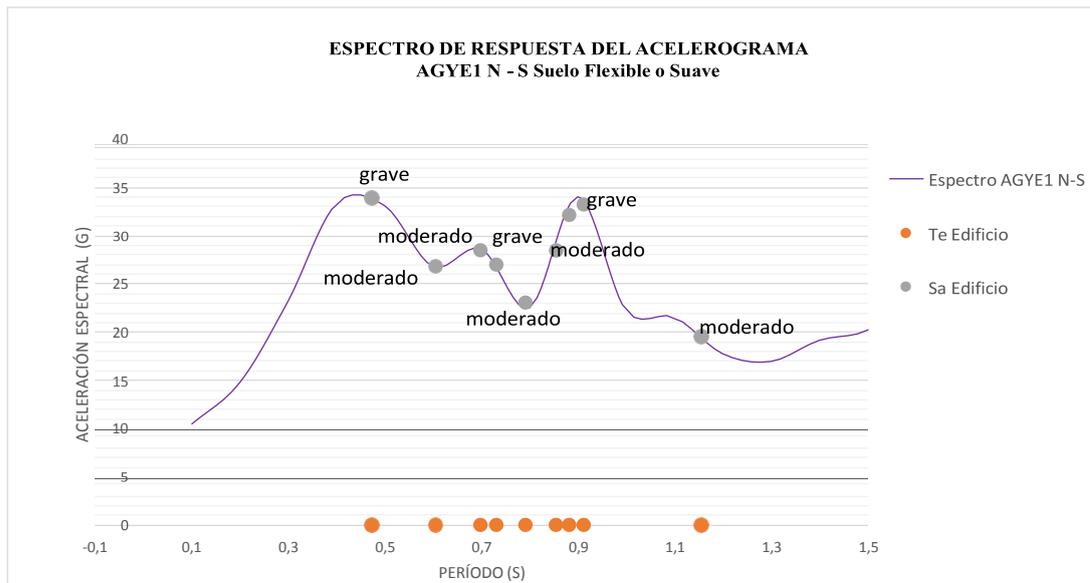


Ilustración 76 Espectro de respuesta Guayaquil (Sa, Te, Grado de Daño).

Fuente: Elaboración propia

5.4. Relación Estadística entre Grado de Daño y Aceleración Espectral

Variables de Hipótesis:

- Aceleración Espectral

- Grado de Daño

Hipótesis nula:

Ho: FO = FE

“La clasificación del grado de daño en moderado o grave es independiente de Sa”

Hipótesis Alternativa:

H1: FO < > FE

“No hay independencia”

Prueba CHI – CUADRADO

Renglones $\rightarrow r = 2$

Columnas $\rightarrow c = 3$

$(r - 1) * (c - 1) = 2 \text{ grados de libertad}$

Coefficiente de confianza $(\gamma = 1 - \alpha) = 0,95 \rightarrow \alpha = 0,05$

Mediante la Fórmula chi-cuadrado de Excel, se obtuvo que el resultado del parámetro que da contraste de hipótesis para saber si se acepta o no:

$$c = 5,99$$

Entonces, si:

$$x^2 < c = 5,99; \text{ se ACEPTA LA HIPÓTESIS}$$

Caso contrario, la hipótesis es rechazada. Sin embargo, existen ocasiones en los que no se llega a ningún resultado por falta de datos, lo que produce una inconsistencia en la resolución.

5.4.1. Pedernales

- En primer lugar, se ubican en orden los datos de los edificios de la ciudad de Pedernales, en este caso, de acuerdo a la aceleración espectral (S_a), de esta manera determinar el $S_{a_m\acute{a}x}$ y el $S_{a_m\acute{i}n}$:

Tabla 38 Datos de Pedernales ordenados de menor a mayor en relación a S_a .

PEDERNALES			
Edificio	S_a	Te	Grado de Daño
A	0,93	0,91	Grave
F	1,02	0,73	Grave
H	1,05	0,8	Grave
E	1,17	0,65	Moderado
C	1,33	0,38	Grave
G	1,33	0,38	Grave
D	1,33	0,61	Grave
I	1,39	0,37	Moderado
J	1,39	0,37	Moderado
K	1,39	0,37	Grave
B	2,42	0,48	Grave

Fuente: Elaboración propia

$$S_{a_m\acute{a}x} = 2,42 g$$

$$S_{a_m\acute{i}n} = 0,93 g$$

- Una vez determinados estos valores, se procede a calcular el rango que existirá entre los 3 casos que permiten el estudio de la relación estadística.

$$Rango = 2,42 - 0,93 = 1,49g$$

CASO A:

$$0 < T < \frac{S_{a_m\acute{i}n} + Rango}{3}$$

$$0 < T < 1,43g$$

CASO B:

$$\frac{S_{a_m\acute{i}n} + Rango}{3} < T < \frac{S_{a_m\acute{a}x} - Rango}{3}$$

$$1,43 < T < 1,92g$$

CASO C:

$$T > \frac{Sa_{m\acute{a}x} - Rango3}{}$$

$$T > 1,92 g$$

- A continuación, se presenta el gráfico que distingue cada uno de estos casos para la ciudad de Pedernales:

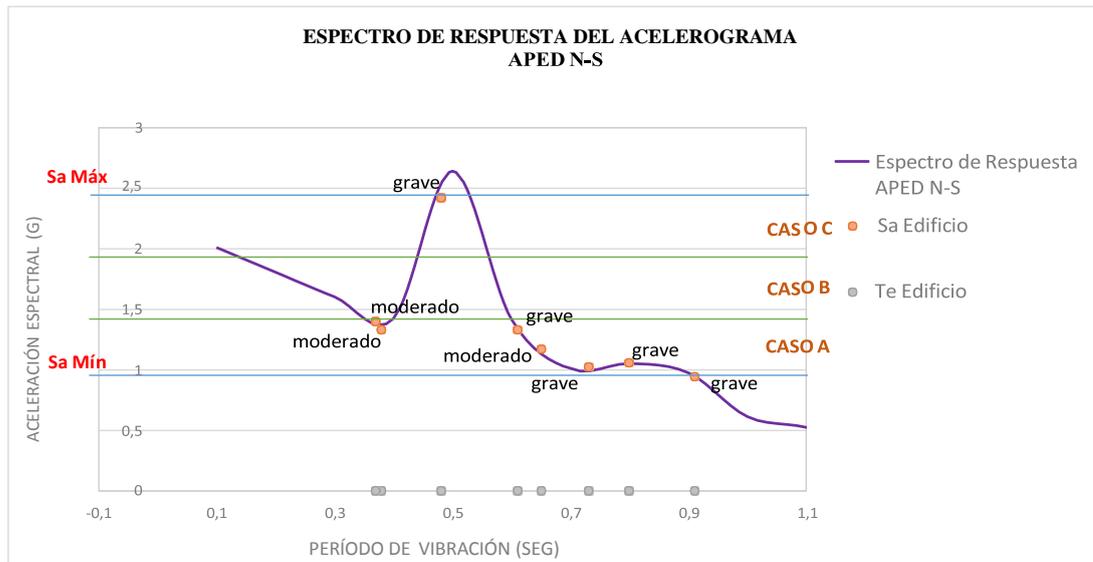


Ilustración 77 Espectro de Respuesta Pedernales para cálculo de relación estadística

Fuente: Elaboración propia

- Con esto identificado, se procede a relacionar estadísticamente las variables:

Tabla 39 Frecuencias observadas de la muestra.

		FRECUENCIAS OBSERVADAS			
		Rango de Sa			
		A	B	C	
Moderado		3	0	0	3
Grave		7	0	1	8
		10	0	1	11

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

Tabla 40 Frecuencias esperadas de la muestra.

FRECUENCIAS ESPERADAS				
Rango de Sa				
	A	B	C	
Moderado	2,73	0,00	0,27	3
Grave	7,27	0,00	0,73	8
	10	0	1	11

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

- Con los datos de la muestra, se observa que no son los suficientes para el análisis del Chi-Cuadrado, por lo que se concluye como sistema inconsistente.

5.4.2. Chone

Debido a que el resultado de aceleraciones espectrales obtenidos para cada caso, eran iguales, debido a que se encuentran en la parte constante del Espectro de Respuesta de Chone, no existe consistencia de datos para verificar la información.

5.4.3. Portoviejo

- Se ubican en orden los datos de los edificios de la ciudad de Portoviejo, en este caso, de acuerdo a la aceleración espectral (S_a), de esta manera determinar el $S_{a_máx}$ y el $S_{a_mín}$:

Tabla 41 Datos de Portoviejo ordenados de menor a mayor en relación a S_a .

PORTOVIEJO			
	Ta	Sa	Grado de Daño
H	0,80	0,37	moderado
K	0,72	0,41	moderado
J	0,68	0,46	moderado
F	0,32	0,92	moderado
C	0,58	1,05	moderado
A	0,57	1,10	moderado
I	0,55	1,33	moderado
E	0,39	1,48	moderado
D	0,53	1,58	moderado
B	0,43	1,70	grave
G	0,48	1,90	grave

Fuente: Elaboración propia

$$Sa_{m\acute{a}x} = 1,9 g$$

$$Sa_{m\acute{i}n} = 0,37 g$$

- Una vez determinados estos valores, se procede a calcular el rango que existirá entre los 3 casos que permiten el estudio de la relación estadística.

$$Rango = 1,9 - 0,37 = 1,53g$$

CASO A:

$$0 < T < \frac{Sa_{m\acute{i}n} + Rango}{3}$$

$$0 < T < 0,88g$$

CASO B:

$$\frac{Sa_{m\acute{i}n} + Rango}{3} < T < \frac{Sa_{m\acute{a}x} - Rango}{3}$$

$$0,88 < T < 1,39g$$

CASO C:

$$T > \frac{Sa_{m\acute{a}x} - Rango}{3}$$

$$T > 1,39 g$$

- A continuación, se presenta el gráfico que distingue cada uno de estos casos para la ciudad de Portoviejo:

**ESPECTRO DE RESPUESTA DEL ACELEROGRAMA
APO1 N-S**

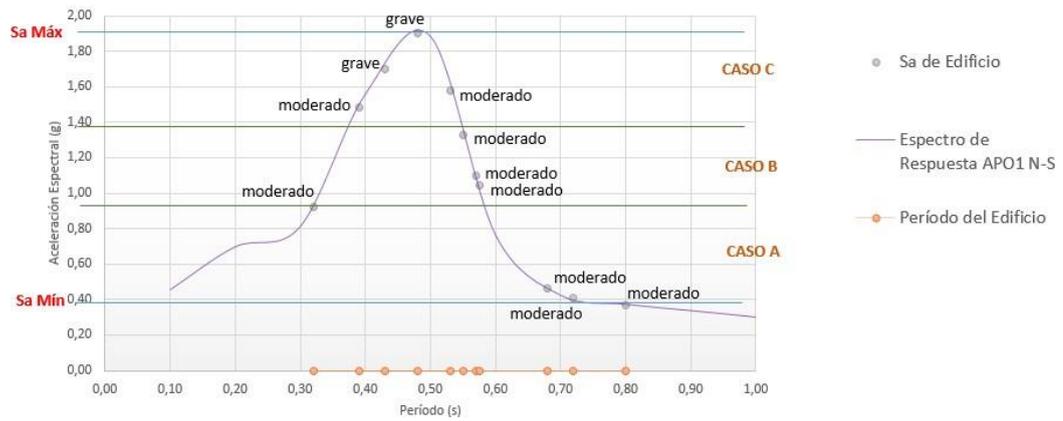


Ilustración 78 Espectro de Respuesta Portoviejo para cálculo de relación estadística

Fuente: Elaboración propia

- Con esto identificado, se procede a relacionar estadísticamente las variables:

Tabla 42 Frecuencias observadas de la muestra.

FRECUENCIAS OBSERVADAS				
Rango de Sa				
	A	B	C	
Moderado	3	4	2	9
Grave	0	0	2	2
	3	4	4	11

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

Tabla 43 Frecuencias esperadas de la muestra.

FRECUENCIAS ESPERADAS				
Rango de Sa				
	A	B	C	
Moderado	2,45	3,27	3,27	9
Grave	0,55	0,73	0,73	2
	3	4	4	11

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

Tabla 44 Cálculo de Chi-Cuadrado

(FE-FO)²/FE				
Rango de Sa				
	A	B	C	
Moderado	0,12	0,16	0,49	0,78
Grave	0,55	0,73	2,23	3,50
	0,67	0,89	2,72	4,28 = X²

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

5.4.4. Manta

- Se ubican en orden los datos de los edificios de la ciudad de Manta, en este caso, de acuerdo a la aceleración espectral (S_a), de esta manera determinar el $S_{a_máx}$ y el $S_{a_mín}$:

Tabla 45 Datos de Manta ordenados de menor a mayor en relación a S_a .

MANTA			
	Te	Sa	Grado de Daño
H	0,66	0,82	moderado
C	0,36	0,93	grave
F	0,54	0,98	grave
D	0,62	1,03	moderado
G	0,61	1,07	grave
A	0,59	1,09	grave

Fuente: Elaboración propia

$$S_{a_máx} = 1,09 \text{ g}$$

$$S_{a_mín} = 0,82 \text{ g}$$

- Una vez determinados estos valores, se procede a calcular el rango que existirá entre los 3 casos que permiten el estudio de la relación estadística.

$$Rango = 1,09 - 0,82 = 1,53g$$

CASO A:

$$0 < T < \frac{S_{a_mín} + Rango}{3}$$

$$0 < T < 0,91g$$

CASO B:

$$\frac{S_{a_mín} + Rango}{3} < T < \frac{S_{a_máx} - Rango}{3}$$

$$0,91 < T < 1,00g$$

CASO C:

$$T > \frac{Sa_{m\acute{a}x} - Rango3}{3}$$

$$T > 1,00 g$$

- A continuación, se presenta el gráfico que distingue cada uno de estos casos para la ciudad de Manta:

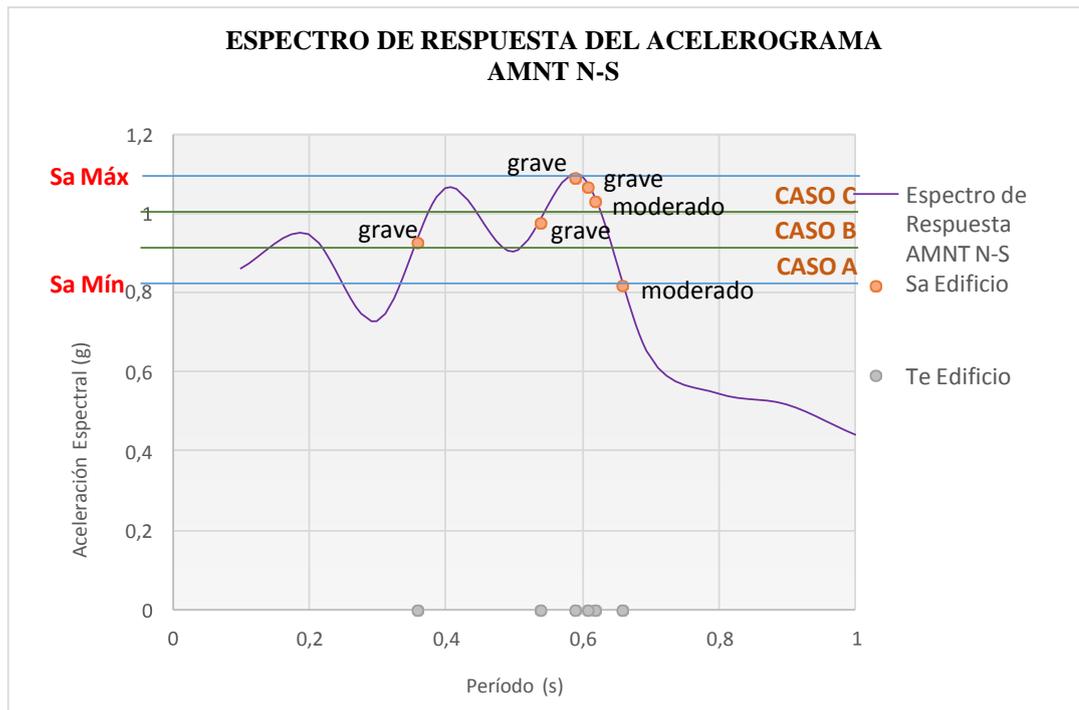


Ilustración 79 Espectro de Respuesta Manta para cálculo de relación estadística

Fuente: Elaboración propia

- Con esto identificado, se procede a relacionar estadísticamente las variables:

Tabla 46 Frecuencias observadas de la muestra.

	FRECUENCIAS OBSERVADAS			
	Rango de Sa			
	A	B	C	
Moderado	1	0	1	2
Grave	0	2	2	4
	1	2	3	6

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

Tabla 47 Frecuencias esperadas de la muestra.

FRECUCIAS ESPERADAS				
Rango de Sa				
	A	B	C	
Moderado	0,33	0,67	1,00	2
Grave	0,67	1,33	2,00	4
	1	2	3	6

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

Tabla 48 Cálculo de Chi-Cuadrado

$(FE-FO)^2/FE$				
Rango de Sa				
	A	B	C	
Moderado	1,33	0,67	0,00	2,00
Grave	0,67	0,33	0,00	1,00
	2,00	1,00	0,00	3,00 = χ^2

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

5.4.5. Guayaquil

- Se ubican en orden los datos de los edificios de la ciudad de Guayaquil, en este caso, de acuerdo a la aceleración espectral (S_a), de esta manera determinar el $S_{a_m\acute{a}x}$ y el $S_{a_m\acute{i}n}$:

Tabla 49 Datos de Guayaquil ordenados de menor a mayor en relación a S_a .

GUAYAQUIL			
	Te Edificio	S_a	Grado de daño
J	1,15	19,56	moderado
E	0,79	23,15	grave
H	0,79	23,15	moderado
A	0,60	26,83	moderado
D	0,73	26,95	grave
B	0,85	28,50	moderado
F	0,70	28,50	moderado
C	0,88	32,20	grave
G	0,91	33,25	grave
I	0,47	33,90	grave

Fuente: Elaboración propia

$$S_{a_m\acute{a}x} = 19,56 \text{ g}$$

$$S_{a_m\acute{i}n} = 33,9 \text{ g}$$

- Una vez determinados estos valores, se procede a calcular el rango que existirá entre los 3 casos que permiten el estudio de la relación estadística.

$$Rango = 33,90 - 19,56 = 14,34g$$

CASO A:

$$0 < T < \frac{Sa_{mín} + Rango3}{3}$$

$$0 < T < 24,34g$$

CASO B:

$$\frac{Sa_{mín} + Rango3}{3} < T < \frac{Sa_{máx} - Rango3}{3}$$

$$24,34 < T < 29,12g$$

CASO C:

$$T > \frac{Sa_{máx} - Rango3}{3}$$

$$T > 29,12 g$$

- A continuación, se presenta el gráfico que distingue cada uno de estos casos para la ciudad de Guayaquil:

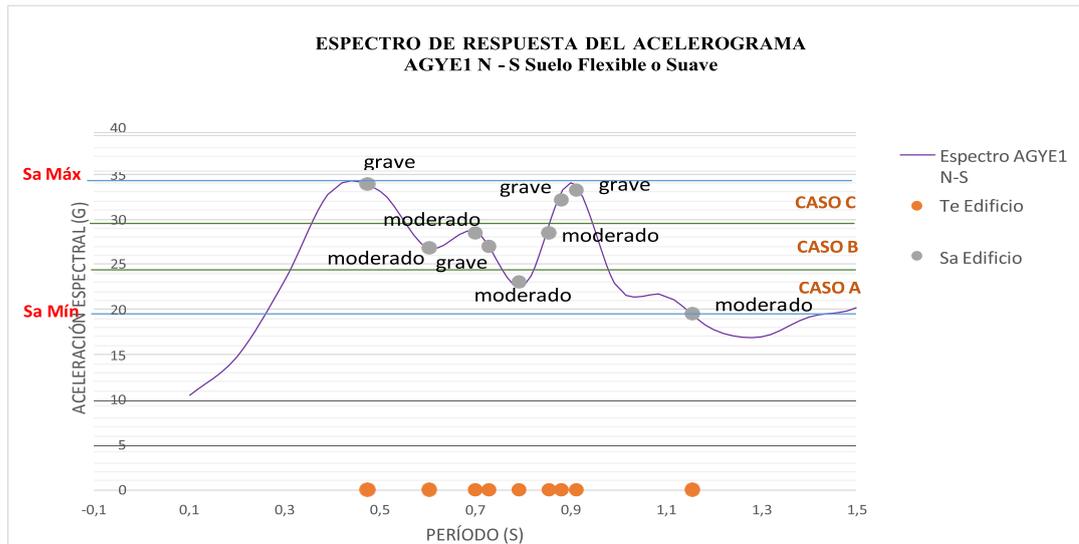


Ilustración 80 Espectro de Respuesta Guayaquil para cálculo de relación estadística

Fuente: Elaboración propia

- Con esto identificado, se procede a relacionar estadísticamente las variables:

Tabla 50 Frecuencias observadas de la muestra.

FRECUENCIAS OBSERVADAS
Rango de Sa

	A	B	C	
Moderado	2	3	0	5
Grave	1	1	3	5
	3	4	3	10

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

Tabla 51 Frecuencias esperadas de la muestra.

FRECUENCIAS ESPERADAS
Rango de Sa

	A	B	C	
Moderado	1,50	2,00	1,50	5
Grave	1,50	2,00	1,50	5
	3	4	3	10

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

Tabla 52 Cálculo de Chi-Cuadrado

(FE-FO)²/FE
Rango de Sa

	A	B	C	
Moderado	0,17	0,50	1,50	2,17
Grave	0,17	0,50	1,50	2,17
	0,33	1,00	3,00	4,33 = X²

Fuente: Hoja de Cálculo - Ing. Alex Villacrés

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS

A continuación, se dará el resultado de la validez o no de la hipótesis planteada. Cabe recalcar, que, para los casos de Pedernales y Chone, se tuvo inconsistencia de datos por falta de información, en consecuencia, para ambas ciudades no se puede concluir la hipótesis.

6.1.1. Resultados Portoviejo

$$x^2 = 4,28; c = 5,99$$

$$x^2 < c \rightarrow 4,28 < 5,99$$

Entonces, se **ACEPTA Ho.**

Conclusión: La clasificación del grado de daño en moderado o grave no depende solo de la aceleración espectral S_a , y, por tanto, no depende solo del periodo de vibración del suelo.

6.1.2. Resultados Manta

$$x^2 = 3,00; c = 5,99$$

$$x^2 < c \rightarrow 3,00 < 5,99$$

Entonces, se **ACEPTA Ho.**

Conclusión: La clasificación del grado de daño en moderado o grave no depende solo de la aceleración espectral S_a , y, por tanto, no depende solo del periodo de vibración del suelo.

6.1.3. Resultados Guayaquil

$$x^2 = 4,33; c = 5,99$$

$$x^2 < c \rightarrow 1,67 < 5,99$$

Entonces, se **ACEPTA Ho.**

Conclusión: La clasificación del grado de daño en moderado o grave no depende solo de la aceleración espectral S_a , y, por tanto, no depende solo del periodo de vibración del suelo.

CONCLUSIONES

El Ecuador es una zona de alto riesgo sísmico, por lo que siempre se verá afectada por movimientos telúricos, ya sean leves o de gran intensidad, los cuales no se pueden pronosticar, pero sí se podría tratar de evitar llegar al colapso, conociendo las variables que afectan a la edificación al momento de un terremoto. Este trabajo de titulación abarcó una muestra de 50 edificios que tuvieron problemas a causa del terremoto del 16 de abril de 2016 en Ecuador; cabe recalcar que, no se pudo tener una muestra más numerosa debido a la falta de información, además no se pudo ir al sitio de los hechos de cada edificio por motivos de la pandemia. Sin embargo, con la muestra de estudio, se realizó el análisis objetado para llegar a la respectiva conclusión.

Cuando ocurre este tipo de fenómenos (sismos), lo primordial es que una estructura trate de diferir el movimiento que este genera, siendo así, que el período de vibración de la estructura, no se asemeje al período de vibración del suelo sobre el que ha sido construida. Esto a su vez, va a generar una aceleración espectral, que permite conocer la intensidad de movimiento aplicado a la edificación. Luego del sismo, se puede observar el grado de daño que se ha generado en cada construcción, este puede ser, leve, moderado o grave (colapso).

Este trabajo de titulación, se basó, en conocer el tipo de suelo sobre el que se construyeron los edificios, y por medio del Espectro de Respuesta de cada ciudad de estudio, determinar la aceleración espectral que generaba el período de vibración de cada una de las estructuras, esto permitió ejecutar el método estadístico del Chi-Cuadrado, sobre independencia de variables, por lo que se concluye que, este grado de daño es independiente de la aceleración espectral y periodo de vibración que resulten en la estructura a causa del movimiento telúrico.

Al no tener dependencia estas variables, se puede decir que, existen otro tipo de factores que se deben tomar en cuenta para definir la clasificación del grado de daño de una estructura, porque básicamente este tipo de problemas, no ocurren directamente por el período de vibración de la estructura y a su vez la aceleración espectral.

RECOMENDACIONES

- Debido a que se hizo difícil el hecho de encontrar información en referencias bibliográficas sobre más edificios de cada ciudad y de esta manera tener una muestra más numerosa, se recomienda en un futuro, tratar de ir al lugar de los hechos y recabar información de los residentes de las ciudades y así obtener mayor número de datos para llegar a una respuesta más aproximada.
- Verificar el verdadero tipo de suelo sobre el que fue construido cada edificio por medio de pruebas in situ.
- Realizar el estudio conforme a otro tipo de construcciones y no solo edificios, por ejemplo, ampliar la muestra a puentes.
- Realizar un estudio sobre qué variables sí serían dependientes del grado de daño de la estructura y conocer la proporcionalidad que se generaría.

REFERENCIAS

- Bonifaz, H., & Haro, J. (2017). Tipos de perfil de suelo para diseño sísmico en Manta, Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez ciudades afectadas por el sismo del 16 Abril del 2016. *Proceedings of the "Third Annual State-of-the-Art in Civil Engineering Structures and Materials,"* October, 18. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Bonifaz_Garcia/publication/328367680_Docente-Investigador/links/5bc8c1aca6fdcc03c790933d/Docente-Investigador.pdf
- Bravo, E. (2017). "El sismo del 16 de abril en Manabí visto desde la ecología política del desastre". Junio, 2017. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4761/476151860010/html/index.html>
- Carchi, C (2019). "Revisión del comportamiento durante el sismo del 16 de abril de 2016 de edificios en hormigón armado afectados por el sismo del 13 de mayo de 1942 de abril de 2016 en Pedernales". Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil – UCSG, 2019. Obtenido de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12599/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-285.pdf>
- CNN Español (2016). "Las cifras de muertos y heridos se multiplican tras devastador terremoto en Ecuador" <https://cnnspanol.cnn.com/>. Abril, 2016. Obtenido de: <https://cnnspanol.cnn.com/2016/04/16/sismo-de-magnitud-74-sacude-ecuador/>
- El Diario Ec. (2016). "El colegio Mariana de Jesús funcionaría en el Cristo Rey en las tardes. El Diario Ecuador". Septiembre, 2016. Obtenido de: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/407521-edificio-la-previsoras-intervenido-con-obras-de-mamposteria/>
- El Diario Ec. (2016). El colegio Mariana de Jesús funcionaría en el Cristo Rey en las tardes. El Diario Ecuador. Abril, 2016. Obtenido de: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabiecuador/390070-el-colegio-mariana-de-jesus-funcionaria-en-el-cristo-rey-enlas-tardes/>
- El Diario Ec. (2017). El colegio Eloy Alfaro. El Diario Ecuador. Junio, 2017. Obtenido de: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/437251-el-colegio-eloyalfaro/>
- El Telégrafo. (2016). "En Tarqui las casas se hicieron con arena de mar" <https://www.eltelegrafo.com.ec/>. Abril, 2016. Obtenido de: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/en-tarqui-las-casas-se-hicieroncon-arena-de-mar>
- El Universo (2016). "SOS: Bomberos de Portoviejo, damnificados". Septiembre, 2016. Obtenido de: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/06/10/nota/5626170/sos-bomberos-portoviejo-damnificados/>
- Elbert, G (2018). "Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16" Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil – UCSG,2018. Obtenido de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11226/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-266.pdf>
- Farkas, J., & Jármai, K. (2008). Seismic Resistant Design. *Design and Optimization of Metal Structures*, 27–32. Obtenido de:

<https://doi.org/10.1533/9781782420477.27>

- IG-EPN. (2016). <https://www.igepn.edu.ec>. Obtenido de: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1330-informe-sismico-especial-n-19-2016>
- MANABÍ, ECUADOR. Septiembre, 2017. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/320433596_AMENAZA_SISMICA_MICROZONIFICACION_SISMICA_Y_ESPECTROS_DE_DISENO_DE_LA_CIUADAD_DE_PEDERNALES_MANABI_ECUADOR
- Martínez, León, et al. (2017). AMENAZA SÍSMICA, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ESPECTROS DE DISEÑO DE LA CIUDAD DE PEDERNALES, NEC. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NECSE-DS.pdf>
- Nikolaou, S., Vera-Grunauer, X., and Gilsanz, R., eds. (2016). "GEER-ATC Earthquake Reconnaissance: April 16 2016, Muisne, Ecuador," Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association Report GEER049, Version 1, October 2016. Obtenido de: http://www.geerassociation.org/component/geer_reports/?view=geerreports&id=77&layout=default
- NTI, I. (2016). Demolición de edificios en la U. Eloy Alfaro de Manabí. Oromar televisión. Agosto, 2016. Obtenido de: <http://oromartv.com/demolicion-en-algunos-edificios-dela-uleam-manta/>
- Sabagay, D. (2021). "Influencia de la irregularidad en planta en daños en edificios durante sismos en Ecuador" Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil – UCSG, 2021. Obtenido de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16614/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-399.pdf>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2016). Informe de Situación N° 65 - Terremoto 7.8° - Pedernales. *Secretaría de Gestión de Riesgos*, 16058(7), 1–17. Obtenido de: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situación-n°65-especial-16-05-20161.pdf>
- Tribuna Noticias (2016). "Más de un millón, los afectados por terremoto en Ecuador: ONU" Abril, 2016. Obtenido de: <https://web.archive.org/web/20160422101051/http://www.tribunanoticias.mx/2016/04/17/mas-de-un-millon-los-afectados-por-terremoto-en-ecuador-onu/>
- Universidad complutense de Madrid. (2012). La muestra aleatoria Parámetros y estadísticos. *Población Y Muestra*. Obtenido de: https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-54183/APUNTES_ESTADÍSTICA_3.pdf
- Vergara, J (2020). "desempeño de edificios especiales durante sismos en Ecuador - caso de estudio escuelas y centros de educación en la provincia de Manabí". Febrero, 2021. Obtenido de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14423/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-342.pdf>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Gaviria Mendoza, Arianna Teresa**, con C.C: # **1316264389** autor/a del trabajo de titulación: **Relación estadística de la coincidencia del período de vibración de suelos y edificios con el grado de daños de edificios durante el sismo del 16 de abril de 2016 en la Costa del Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniera 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, **15 de septiembre de 2021**

f. _____

Nombre: **Gaviria Mendoza, Arianna Teresa**

C.C: **1316264389**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Relación estadística de la coincidencia del período de vibración de suelos y edificios con el grado de daños de edificios durante el sismo del 16 de abril de 2016 en la Costa del Ecuador		
AUTOR(ES)	Gaviria Mendoza, Arianna Teresa		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, M. Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	95
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sísmica, Estructuras, Construcción, Geotecnia		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	<i>sismo, edificios, grado de daño, período de vibración, aceleración espectral, hipótesis</i>		
RESUMEN (150-250 palabras):	<p>El estudio se realizó con una muestra total de 50 edificios, los cuales fueron afectados durante el terremoto de magnitud 7.8 Mw, del 16 de abril del 2016, ocurrido en la ciudad de Pedernales (Costa Ecuatoriana). Dichas edificaciones, pertenecientes a cinco ciudades de esta región: Pedernales, Chone, Portoviejo, Manta y Guayaquil. Para el análisis estadístico, fue necesario reconocer las características de la muestra, como período de vibración, tipo de suelo y grado de daño generado, información recabada de trabajos de titulación pasados, cálculos siguiendo el reglamento NEC – 15 y con los mapas de zonificación de suelos de cada ciudad; de esta manera, poder calcular la aceleración espectral por medio del Espectro de Respuesta de cada una de las ciudades durante el sismo. Este último dato sirvió para realizar la comprobación de la hipótesis “La clasificación del grado de daño en moderado o grave es independiente de Sa” mediante el método del Chi-Cuadrado de independencia de datos. De esta manera, se llegó a los resultados esperados y se efectuaron las respectivas conclusiones y recomendaciones.</p>		
ADJUNTO PDF:	SI	NO	
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593996139579	E-mail: teregaviria98@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			