

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Estudios de las causas de demolición de edificios afectados
por el sismo del 16 de abril de 2016 en Chone**

AUTOR:

Vanegas Pinos, Juan Pablo

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

TUTOR:

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, MSc

Guayaquil, Ecuador

7 de septiembre del 2018



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 **Vanegas Pinos, Juan Pablo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, MSc

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, MSc

Guayaquil, a los 7 días del mes de septiembre del año 2018



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Vanegas Pinos, Juan Pablo**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estudios de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Chone** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 7 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

f. _____
Vanegas Pinos, Juan Pablo



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Vanegas Pinos, Juan Pablo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estudios de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Chone**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 7 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR:

f. _____
Vanegas Pinos, Juan Pablo

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO JUAN VANEGAS1.pdf (D41117508)
Submitted: 9/3/2018 8:09:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 3 %

Sources included in the report:

20151201 Julio Campaña Guarderas.docx (D16517734)
Tesis correccion urkund.docx (D16651204)
<http://eldiariodechihuahua.mx/Local/2017/10/12/disfrutan-cientos-de-mapping-en-el-centro-de-la-ciudad/>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10126/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-223.pdf>

Instances where selected sources appear:

16

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a mis padres, por darme las herramientas para construir mi futuro.

A mis hermanos, porque con su ejemplo me han mostrado el camino para no darme por vencido y alcanzar mis metas.

A mis tíos, primos y abuelos, porque su cariño y consejo han sido parte importante de mi vida tanto personal como académica; y,

A Nicole Velásquez, por su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida.



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

f. _____

Ing. Alex Raúl Villacrés Sánchez, MSc
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, MSc
DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Jaime Hernández Barredo, MSc
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. José Barros Cabezas, MSc
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

1. Capítulo I: Introducción	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivos generales	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Alcance	3
1.5. Metodología	3
2. Capítulo II: Extracción de información	5
2.1. Recopilación de información de periódicos, revistas y páginas webs	6
2.1.1. Diario El Universo	6
2.1.2. Diario El Comercio	6
2.1.3. Diario El Diario	7
2.1.4. Revista de Manabí	8
2.1.5. Blog Ecuador 221	8
2.2. Selección de edificios demolidos en Chone	9
3. Capítulo III: Norma Ecuatoriana de la Construcción	10
3.1. Código Ecuatoriano de la Construcción -79 (CEC-79)	10
3.1.1. Coeficiente sísmico (Cs)	10
3.1.2. Factor de importancia (Coeficiente I)	11
3.1.3. Factor de fuerza horizontal “K” para edificios u otras estructuras	11

3.1.4.	Coeficiente numérico (C).....	12
3.1.5.	Periodo fundamental de vibración de la estructura	13
3.1.6.	Coeficiente numérico de resonancia entre la estructura y el sitio (S)	13
3.1.7.	Coeficiente sísmico	13
3.2.	Código Ecuatoriano de la Construcción -2002 (CEC-02).....	13
3.2.1.	Zonas sísmicas y factor de zona “z”	13
3.2.2.	Geología local y perfiles de suelo. Coeficiente “S” y “Cm”	14
3.2.3.	Periodo de vibración	14
3.2.4.	Espectro Sísmico elástico de diseño	15
3.2.5.	Factor de importancia (I)	15
3.2.6.	Coeficiente sísmico (Cs)	16
3.2.7.	Coeficiente de configuración estructural en planta y elevación.....	16
3.3.	Norma Ecuatoriana de Construcción - 2015	18
3.3.1.	Determinación de la zonificación sísmica y factor “z”	18
3.3.2.	Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico	18
3.3.3.	Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs	20
3.3.4.	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.....	21
3.3.5.	Periodo de vibración	23
3.3.6.	Espectro elástico de desplazamiento	23
3.3.7.	Deriva máxima.....	24
4.	Capítulo IV: Estudio de edificaciones demolidas	25
4.1.	Cuerpo de Bomberos de Chone.....	25

4.2.	Registro de la Propiedad de Chone.....	27
4.3.	Centro Comercial de Chone	29
4.4.	Salón de Actos del municipio	31
4.5.	Hospital Napoleón Dávila de Chone (IEES).....	34
5.	Capítulo V: Memoria de Cálculo	37
5.1.	Determinación de parámetros de la Estación de Chone	37
5.1.1.	Determinación del tipo de suelo	37
5.1.2.	Aceleración Real del sismo de 16 de abril de 2016 en suelo tipo “D”.....	37
5.1.3.	Determinación del coeficiente de zonificación “Z”	38
5.2.	Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones según NEC-15.....	38
5.2.1.	Espectro elástico de respuesta para un suelo tipo “D”	38
5.2.2.	Espectro elástico de respuesta para un suelo tipo “E”	39
5.3.	Cálculos de las estructuras a evaluar.....	40
5.3.2.	Estructura Cuerpo de Bomberos	41
5.3.3.	Centro Comercial Municipal	43
5.3.4.	Registro de la Propiedad	45
5.3.5.	Salón de la ciudad.....	47
5.3.6.	Hospital Napoleón Dávila Córdova	50
5.4.	Método aproximado para el cálculo de deriva de piso por Eduardo Miranda	52
5.4.1.	Deriva aproximada del Cuerpo de Bomberos	53
5.4.2.	Deriva aproximada del Centro Comercial Municipal	54

5.4.3.	Deriva aproximada del Registro de la Propiedad	54
5.4.4.	Deriva aproximada del Salón de la Ciudad	55
5.4.5.	Deriva aproximada del Hospital Napoleón Dávila	55
5.5.	Método aproximado para la estimación de deriva mediante el tipo de daño en las paredes de mampostería	56
5.5.1.	Estado de Daño 1	57
5.5.2.	Estado de Daño 2	58
5.5.3.	Estado de Daño 3	59
5.5.4.	Cuerpo de Bomberos.....	60
5.5.5.	Registro de la propiedad.....	60
5.5.6.	Centro comercial municipal.	60
5.5.7.	Salón de la ciudad.....	60
5.5.8.	Hospital Napoleón Dávila.....	60
6.	Conclusiones y Recomendaciones.....	61
6.1.	Conclusiones.....	61
6.1.1.	Cuerpo de Bomberos.....	61
6.1.2.	Registro de la propiedad	62
6.1.3.	Centro comercial municipal	63
6.1.4.	Salón de la Ciudad	64
6.1.5.	Hospital Napoleón Dávila.....	65
6.2.	Recomendaciones.....	66
7.	Bibliografía.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros para calcular coeficiente sísmico.....	10
Tabla 2: Factor de Importancia según el CEC-79.....	11
Tabla 3: Valor K CEC-79.....	12
Tabla 4: Determinación de S y Cm.....	14
Tabla 5: Factor de importancia CEC-02.....	15
Tabla 6: Factor de Reducción CEC-02.....	17
Tabla 7: Tipos de perfiles de suelos.....	19
Tabla 8: Parámetros para el espectro de aceleración.....	22
Tabla 9: Velocidad de Onda en la Estación de Chone.....	37
Tabla 10: Parametros de estructuras evaluar.....	40
Tabla 11: Características de la estructura Cuerpo de Bomberos.....	61
Tabla 12: Características de la estructura Registro de la Propiedad de Chone	62
Tabla 13: Características de la estructura Centro Comercial Municipal.....	63
Tabla 14: Características de la estructura Salón de la Ciudad.....	64
Tabla 15: Características de la estructura Hospital Napoleón Dávila.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto (escala EMS-98). Se indican además las señales de los acelerógrafos que evidencian la aceleración con la que se movió el suelo y que se relaciona con los efectos observados (intensidad) en estos sectores.....	5
Ilustración 2: Fotografía del diario El Universo	6
Ilustración 3: Fotografía del diario El Comercio.....	7
Ilustración 4: Fotografía del diario El Diario	7
Ilustración 5: Fotografía de la Revista de Manabí.....	8
Ilustración 6: Fotografía del Blog Ecuador 221	9
Ilustración 7: Zonas sísmica del Ecuador CEC-02.	14
Ilustración 8: Parámetros para el cálculo del periodo de vibración	15
Ilustración 9: Espectro de diseño sísmico	15
Ilustración 10: Componentes para la obtención del coeficiente sísmico.....	16
Ilustración 11: Coeficiente de configuración estructural en planta y elevación.	17
Ilustración 12: Mapa de zonas sísmicas del Ecuador y valor “z”	18
Ilustración 13: Coeficientes de ampliación de suelo F_a	20
Ilustración 14: Coeficiente factor de sitio F_d	20
Ilustración 15: Coeficiente comportamiento no lineal del suelo F_s	21
Ilustración 16: Espectro Elástico de aceleración (S_a (g))	21
Ilustración 17: Fórmula para el periodo de vibración.....	23
Ilustración 18: Selección del coeficiente (C_t) y α para obtener el periodo de vibración, dependiendo de tipo de estructura.	23

Ilustración 19: Espectro elástico de desplazamiento	23
Ilustración 20: Parámetros para determinar el espectro elástico de desplazamiento	24
Ilustración 21: Límites de derivas	24
Ilustración 22: Ubicación de Cuerpo de Bomberos	25
Ilustración 23: Cuerpo de Bomberos Chone	26
Ilustración 24: Daños estructurales del Cuerpo de Bomberos	27
Ilustración 25 Ubicación del Registro de la Propiedad	27
Ilustración 26: Registro de la propiedad de Chone	28
Ilustración 27: Daños estructurales en Registro de la Propiedad.....	28
Ilustración 28: Centro Comercial Municipal de Chone	29
Ilustración 29: a) Columna del bloque de mariscos; b) Falla del hormigón en columna en el bloque de mariscos; c) Estudio de esclerometría.	30
Ilustración 30: a) Falla por corte en nudo de vigas y columnas principales; b) Rotura de columnas principal; c) Fractura de mamposterías.	31
Ilustración 31: Ubicación del Salon de la Ciudad de Chone	31
Ilustración 32: Salón de la Ciudad de Chone	32
Ilustración 33: Daños en la estructura	33
Ilustración 34: Daños en la estructura	33
Ilustración 35: Ubicación del Hospital Napoleón Dávila	34
Ilustración 36: Hospital Napoleón Dávila	34
Ilustración 37: Mampostería y cielo raso colapsado.....	35
Ilustración 38: Daños en columnas y vigas	36
Ilustración 39: Daños Estructurales	36

Ilustración 40: Aceleración Dirección E-W	37
Ilustración 41: Aceleración Dirección N-S	38
Ilustración 42: Registro de aceleración en la estación en la ciudad de Chone.	38
Ilustración 43: Espectro de Respuesta elástico de aceleración suelo tipo D para el sismo 16 de abril del 2016 en Chone $S_a = 0.702g$	39
Ilustración 44: Espectro de Respuesta elástico de aceleración suelo tipo E para el sismo 16 de abril del 2016 en Chone $S_a = 0.675g$	40
Ilustración 45: Tipo de Deformaciones	52
Ilustración 46: Porcentaje de IDR	53
Ilustración 47: Daño Tipo 1	57
Ilustración 48 Curva porcentaje de daño de pared	58
Ilustración 49: Daño Tipo 2	58
Ilustración 50: Curva porcentaje de daño de pared	59
Ilustración 51: Daño Tipo 3	59
Ilustración 52: Curva porcentaje de daño de pared	60

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objeto determinar si los edificios que se demolieron como consecuencia del sismo del 16 de abril de 2016 en la ciudad de Chone, Provincia de Manabí, sufrieron daños estructurales importantes que ameritaban dicha demolición; lo anterior se estudiará desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, teniendo en cuenta criterios como el de peligro sísmico y diseño sismo resistente regulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente en comparación con el Código Ecuatoriano de la Construcción aplicable en el año de construcción de cada edificio, deriva inelástica por el método de Eduardo Miranda, PhD. También se analizarán espectros elásticos de aceleración y desplazamiento para cada sitio de implantación de los edificios, así como la aceleración y el desplazamiento elásticos correspondientes a un sistema de 1 GDL con período de vibración igual al de los edificios y la deriva inelástica máxima de los edificios durante el sismo, con el conocimiento de la deriva plástica y el factor efectivo de reducción de la respuesta elástica. Así como con las observaciones de daños, se elaborarán las conclusiones de cada caso, resolviendo así, si teniendo en cuenta los criterios de la Ingeniería Civil se debieron realizar o no las demoliciones.

Palabras claves: *Ecuador, Manabí, Chone, Terremoto, Sismos, Demoliciones, Daños estructurales.*

ABSTRACT

The purpose of the present titration work is to determine if the buildings that were demolished in the city of Chone, Manabi province, after the April 16 earthquake, had their structural integrity at risk so that the demolitions were justified. The analysis is going to be developed under some engineering criteria as the following, seismic risk and earthquake-resistant design considered in the current Ecuadorian Construction Standard which is going to be contrasted with the Ecuadorian Construction Code, given that it was the code in use when the buildings analyzed in the present work were constructed. It will also be analyzed, inelastic drift by the method of Eduardo Miranda, PhD. Acceleration and displacement elastic spectrums will also be analyzed for each site, as well as the acceleration and displacement of the systems corresponding to a system of 1 GDL with a period of vibration equal to that of buildings and the maximum inelastic drift of the buildings during the earthquake, with the knowledge of the plastic drift and the elastic response effective reduction factor. The conclusions of each case will be elaborated, defining if the demolition was justified or not from the criterion of Civil Engineering

Key words: *Ecuador, Manabí, Chone, Earthquake, Demolitions, Structural damage.*

1. Capítulo I: Introducción

1.1. Antecedentes

El 16 de abril de 2016 a las 18:58 el Ecuador sufrió un sismo de magnitud de 7.8 en la escala de Magnitud de Momento Sísmico (Mw) cuyo epicentro fue ubicado en el cantón Muisne, el cual sacudió a las provincias como: Manabí, Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y Santo Domingo, entre otras.

En todas las provincias sus estructuras sufrieron daño, algunas solo tuvieron daños en mampostería otras si reflejaban daños estructurales severos. El grado de daño estructural depende del comportamiento que tuvo frente al sismo, es decir si la estructura pudo distribuir los esfuerzos debidos al terreno y que el terreno pueda soportar los esfuerzos que la estructura le induce.

Para determinar la respuesta de la estructura frente al sismo algunos de los aspectos a analizar son servicio y resistencia. El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) reunió técnicos especializados en el área para determinar el desempeño de las estructuras y registrar los daños de éstas, y así poder concluir cuáles estructuras sufrieron un daño parcial que solo necesitarían reforzamiento en dichas áreas o cuáles sufrieron severos daños estructurales que no hubo otra opción más que demoler la estructura.

1.2. Justificación

Después de sismo 16 de abril de 2016 muchas estructuras sufrieron daños, por ende, se hicieron evaluaciones estructurales para decidir si es posible realizar un reforzamiento o demoler dichas estructuras.

Este trabajo de investigación consiste en analizar por medio de distintos métodos como el método establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 y el método aproximado de la deriva máxima por Eduardo Miranda, si la decisión tomada de demolición fue debidamente sustentada.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos generales

Analizar y determinar desde el criterio de la ingeniería civil, si los daños estructurales de los edificios demolidos en la ciudad de Chone tras el sismo ocurrido el 16 de abril de 2016 justificaban la demolición de dichas estructuras en su totalidad.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el desempeño de las estructuras durante el sismo, teniendo en consideración las normas aplicables en el año de construcción de las mismas confrontada con la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente.
- Explicar los requisitos necesarios para que se realice una demolición en una estructura que se ve afectada por cargas extraordinarias, en este caso sismo.

1.4. Alcance

Se analizarán las causas de demolición de ciertos edificios en la ciudad de Chone tras el terremoto del 16 abril de 2016, tomando en consideración la gravedad de los daños estructurales y no estructurales que sufrieron los mismos y los requisitos de necesarios de seguridad determinados en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC – 15), para lo cual se estimara el período fundamental de vibración del edificio y los valores de la respuesta elástica de aceleración y desplazamiento correspondientes a un sistema de 1 grado de libertad (1 GDL) con período de vibración igual al de las estructuras. Adicional a lo antes mencionado, se tomara en cuenta también el método aproximado de deriva de entre piso por Eduardo Miranda.

Luego del antedicho análisis, determinaremos si los daños ocasionados a causa del terremoto justificaban la demolición de las estructuras estudiadas y si su rehabilitación no era posible.

1.5. Metodología

Por medio de la información recolectada que fue obtenida a través de las publicaciones en los diarios de amplia circulación nacional y en internet, así como la información extraída de los informes realizados por profesionales especializados, seleccionamos las edificaciones que serán parte del estudio del presente trabajo de titulación para analizar su desempeño durante el sismo y las causas de su demolición.

Como gestión complementaria para nuestra investigación, le solicitamos a las instituciones públicas y privadas encargadas de la demolición de los edificios afectados por el terremoto que nos faciliten la información obtenida como resultado de su estudio para determinar la demolición de las estructuras.

Utilizando la información recopilada, emplearemos el Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente de la NEC-15 para establecer los espectros elásticos de aceleración y desplazamiento para cada sitio de implantación de los edificios para el sismo del 16 de abril de 2016, así como la aceleración y el desplazamiento elásticos correspondientes a un sistema de 1 GDL con período de vibración igual al de los edificios y la deriva inelástica máxima de los edificios durante el sismo. Los valores obtenidos como resultado de los cálculos realizados se confrontarán con los valores permisibles según a la norma.

Adicionalmente, mediante el conocimiento del año de construcción de los edificios, se identificarán los códigos o normas aplicados en su diseño, con el correspondiente coeficiente de diseño sísmico.

Con los valores calculados, se encontrará el factor efectivo de reducción de la respuesta elástica para cada edificio, definido como la relación entre la aceleración elástica de un sistema de 1 GDL con período de vibración igual al del edificio y el coeficiente sísmico de diseño de la estructura.

Con el conocimiento de la deriva plástica y el factor efectivo de reducción de la respuesta elástica, así como con las observaciones de daños, determinaremos de forma casuística si las edificaciones merecían ser demolidas o simplemente rehabilitadas.

2. Capítulo II: Extracción de información

Ecuador sufrió un movimiento telúrico el 16 de abril de 2016 a las 18:58 pm, con una magnitud de 7,8 en la escala de Magnitud de Momento Sísmico (Mw), a 20 km de profundidad. Según Instituto Geofísico el epicentro se localizó en el cantón Muisne de la provincia de Esmeraldas y fue producto del desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa de Nazca (placa oceánica) que se sumerge bajo la Sudamericana (placa continental). A este proceso se lo llama subducción, y es el mismo fenómeno que produjo el terremoto del 31 de enero 1906 cuya magnitud registrada fue de 8.8, y es el más fuerte registrado en nuestro país.

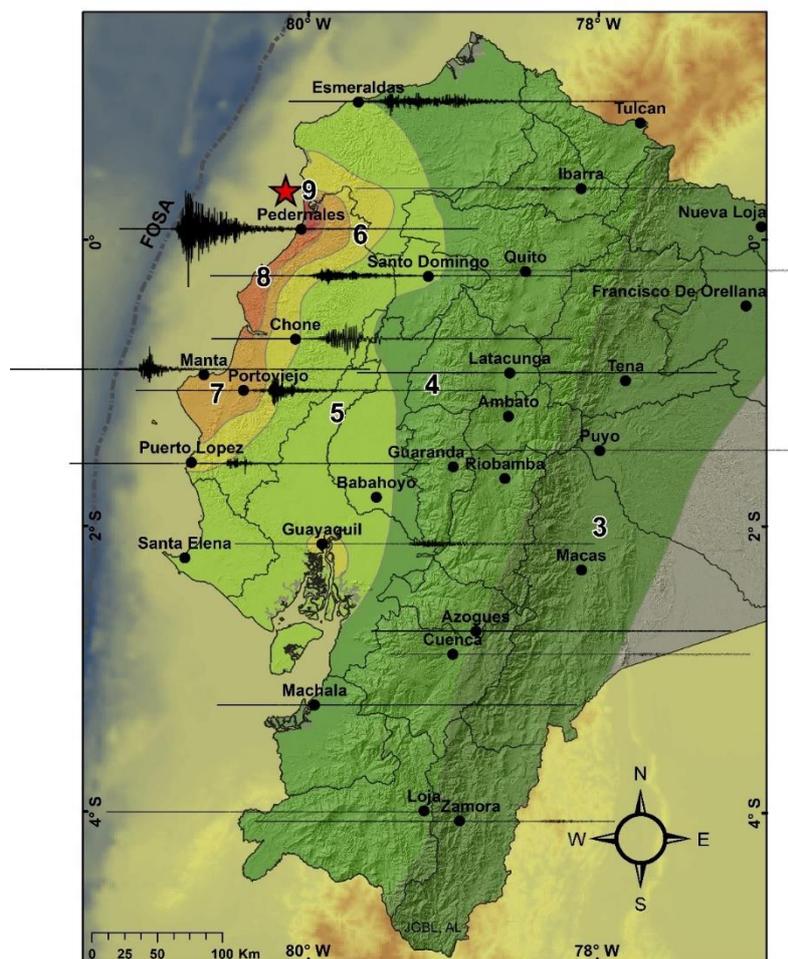


Ilustración 1: Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto (escala EMS-98). Se indican además las señales de los acelerógrafos que evidencian la aceleración con la que se movió el suelo y que se relaciona con los efectos observados (intensidad) en estos sectores.

(Instituto Geofísico de Escuela Politécnica Nacional, 2016)

Las provincias más afectadas fueron Manabí y Esmeraldas debido a que por su cercanía con el epicentro y la magnitud del terremoto, los edificios sufrieron graves daños tanto superficiales como estructurales.

En la ciudad de Chone debido a la intensidad del sismo, algunas edificaciones colapsaron, otras quedaron debilitadas con severos daños estructurales y como consecuencia de lo anterior tuvieron que ser rehabilitadas o demolidas en algunos casos. Debido a lo trascendental del acontecimiento, las demoliciones fueron documentadas en distintos diarios a nivel nacional y publicaciones en la web que sirvieron como fuente de información para nuestra investigación.

2.1. Recopilación de información de periódicos, revistas y páginas webs

2.1.1. Diario El Universo

El diario El Universo de Guayaquil, en varias publicaciones a lo largo del 2016 y 2017 dio a conocer a los ciudadanos sobre la situación de Chone haciendo público un informe elaborado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) cuyo resultado de evaluaciones parciales determinó que de tres mil trescientas tres edificaciones, setecientas treinta y ocho de ellas tienen daños estructurales y novecientas cuarenta y seis tiene acceso restringido, mientras que en mil seiscientos diecinueve no registraron daños según los reportes, con lo cual se hace notoria la gravedad del terremoto.



Ilustración 2: Fotografía del diario El Universo

(Diario El Universo, 2016)

2.1.2. Diario El Comercio

El diario El Comercio de Quito, dentro de su editorial reveló el informe del Comité de Operaciones Emergentes Cantonal (COE) que, según sus evaluaciones, el terremoto

tuvo como resultado en la ciudad de Chone dos fallecidos, más de doscientas personas heridas y un aproximado de cuatrocientas cincuenta casas deterioradas, también se observaron daños en paredes, cerramientos y postes de alumbrado público.

Este informe nos demuestra que la afectación en la ciudad de Chone fue a gran escala y que el terremoto dejó muchos daños.



Ilustración 3: Fotografía del diario El Comercio

(Diario El Comercio, 2016)

2.1.3. Diario El Diario

El diario “El Diario” de Portoviejo por medio de sus publicaciones dio a conocer que dentro del perímetro urbano de Chone serían demolidas diecisiete estructuras entre las cuales están el salón de actos del municipio, el Registro de la Propiedad, el Cuerpo de Bomberos y el mercado que son instituciones públicas.



Ilustración 4: Fotografía del diario El Diario

(Diario El Diario, 2016)

2.1.4. Revista de Manabí

La Revista de Manabí, informa que en la sala municipal de sesiones de Chone se llevó a cabo una reunión entre los directores departamentales de Obras Públicas; Planificación y Desarrollo Territorial; Proyectos; Servicios Públicos; Administración del Centro Comercial; Bomberos; Seguridad Ciudadana; Registro de la Propiedad y delegados de la compañía Tragsa de Quito, contratada por el Municipio para la demolición de varias estructuras de la ciudad que quedaron gravemente afectadas por el movimiento telúrico del 16 de abril de 2016 y se fueron debilitando cada vez más con las réplicas del mismo, no dejando otra opción que demoler las edificaciones.



Ilustración 5: Fotografía de la Revista de Manabí

(Revista de Manabí, 2016)

2.1.5. Blog Ecuador 221

En el Blog Ecuador 221, informa en su portal web la decisión de los profesionales encargados representantes del Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO) y los delegados de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (SNGR) de demoler el Cuerpo de Bomberos de Chone y el Registro de la Propiedad, debido a que las edificaciones sufrieron graves daños estructurales y no están en condiciones para atender a los usuarios por lo tanto estas instituciones públicas fueron trasladadas a otros sectores de la ciudad para no interrumpir su servicio a la ciudadanía.



Ilustración 6: Fotografía del Blog Ecuador 221

(Blog Ecuador 221,2016)

2.2. Selección de edificios demolidos en Chone

Una vez recopilada la información de los daños sufridos en la ciudad de Chone por el terremoto del 16 de abril de 2016, seleccionamos cinco edificaciones importantes para el estudio de la presente tesis las cuales tuvieron daños estructurales y no estructurales.

1. El salón de actos del municipio.
2. El Registro de la Propiedad.
3. El Cuerpo de Bomberos.
4. El Centro Comercial de Chone.
5. Hospital Napoleón Dávila.

Seleccionamos estas estructuras porque eran edificaciones esenciales o especiales y por lo tanto no debían fallar tras el sismo al nivel de quedar fuera de servicio. Nuestro objetivo va a ser determinar desde el criterio de la ingeniería civil, si los daños estructurales de los edificios demolidos justificaban o no el derrocamiento de los mismos.

3. Capítulo III: Norma Ecuatoriana de la Construcción

En la presente sección analizaremos el desempeño de las estructuras durante el sismo tomando como referencia el año de construcción de dichos edificios para identificar el código o norma aplicado en su diseño y hacer una confrontación con el capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente de la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente.

Como resultado del análisis de las normas obtendremos el factor efectivo de reducción de la respuesta elástica para cada edificio, definido como la relación entre la aceleración elástica de un sistema de 1 GDL con período de vibración igual al del edificio y el coeficiente sísmico de diseño de la estructura.

3.1. Código Ecuatoriano de la Construcción -79 (CEC-79)

3.1.1. Coeficiente sísmico (Cs)

Para conocer el coeficiente sísmico basándonos en el Código Ecuatoriano de la Construcción de 1979 (CEC-79) se emplea la siguiente ecuación:

- $C_s = I * K * C * S$

En la siguiente tabla 1 se aprecia los distintos parámetros con su respectiva descripción para realizar el cálculo y obtener el Coeficiente Sísmico.

Parámetros	Significado
I	Es el factor de importancia
K	Factor de fuerza horizontal "K" para edificios u otras estructuras.
C	Coeficiente numérico.
S	Coeficiente número de resonancia entre la estructura y el sitio

Tabla 1: Parámetros para calcular coeficiente sísmico.

(CEC, 1979)

3.1.2. Factor de importancia (Coeficiente I)

El coeficiente I depende de la importancia del edificio para su funcionamiento en la sociedad (CEC, 1979). En la tabla 2 se muestran los tipos de ocupación con su valor respectivo de importancia.

Tipo de ocupación	I
Servicios esenciales	1,5
Cualquier edificio donde la ocupación principal sea para reuniones de más de 300 personas (en una habitación)	1,25
Todas las demás.	1

Tabla 2: Factor de Importancia según el CEC-79.

(CEC, 1979)

3.1.3. Factor de fuerza horizontal “K” para edificios u otras estructuras

El factor K varía dependiendo del tipo de sistema estructural como se demuestra en la tabla 3

Valor K	Tipos de los elementos resistentes
1	Todos los sistemas aporricados de edificios, excepto aquellos que se clasifican a continuación.
1,33	Edificios con un sistema de caja.
0,8	Edificios con un doble sistema de arriostramiento que consiste en un pórtico espacial dúctil resistente a flexión y muros a corte o pórticos arriostrados, analizados para los tres criterios siguientes: <ul style="list-style-type: none"> 1. Los pórticos y los muros a corte o pórticos arriostrados deben resistir la fuerza lateral total en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción entre los muros a corte y los pórticos. 2. Los muros a corte o pórticos arriostrados, que actúan independientemente del pórtico espacial dúctil resistente a flexión deben resistir la fuerza lateral total requerida. 3. El pórtico espacial dúctil resistente a flexión debe tener la capacidad para resistir por lo menos el 25% de la fuerza lateral requerida.
0,67	Edificios con un pórtico espacial dúctil resistente a flexión diseñado de acuerdo con el siguiente criterio: el pórtico espacial dúctil resistente a flexión debe tener la capacidad para resistir la fuerza lateral total requerida.
2,5	Tanques elevados, más todo el contenido, apoyados en cuatro o más pilares arriostrados en cruz y no soportados por un edificio. (1), (2), (3), (4).
2	Estructuras que no sean edificios.

Tabla 3: Valor K CEC-79.

(CEC, 1979)

3.1.4. Coeficiente numérico (C)

A partir de la siguiente ecuación que depende del periodo de la estructura, se puede determinar el coeficiente C, tomando en consideración que no debe exceder de 0,12.

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

3.1.5. Periodo fundamental de vibración de la estructura

El periodo de vibración de la estructura se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{0,09h_n}{\sqrt{D}}$$

Los parámetros son: “ h_n ” la altura máxima de la estructura, y “ D ” la dimensión de la estructura en dirección paralela a las fuerzas aplicadas” (CEC, 1979).

3.1.6. Coeficiente numérico de resonancia entre la estructura y el sitio (S)

Para obtener el coeficiente de resonancia (S) es necesario conocer el periodo de vibración de la estructura (T) y el periodo característico del sitio (Ts). Según lo prescrito en el CEC-79, en el caso de no contar con la suficiente información se puede asumir que el valor de S es igual a 1.5.

3.1.7. Coeficiente sísmico

Para determinar el coeficiente sísmico es necesario multiplicar el coeficiente numérico (C) por el coeficiente de resonancia (S), y de acuerdo a lo establecido en el CEC-79, el mismo no debe exceder de 0,14.

3.2. Código Ecuatoriano de la Construcción -2002 (CEC-02)

3.2.1. Zonas sísmicas y factor de zona “z”

En el Código Ecuatoriano de la Construcción vigente en el año 2002 se establece que “El mapa de zonas sísmicas para propósitos de diseño incluido en el presente código proviene de un estudio completo que considera fundamentalmente los resultados de los estudios de peligro sísmico del Ecuador.” (CEC, 2002)

En la ilustración 7 se muestra la clasificación de las zonas sísmicas en nuestro país.

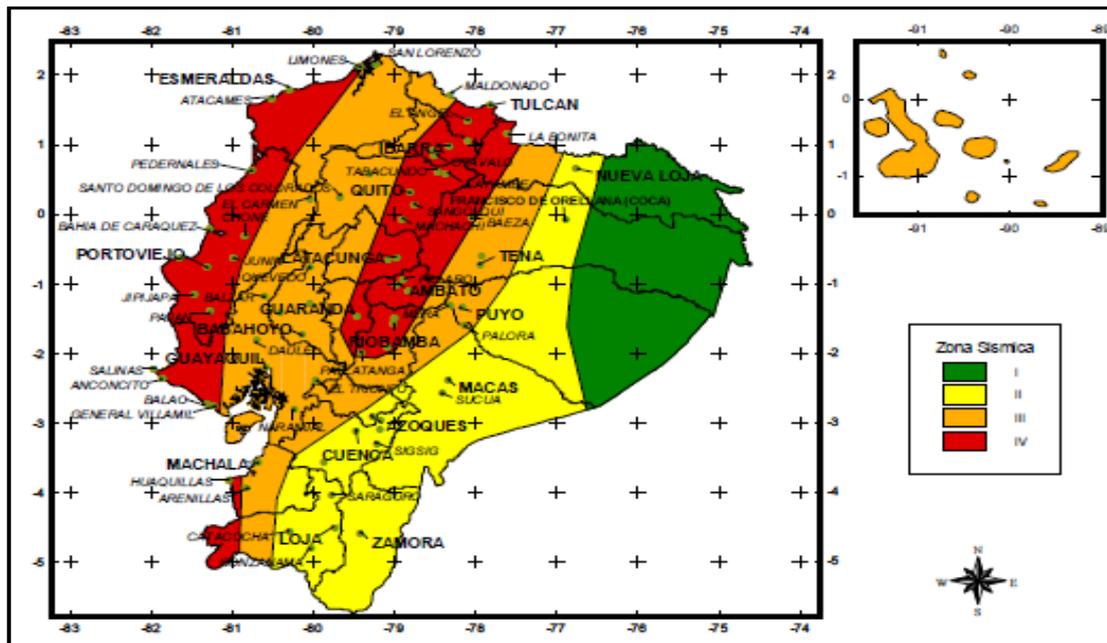


Ilustración 7: Zonas sísmica del Ecuador CEC-02.

(CEC, 2002)

3.2.2. Geología local y perfiles de suelo. Coeficiente “S” y “Cm”

Los coeficientes S y Cm dependen directamente de las condiciones geotécnicas del terreno en el cual se construirá la estructura. En la siguiente tabla se aprecian los diferentes tipos de terreno determinados en el CEC-02.

Perfil tipo	Descripción	S	Cm
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0*	2,5

Tabla 4: Determinación de “S” y “Cm”

(CEC, 2002)

3.2.3. Periodo de vibración

Según lo prescrito en el CEC - 02 la ecuación a emplearse para determinar de manera aproximada el valor T es la siguiente:

$$T = C t h n^{3/4}$$

Según la antedicha norma, los componentes de la ecuación son los establecidos en la ilustración 8.

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura
 $C_t = 0,09$ para pórticos de acero
 $C_t = 0,08$ para pórticos espaciales de hormigón armado
 $C_t = 0,06$ para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales y para otras estructuras

Ilustración 8: Parámetros para el cálculo del periodo de vibración

(CEC, 2002)

3.2.4. Espectro Sísmico elástico de diseño

El espectro elástico de diseño expresado en la ilustración 9 depende del periodo de vibración de la estructura y el tipo de suelo según lo establece la norma aplicable del 2002.

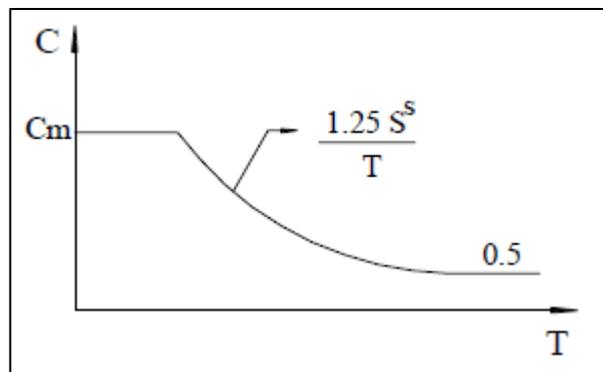


Ilustración 9: Espectro de diseño sísmico

(CEC, 2002)

3.2.5. Factor de importancia (I)

El coeficiente I depende del tipo de uso de la estructura según lo dispuesto por el CEC-02.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
1. Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación, transmisión y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

Tabla 5: Factor de importancia CEC-02

(CEC, 2002)

3.2.6. Coeficiente sísmico (Cs)

Según el CEC-02, para determinar el coeficiente sísmico se emplea la siguiente fórmula:

$$C_s = \frac{Z * I * C}{R * \Phi_P * \Phi_E}$$

Según la antedicha norma, los componentes de la ecuación son los establecidos en la ilustración 10

<p>C = No debe exceder del valor de Cm establecido en la tabla 3, no debe ser menor a 0,5 y puede utilizarse para cualquier estructura,</p> <p>S = Su valor y el de su exponente se obtienen de la tabla 3,</p> <p>R = Factor de reducción de respuesta estructural,</p> <p>Φ_P, Φ_E = Coeficientes de configuración estructural en planta y en elevación, respectivamente.</p>

Ilustración 10: Componentes para la obtención del coeficiente sísmico.

(CEC, 2002)

3.2.7. Coeficiente de configuración estructural en planta y elevación

Para definir tanto los coeficientes estructurales el CEC-02 informa que: *“El código incorpora factores penalizantes al diseño de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, debido a que la presencia de dichas irregularidades usualmente causa problemas en las estructuras ante la ocurrencia de un sismo.”* (CEC, 2002).

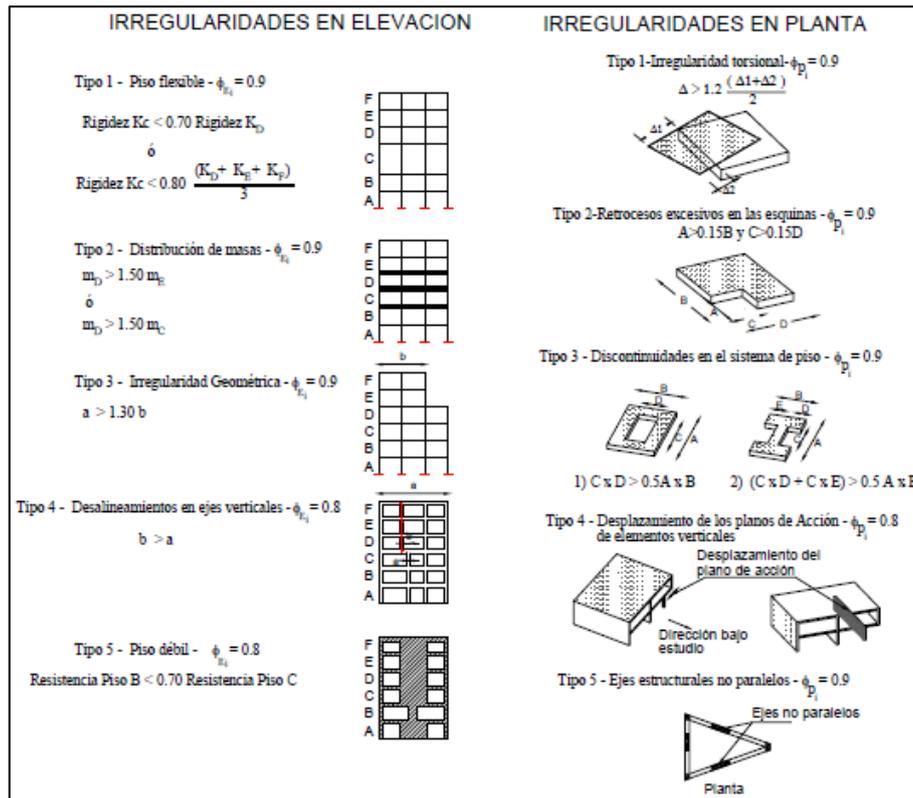


Ilustración 11: Coeficiente de configuración estructural en planta y elevación.

(CEC, 2002)

3.2.8. Factor de reducción sísmico R

El factor de reducción sísmica depende del sistema estructural a emplearse, para lo cual la norma CEC-02 ha establecido ciertos valores referenciales a tomarse en consideración, los mismos que se muestran en la tabla 6.

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras.*	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7
Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

Tabla 6: Factor de Reducción CEC-02

(CEC, 2002)

3.3. Norma Ecuatoriana de Construcción - 2015

3.3.1. Determinación de la zonificación sísmica y factor “z”

En concordancia con la Norma Ecuatoriana de Construcción vigente, el factor de zonificación sísmica z depende de la vulnerabilidad sísmica, los cuales en nuestro país están divididos en seis zonas como se demuestra en la ilustración siguiente:

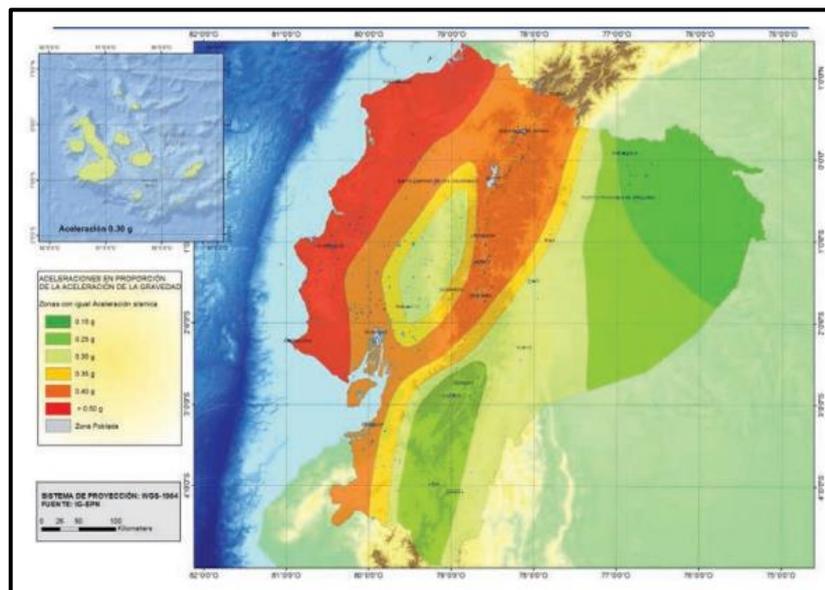


Ilustración 12: Mapa de zonas sísmicas del Ecuador y valor “z”

(NEC-SE-DS, 2015)

3.3.2. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

La norma ecuatoriana de la construcción establece que existen seis tipos de suelos A, B, C, D, E, y F, los cuales se pueden determinar mediante la velocidad de onda (V_s) o número de golpes, excepto el tipo de suelo F, el cual necesita una evaluación in situ por un profesional especializado. En la tabla 7 se aprecian los tipos de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>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.</p> <p>F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)</p> <p>F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)</p> <p>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.</p> <p>F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.</p>	

Tabla 7: Tipos de perfiles de suelos

(NEC-SE-DS, 2015)

3.3.3. Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción se establece lo siguiente:

“Fa. - Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.” (NEC-SE-DS, 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Ilustración 13: Coeficientes de amplificación de suelo Fa.

(NEC-SE-DS, 2015)

“Fd. - Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.” (NEC-SE-DS, 2015).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Ilustración 14: Coeficiente factor de sitio Fd.

(NEC-SE-DS, 2015)

“**Fs.-** Comportamiento no lineal de los suelos. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.” (NEC-SE-DS, 2015).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Ilustración 15: Coeficiente comportamiento no lineal del suelo F_s .

(NEC-SE-DS, 2015)

3.3.4. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

Según se establece en la norma vigente, “el espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, depende de los siguientes factores” ((NEC-SE-DS, 2015).

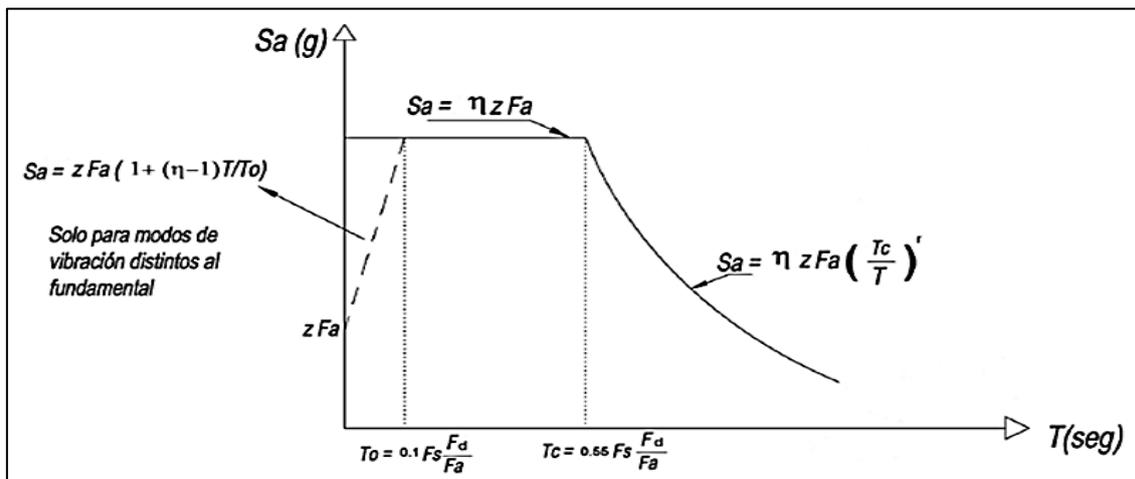


Ilustración 16: Espectro Elástico de aceleración (S_a (g))

(NEC-SE-DS, 2015)

A continuación, en la tabla 8 se detallan todos los parámetros aplicables para elaborar el espectro elástico de diseño.

Parámetros	Significado
η	Se basan de acuerdo con la región del Ecuador donde esta ubicada la estructura: $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas), $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_d	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 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
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura
T	Período fundamental de vibración de la estructura
T_o	Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
T_c	Período 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
r	Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto. $r = 1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E $r = 1.5$ para tipo de suelo E.

Tabla 8: Parámetros para el espectro de aceleración.

(NEC-SE-DS, 2015)

3.3.5. Periodo de vibración

Según lo prescrito en la Norma Ecuatoriana de Construcción vigente, la ecuación a emplearse para determinar de manera aproximada el valor T es la siguiente:

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Dónde:

C_t Coeficiente que depende del tipo de edificio

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

T Período de vibración

Ilustración 17: Fórmula para el periodo de vibración

(NEC-SE-DS, 2015)

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

Ilustración 18: Selección del coeficiente (C_t) y α para obtener el periodo de vibración, dependiendo de tipo de estructura.

(NEC-SE-DS, 2015)

3.3.6. Espectro elástico de desplazamiento

De acuerdo a la NEC, el espectro elástico de desplazamiento está en función del espectro de aceleraciones como se puede observar en las siguientes ilustraciones:

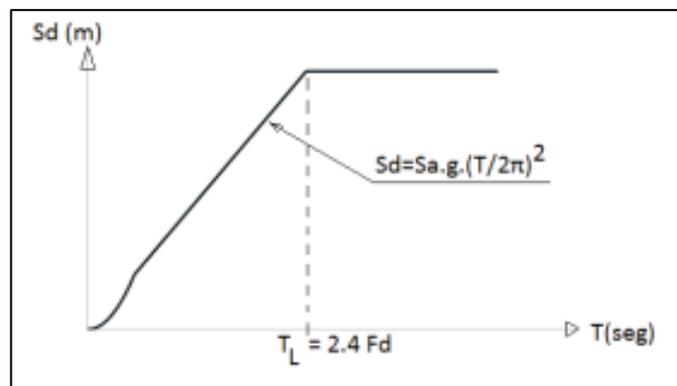


Ilustración 19: Espectro elástico de desplazamiento

(NEC-SE-DS, 2015)

$S_d = S_a(g) \cdot (T/2\pi)^2$	para	$0 \leq T \leq T_L$
$S_d = S_a(g) \cdot (T_L/2\pi)^2$	para	$T > T_L$
Dónde:		
g	Aceleración de la gravedad	
S_d	Es el espectro elástico de diseño de desplazamientos (definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura	

Ilustración 20: Parámetros para determinar el espectro elástico de desplazamiento

(NEC-SE-DS, 2015)

3.3.7. Deriva máxima

Según lo establecido en la norma correspondiente antes mencionada, los parámetros necesarios para estimar la deriva máxima son el espectro elástico de desplazamiento S_d , y la altura total de la estructura.

$$\Delta M = \frac{S_d}{H}$$

A la antedicha ecuación se la multiplica por 0,75 para obtener la deriva inelástica.

$$\Delta M = 0,75 * \frac{S_d}{H}$$

En la ilustración 21 muestra la deriva máxima permisible.

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

Ilustración 21: Límites de derivas

(NEC-SE-DS, 2015)

4. Capítulo IV: Estudio de edificaciones demolidas

La empresa MANAINGENIO S.A. realizó las evaluaciones estructurales a las edificaciones afectadas por el sismo de 16 de abril de 2016 en Chone, de cuyos resultados se obtuvo la siguiente información relacionada con las edificaciones objeto de estudio del presente trabajo de titulación.

4.1. Cuerpo de Bomberos de Chone

El Cuerpo de Bomberos de Chone se encontraba ubicado en el centro de la ciudad de Chone; el área de construcción corresponde aproximadamente a 850,62 m² contemplando los 2 bloques; este edificio fue construido hace aproximadamente 40 años.

- Edificación: Cuerpo de Bomberos de la Ciudad de Chone.
- Parroquia: Chone.
- Provincia: Manabí
- Cantón: Chone



Ilustración 22: Ubicación de Cuerpo de Bomberos

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 23: Cuerpo de Bomberos Chone

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

Esta edificación estuvo compuesta por un sistema aporticado de vigas-columnas y presentaba secciones de columnas iguales, menos en sus volados que presentaba vigas de sección variable.

De forma general en su primera planta tenía dimensiones de columnas de 30 cm x 30 cm y las vigas bandas que tenían dimensiones de base 30cm y altura 25cm, dimensiones que son iguales en todas las vigas principales.

Las losas eran del tipo reticular, aliviadas y armadas en dos direcciones con un espesor de 25 cm.

Esta estructura tuvo daños considerables en su mampostería y fuertes en sus elementos estructurales como las vigas, columnas, escaleras, y losas. Una de las razones era su baja resistencia a la compresión que es alrededor de 155,13 kg/cm² de acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo de esclerometría realizados por el Departamento de Ingeniería de Materiales de Construcción y Mecánica de suelos (Deimcomsu), de la Universidad Técnica de Manabí.



Ilustración 24: Daños estructurales del Cuerpo de Bomberos

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

4.2. Registro de la Propiedad de Chone

El Registro de la Propiedad, se encontraba ubicado en la zona urbana de Chone.

- Edificación: Registro de la Propiedad de Chone.
- Parroquia: Chone.
- Provincia: Manabí
- Cantón: Chone



Ilustración 25 Ubicación del Registro de la Propiedad

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 26: Registro de la propiedad de Chone

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

La estructura contaba con columnas de hormigón armado de 25 cm x 25 cm en el primer nivel, los dos últimos vanos tenían una losa de 20 cm y los restantes son de madera; en el nivel 2 contaba con columnas de hormigón armado de 20 cm x 20 cm y tenía estructura de metálica con correas tipo C.

Del resultado de los ensayos esclerométricos se determinó que la resistencia a la compresión de los elementos estructurales fue de 150 Kg/cm².



Ilustración 27: Daños estructurales en Registro de la Propiedad

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

4.3. Centro Comercial de Chone

El edificio del Centro Comercial Municipal se encontraba ubicado en la ciudad de Chone, el área de construcción corresponde aproximadamente a 6365 m².

- Edificación: Centro Comercial Municipal
- Parroquia: Chone
- Provincia: Manabí
- Cantón: Chone



Ilustración 26: Ubicación del Centro Comercial de Chone

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 28: Centro Comercial Municipal de Chone

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

La edificación del Centro Comercial Municipal de la ciudad de Chone estuvo compuesta por 7 bloques estructurales; el bloque de la calle Alajuela y el bloque

central cuenta con 2 niveles, el bloque de la calle Washington consta de 3 niveles; los bloques de feria libre, tienda y abarrotes, mariscos y pescados tienen un nivel y su cubierta es metálica.

Esta edificación estuvo compuesta por un sistema aporricado de vigas-columnas y presenta secciones de columnas de dimensiones variadas.

De forma general en su primer piso tenía dimensiones de columnas de 75 cm x 45 cm; en el segundo y tercer nivel sus columnas eran de 45 cm x 75 cm, todos los niveles de piso contaban con losas de espesor de 25 cm; la última losa contaba con cubierta metálica. En todos los niveles las losas contaban con volados en el sentido longitudinal y transversal, las vigas se encontraban embebidas en las losas de la edificación.

Del resultado de los ensayos esclerométricos se determinó que la resistencia a la compresión de los elementos estructurales fue de 216 Kg/cm².

Con relación a la cuantía de acero de los elementos estructurales que se escogieron de manera aleatoria se determinó un porcentaje de 1.644%

En este bloque sus elementos no estructurales sufrieron daños significativos, su mampostería conformada por ladrillos se encuentra en su totalidad agrietada, además sus instalaciones sanitarias y eléctricas quedaron en malas condiciones.

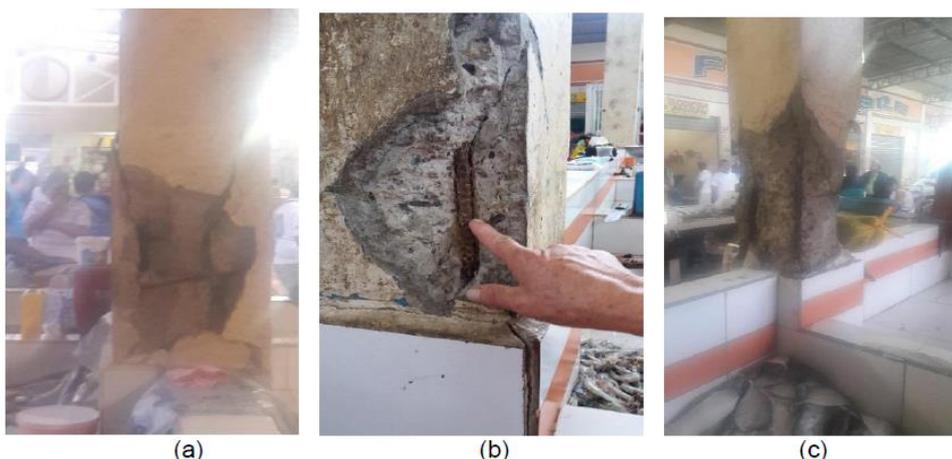


Ilustración 29: a) Columna del bloque de mariscos; b) Falla del hormigón en columna en el bloque de mariscos; c) Estudio de esclerometría.

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 30: a) Falla por corte en nudo de vigas y columnas principales; b) Rotura de columnas principal; c) Fractura de mamposterías.

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

4.4. Salón de Actos del municipio

El Salón de la Ciudad de Chone se encontraba ubicado en la calle Colón entre las calles Bolívar y Rocafuerte, frente al parque Central en el centro del Cantón Chone

Edificación: Salón de la Ciudad

- Zona: Calle Colón
- Parroquia: Chone
- Provincia: Manabí
- Cantón: Chone



Ilustración 31: Ubicación del Salon de la Ciudad de Chone

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 32: Salón de la Ciudad de Chone

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

El Salón de la Ciudad de Chone fue construido entre los años 1992 – 1996.

La estructura era de hormigón armado de tres niveles, con un área de construcción aproximada de 1200 metros cuadrado.

Esta edificación estuvo compuesta por un sistema aporticado de vigas-columnas y presentaba secciones de columnas y vigas de dimensiones variables.

De forma general la edificación presentaba irregularidad en las secciones de elementos estructurales, las dimensiones de columnas eran: 30x50cm y 50x120cm y las vigas tenían dimensiones de: 30cm de base y 30cm de altura y vigas de 50cm de base y 60cm de altura.

Las losas eran del tipo reticular, aliviadas y armadas en dos direcciones, en sus diferentes niveles y tenían espesor de 25 cm.

Del resultado de los ensayos esclerométricos se determinó que la resistencia a la compresión de los elementos estructurales fue de 243 Kg/cm².

Con relación a la cuantía de acero de los elementos estructurales que se escogieron de manera aleatoria se determinó un porcentaje de 1.69%

A continuación, se muestran fotografías donde se pueden observar los daños en la mampostería, que actualmente ya no existen porque colapsaron totalmente.



Ilustración 33: Daños en la estructura
(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 34: Daños en la estructura
(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

4.5. Hospital Napoleón Dávila de Chone (IEES)

El hospital se encontraba ubicado en una zona inundable lo cual hace que el suelo aparte de ser de mala calidad tenga un alto nivel freático lo cual ayudó a que las ondas sísmicas se amplificaran y afectaran en extremo considerable a la estructura por lo que también es necesario comentar la influencia que tuvo las diversas irregularidades en plantas y en elevaciones del edificio

- Zona: Av. Amazonas y Manuel de Jesús Álvarez.
- Parroquia: Chone
- Provincia: Manabí
- Cantón: Chone



Ilustración 35: Ubicación del Hospital Napoleón Dávila
(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 36: Hospital Napoleón Dávila
(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

La edificación en su totalidad sufrió daños estructurales representativos los cuales a la consultora MANAINGENIO S.A le permitieron obtener las siguientes conclusiones:

- Fallas por corte en nudos de columnas-vigas.
- Fallas por corte y flexión en vigas carteladas de losas.
- Los nervios de las losas presentan fallas de corte y compresión evidenciando desprendimiento de elementos principales.
- Las losas están desniveladas y agrietadas, con peligro evidente de colapso.
- Existen daños excesivos en elementos no estructurales como mampostería y cielo raso.
- La estructura mostro fuertes desplazamientos por lo que las derivas de piso fueron considerables causando los daños presentados.
- Por la acción de juntas de construcción inadecuadas y la separación muy escasa o inexistentes en las mismas provocó que los diferentes bloques chocaran causando daños en diferentes miembros estructurales y no estructurales.



Ilustración 37: Mampostería y cielo raso colapsado

(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 38: Daños en columnas y vigas
(Consultora Manaingenio S.A., 2016)



Ilustración 39: Daños Estructurales
(Consultora Manaingenio S.A., 2016)

5. Capítulo V: Memoria de Cálculo

5.1. Determinación de parámetros de la Estación de Chone

5.1.1. Determinación del tipo de suelo

En la estación de Chone del Instituto Geofísico Nacional se obtuvo una velocidad de onda $V_s = 200$ m/s.

Station	City	Geographic Coordinates		Elevation (m)	Instrument Type	Epicentral Distance (km)	V_{s30} (m/s)
		Latitude	Longitude				
AAM2	Ambato	-1.269	-78.611	2,664	Guralp	235	-
ACH1	Machala	-3.287	-79.910	13	Reftek	407	-
ACHN	Chone	-0.698	-80.084	18	Reftek	120	200
ACUE	Cuenca	-2.910	-78.959	2,578	Reftek	381	-
PDNS	Pedernales	0.111	-79.991	442	Kephren	29	-
APED	Pedernales	0.068	-80.057	15	Reftek	36	342
AV18	Quinde	0.313	-79.478	107	Reftek	52	-

Tabla 9: Velocidad de Onda en la Estación de Chone

(GEER Association, 2016)

De acuerdo a la tabla 7 de la NEC-15 con una velocidad de onda igual a 200 m/s, el tipo de suelo es “D”

5.1.2. Aceleración Real del sismo de 16 de abril de 2016 en suelo tipo “D”

Del reporte elaborado por “GEER Association” se obtuvo la aceleración en la dirección N-S y E-W:

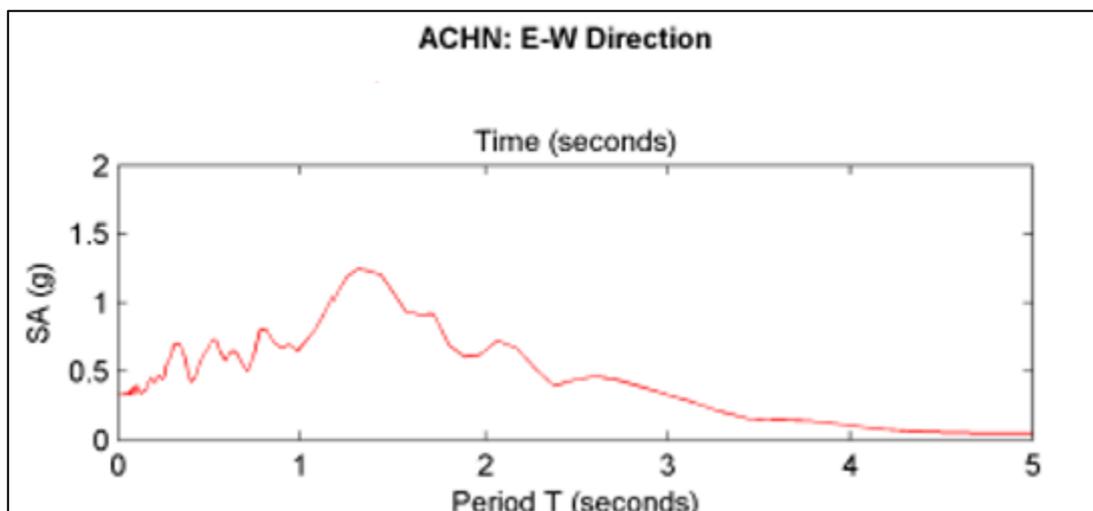


Ilustración 40: Aceleración Dirección E-W

(GEER Association, 2016)

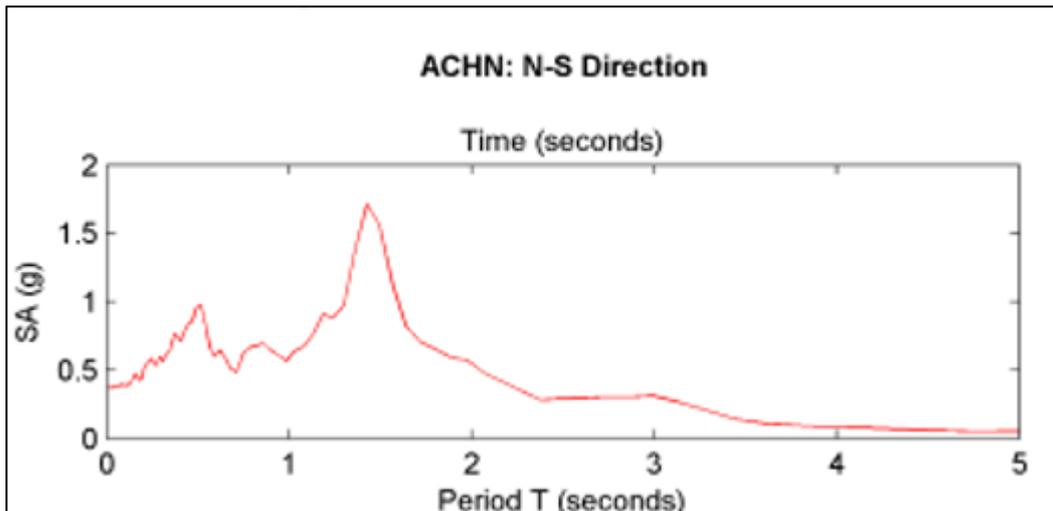


Ilustración 41: Aceleración Dirección N-S

(GEER Association, 2016)

5.1.3. Determinación del coeficiente de zonificación “Z”

Con el informe especial N. 18 – 2016 del Instituto Geofísico Nacional se obtuvo la aceleración máxima que se produjo en la superficie de la estación de Chone fue de **362.266 cm/s²** que es igual a **0.367g**

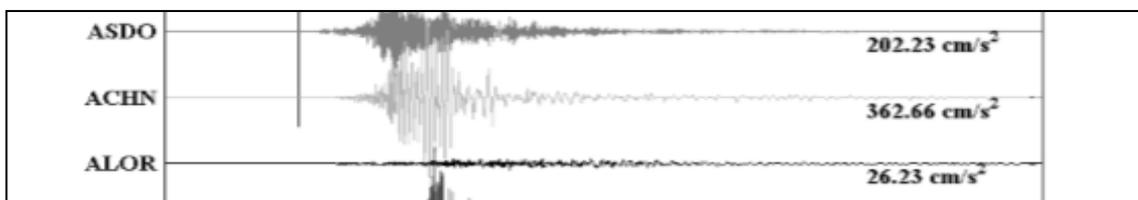


Ilustración 42: Registro de aceleración en la estación en la ciudad de Chone.

(Instituto Geofísico de Escuela Politécnica Nacional, 2016)

- $Fa * Z = 0.367g$
- Suelo Tipo “D” de acuerdo a la ilustración 13 el valor de $Fa=1.25$
- $Z = \left(\frac{0.367}{1.25}\right) = 0.293g \approx 0.30g$

Con esto se puede llegar a una conclusión y es que la aceleración en roca en Chone durante el sismo de 16 de abril de 2016 aproximadamente fue de 0.30g.

5.2. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones según NEC-15

5.2.1. Espectro elástico de respuesta para un suelo tipo “D”

Con los siguientes parámetros:

- Z que es el factor de zona sísmica el cual es 0.30g

- El tipo de suelo que en este caso es “D”
- Los coeficientes de amplificación de suelo los cuales son F_a , F_s y F_d .

En las ilustraciones 13, 14 y 15 obtenemos los siguientes valores:

- $F_a = 1.3$
- $F_d = 1.36$
- $F_s = 1.11$

Una vez que se obtuvieron estos valores, es necesario calcular los periodos límites los cuales son “ T_o ” y “ T_c ”.

- $T_o = 0.1 * F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.116 \text{ seg}$
- $T_c = 0.55 * F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.639 \text{ seg}$

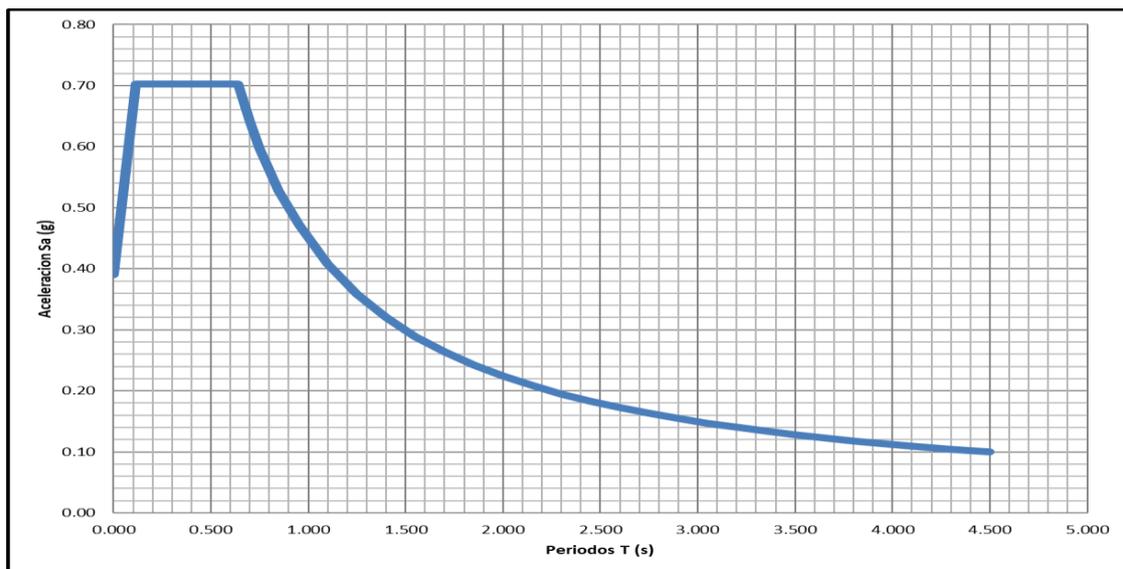


Ilustración 43: Espectro de Respuesta elástico de aceleración suelo tipo D para el sismo 16 de abril del 2016 en Chone $S_a = 0.702g$.

5.2.2. Espectro elástico de respuesta para un suelo tipo “E”

Con los siguientes parámetros:

- Z que es el factor de zona sísmica el cual es 0.30g
- El tipo de suelo que en este caso es “E”
- Los coeficientes de amplificación de suelo los cuales son F_a , F_s y F_d .

En las ilustraciones 13,14 y 15 obtenemos los siguientes valores:

- $F_a = 1.25$

- $F_d = 1.65$
- $F_s = 1.70$

Una vez que se obtuvo estos valores, es necesario calcular los periodos límites los cuales son “ T_o ” y “ T_c ”.

- $T_o = 0.1 * F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.231 \text{ seg}$
- $T_c = 0.55 * F_s \frac{F_d}{F_a} = 1.272 \text{ seg}$

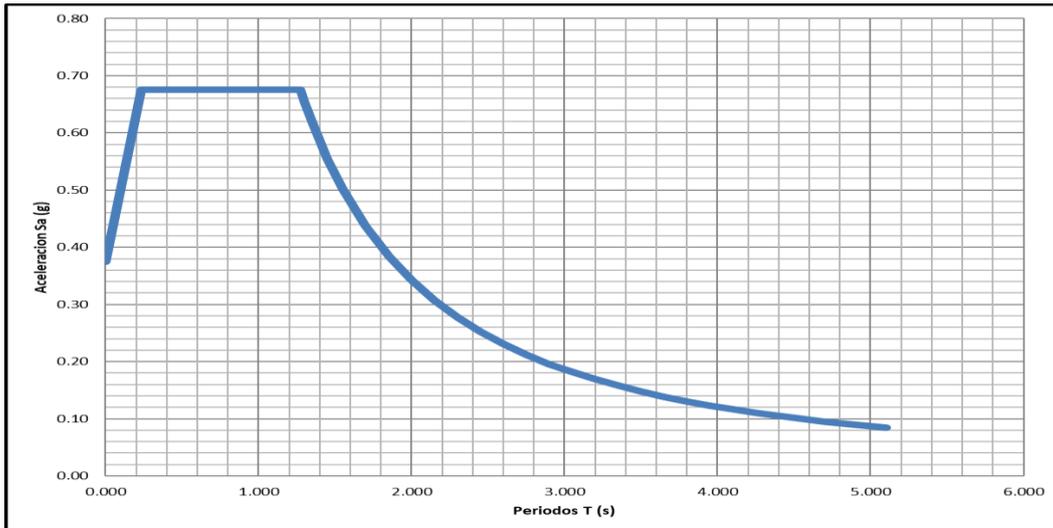


Ilustración 44: Espectro de Respuesta elástica de aceleración suelo tipo E para el sismo 16 de abril del 2016 en Chone $S_a = 0.675g$.

5.3. Cálculos de las estructuras a evaluar.

5.3.1. Tipo de Suelo y año de construcción de las estructuras a estudiar.

En base a los reportes realizados por la consultora MANAINGENIO S.A. se pudo obtener los siguientes parámetros:

No.	Estructura	Tipo de suelo	Año de construcción
1	Cuerpo de Bomberos	D	1981
2	Registro de la Propiedad	E	2003
3	Centro Comercial Municipal	D	1980
4	Hospital Napoleón Dávila	E	1979
5	Salón de la Ciudad	E	1994

Tabla 10: Parametros de estructuras evaluar

5.3.2. Estructura Cuerpo de Bomberos

5.3.2.1. Determinación del periodo fundamental de vibración de la estructura

De acuerdo a la NEC-15 para obtener un valor aproximado del periodo de vibración se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$T = ct * ht^{\alpha}$$

- α y ct dependen del tipo de estructura.
- Ht es la altura máxima de la estructura.

La estructura está conformada por pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, entonces de la ilustración 18:

- $\alpha = 0.9$
- $ct = 0.055$

Esta estructura tiene una altura de 8.8 metros.

$$T = ct * ht^{\alpha} = 0.055 * 8.8^{0.9} = 0.389 \text{ seg}$$

5.3.2.2. Determinación del espectro elástico de aceleración

Una vez obtenido el periodo fundamental de la estructura podemos calcular la aceleración de acuerdo a los límites T_0 y T_c .

$$T_0 \leq T \leq T_c$$

$$0.116 \leq 0.389 \leq 0.639$$

$$S_a = n * Z * F_a = 0.702g$$

$$S_{a_{\text{TERREMOTO-NEC-15}}} = 0.702 \text{ g}$$

5.3.2.3. Determinación espectro elástico de diseño en desplazamientos

Uno de los parámetros necesarios para obtener el espectro elástico de diseño en desplazamientos es T_L , el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$T_L = 2.4 * F_d$$

$$T_L = 2.4 * 1.36 = 3.264 \text{ seg}$$

$$T < T_L$$

$$S_d = S_a(g) \cdot (T/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,702 \times 9,81 \cdot (0,389/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,0263 \text{ metros}$$

5.3.2.4. Determinación de la deriva inelástica máxima de la estructura

$$\Delta M = \frac{S_d}{H} \times 0,75$$

$$\Delta M = \frac{0,0263}{8,8} \times 0,75$$

$$\Delta M = 0,22\%$$

5.3.2.5. Determinación del espectro de diseño de acuerdo al año de construcción de la estructura CEC-79

El periodo fundamental de vibración de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción de 1979 se lo encuentra aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{0,09h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = \frac{0,09 \times 8,8}{\sqrt{19,87}}$$

$$T = 0,197 \text{ seg}$$

Con el periodo fundamental de vibración procedemos a calcular el coeficiente numérico:

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0,197}}$$

$C = 0,15$ pero este valor no puede exceder de 0.12 por lo tanto $C = 0,12$

De acuerdo con el Código Ecuatoriano de la Construcción del año 1979 el valor en número de resonancia comprendida entre la estructura y el sitio es igual a 1,07.

$$CS \leq 0.14 \therefore CS = 0.12 * 1.07 = 0.1284$$

Para estimar el coeficiente sísmico necesitamos el factor de importancia de la estructura el cual es 1.5 en este caso y el factor k el cual es 1.

$$Cs = I * K * CS = 1.5 * 1 * 0.1284 = 0.1926$$

5.3.2.6. Determinación del factor de reducción efectivo

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{\text{Sa respuesta elástica del periodo de vibración de la estructura}}{Cs \text{ de diseño}} \right)$$

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{0,702}{0,1926} \right) = 3.64$$

5.3.3. Centro Comercial Municipal

5.3.3.1. Determinación del periodo fundamental de vibración de la estructura

De acuerdo a la NEC-15 para obtener un valor aproximado del periodo de vibración se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$T = ct * ht^\alpha$$

- α y ct dependen del tipo de estructura.
- H_t es la altura máxima de la estructura.

Esta estructura está conformada por pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, entonces de la ilustración 18:

- $\alpha = 0.9$
- $ct = 0.055$

Esta estructura tiene una altura de 10.2 metros.

$$T = ct * ht^\alpha = 0.055 * 10.2^{0.9} = 0.444 \text{ seg}$$

5.3.3.2. Determinación del espectro elástico de aceleración

Una vez obtenido el periodo fundamental de la estructura podemos calcular la aceleración de acuerdo a los límites T_o y T_c .

$$T_o \leq T \leq T_c$$

$$0.116 \leq 0.444 \leq 0.639$$

$$Sa = n * Z * Fa = 0.702g$$

$$S_{a_{\text{TERREMOTO-NEC-15}}} = 0.702 \text{ g}$$

5.3.3.3. Determinación espectro elástico de diseño en desplazamientos

Uno de los parámetros necesarios para obtener el espectro elástico de diseño en desplazamientos es TL, el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$TL = 2.4 * Fd$$

$$TL = 2.4 * 1.36 = 3.264 \text{ seg}$$

$$T < TL$$

$$S_d = S_a(g) \cdot (T/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,702 \times 9,81 \cdot (0,444/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,0343 \text{ metros}$$

5.3.3.4. Determinación de la deriva inelástica máxima de la estructura

$$\Delta M = \frac{S_d}{H} \times 0,75$$

$$\Delta M = \frac{0,0343}{10,2} \times 0,75$$

$$\Delta M = 0,25\%$$

5.3.3.5. Determinación del espectro de diseño de acuerdo al año de construcción de la estructura

El periodo fundamental de vibración de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción de 1979 se lo encuentra aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{0,09h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = 0.112 \text{ seg}$$

Con el periodo fundamental de vibración procedemos a calcular el coeficiente numérico:

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0,112}}$$

$C = 0,19$ pero este valor no puede exceder de 0.12 por lo tanto $C = 0.12$

De acuerdo con el Código Ecuatoriano de la Construcción del año 1979 el valor en número de resonancia comprendida entre la estructura y el sitio es igual a 1,07.

$$CS \leq 0.14 \therefore CS = 0.12 * 1.07 = 0.1284$$

Para estimar el coeficiente sísmico necesitamos el factor de importancia de la estructura el cual es 1.25 en este caso y el facto k el cual es 1.

$$C_s = I * K * CS = 1.25 * 1 * 0.1284 = 0.1605$$

5.3.3.6. Determinación del factor de reducción efectivo

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{\text{Sa respuesta elástico del periodo de vibración de la estructura}}{C_s \text{ de diseño}} \right)$$

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{0,702}{0,1605} \right) = 4.37$$

5.3.4. Registro de la Propiedad

5.3.4.1. Determinación del periodo fundamental de vibración de la estructura

De acuerdo a la NEC-15 para obtener un valor aproximado del periodo de vibración se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$T = ct * ht^\alpha$$

- α y ct dependen del tipo de estructura.
- H_t es la altura máxima de la estructura.

Esta estructura está conformada por pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, entonces de la ilustración 18:

- $\alpha = 0.9$
- $ct = 0.055$

Esta estructura tiene una altura de 8.8 metros.

$$T = ct * ht^\alpha = 0.055 * 5.8^{0.9} = 0.267 \text{ seg}$$

5.3.4.2. Determinación del espectro elástico de aceleración

Una vez obtenido el periodo fundamental de la estructura podemos calcular la aceleración de acuerdo a los límites T_0 y T_c .

$$T_0 \leq T \leq T_c$$

$$0.231 \leq 0.267 \leq 1.2$$

$$S_a = n * Z * F_a = 0.675g$$

$$S_{a_{\text{TERREMOTO-NEC-15}}} = 0.675 \text{ g}$$

5.3.4.3. Determinación espectro elástico de diseño en desplazamientos

Uno de los parámetros necesarios para obtener el espectro elástico de diseño en desplazamientos es T_L , el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$T_L = 2.4 * F_d$$

$$T_L = 2.4 * 1.65 = 3.96 \text{ seg}$$

$$T < T_L$$

$$S_d = S_a(g) * (T/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,675 \times 9,81 * (0.267/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,0195 \text{ metros}$$

5.3.4.4. Determinación de la deriva inelástica máxima de la estructura

$$\Delta M = \frac{S_d}{H} \times 0,75$$

$$\Delta M = \frac{0.01195}{5.8} \times 0,75$$

$$\Delta M = 0,15\%$$

5.3.4.5. Determinación del espectro de diseño de acuerdo al año de construcción de la estructura

El periodo fundamental de vibración de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción de 2002 se lo encuentra aplicando la siguiente fórmula:

$$T = C t (hn)^{3/4} = 0.08 * 5.8^{3/4} = 0,298 \text{ seg}$$

Coefficiente numérico, donde (S =1,5)

$$C = 1,25 * \frac{S^S}{T}$$

$$C \leq 2,8 = 1,25 * \frac{1.5^{1.5}}{0.298} = 7.70$$

$$C = 2,8$$

Coefficiente sísmico de diseño, se considera (I=1; $\phi P = \phi E = 1$; R=8; Z=0,3)

$$C_s = \frac{Z * I * C}{R * \phi P * \phi E} = \frac{0,4 * 1 * 2,8}{8 * 1 * 1} = 0,14$$

5.3.4.6. Determinación del factor de reducción efectivo

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{\text{Sa respuesta elástico del periodo de vibración de la estructura}}{C_s \text{ de diseño}} \right)$$

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{0,675}{0,14} \right) = 4.82$$

5.3.5. Salón de la ciudad

5.3.5.1. Determinación del periodo fundamental de vibración de la estructura

De acuerdo a la NEC-15 para obtener un valor aproximado del periodo de vibración se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$T = ct * ht^\alpha$$

- α y ct dependen del tipo de estructura.
- Ht es la altura máxima de la estructura.

Esta estructura está conformada por pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, entonces de la ilustración 18:

- $\alpha = 0.9$
- $ct = 0.055$

Esta estructura tiene una altura de 12.6 metros.

$$T = ct * ht^\alpha = 0.055 * 12.6^{0.9} = 0.537 \text{ seg}$$

5.3.5.2. Determinación del espectro elástico de aceleración

Una vez obtenido el periodo fundamental de la estructura podemos calcular la aceleración de acuerdo a los límites T_0 y T_c .

$$T_0 \leq T \leq T_c$$

$$0.231 \leq 0.537 \leq 1.2$$

$$S_a = n * Z * F_a = 0.675g$$

$$S_{a_{\text{TERREMOTO-NEC-15}}} = 0.675 \text{ g}$$

5.3.5.3. Determinación espectro elástico de diseño en desplazamientos

Uno de los parámetros necesarios para obtener el espectro elástico de diseño en desplazamientos es T_L , el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$T_L = 2.4 * F_d$$

$$T_L = 2.4 * 1.65 = 3.96 \text{ seg}$$

$$T < T_L$$

$$S_d = S_a(g) * (T/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,675 \times 9,81 * (0.537/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,0483 \text{ metros}$$

5.3.5.4. Determinación de la deriva máxima de la estructura

$$\Delta M = \frac{S_d}{H} \times 0,75$$

$$\Delta M = \frac{0.0483}{12.6} \times 0,75$$

$$\Delta M = 0,2875\%$$

5.3.5.5. Determinación del espectro de diseño de acuerdo al año de construcción de la estructura

El periodo fundamental de vibración de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción de 1979 se lo encuentra aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{0,09h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = 0.535 \text{ seg}$$

Con el periodo fundamental de vibración procedemos a calcular el coeficiente numérico:

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0,535}}$$

$$C = 0,091$$

De acuerdo con el Código Ecuatoriano de la Construcción del año 1979 el valor en número de resonancia comprendida entre la estructura y el sitio es igual a 1,5.

$$CS \leq 0.14 \therefore CS = 0.12 * 1.5 = 0.1365$$

Para estimar el coeficiente sísmico necesitamos el factor de importancia de la estructura el cual es 1.25 en este caso y el facto k el cual es 1.

$$Cs = I * K * CS = 1.25 * 1 * 0.1365 = 0.170$$

5.3.5.6. Determinación del factor de reducción efectivo

$$\text{Refecctivo} = \left(\frac{\text{Sa respuesta elástico del periodo de vibración de la estructura}}{Cs \text{ de diseño}} \right)$$

$$\text{Refecctivo} = \left(\frac{0,675}{0,170} \right) = 3.97$$

5.3.6. Hospital Napoleón Dávila Córdoba

5.3.6.1. Determinación del periodo fundamental de vibración de la estructura

De acuerdo a la NEC-15 para obtener un valor aproximado del periodo de vibración se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$T = ct * ht^{\alpha}$$

- α y ct dependen del tipo de estructura.
- Ht es la altura máxima de la estructura.

Esta estructura está conformada por pórticos especiales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, entonces de la ilustración 19:

- $\alpha = 0.9$
- $ct = 0.055$

Esta estructura tiene una altura de 20.3 metros.

$$T = ct * ht^{\alpha} = 0.055 * 20.3^{0.9} = 0.82 \text{ seg}$$

5.3.6.2. Determinación del espectro elástico de aceleración

Una vez obtenido el periodo fundamental de la estructura podemos calcular la aceleración de acuerdo a los límites T_0 y T_c .

$$T_0 \leq T \leq T_c$$

$$0.231 \leq 0.82 \leq 1.2$$

$$S_a = n * Z * F_a = 0.675g$$

$$S_{a_{\text{TERREMOTO-NEC-15}}} = 0.675 \text{ g}$$

5.3.6.3. Determinación espectro elástico de diseño en desplazamientos

Uno de los parámetros necesarios para obtener el espectro elástico de diseño en desplazamientos es T_L , el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$T_L = 2.4 * F_d$$

$$T_L = 2.4 * 1.65 = 3.96 \text{ seg}$$

$$T < T_L$$

$$S_d = S_a(g) \cdot (T/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,675 \times 9,81 \cdot (0,82/2\pi)^2$$

$$S_d = 0,1127 \text{ metros}$$

5.3.6.4. Determinación de la deriva máxima de la estructura

$$\Delta M = \frac{S_d}{H} \times 0,75$$

$$\Delta M = \frac{0,1127}{20,3} \times 0,75$$

$$\Delta M = 0,41\%$$

5.3.6.5. Determinación del espectro de diseño de acuerdo al año de construcción de la estructura

El periodo fundamental de vibración de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción de 1979 se lo encuentra aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{0,09h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = 0,209 \text{ seg}$$

Con el periodo fundamental de vibración procedemos a calcular el coeficiente numérico:

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0,209}}$$

$$C = 0,12$$

De acuerdo con el Código Ecuatoriano de la Construcción del año 1979 el valor en número de resonancia comprendida entre la estructura y el sitio es igual a 1,5.

$$CS \leq 0,14 \therefore CS = 0,12 * 1,5 = 0,18 \text{ ,por lo tanto } 0,14$$

Para calcular el coeficiente sísmico necesitamos el factor de importancia de la estructura el cual es 1.5 en este caso y el factor k el cual es 1.

$$C_s = I * K * C_s = 1.5 * 1 * 0.14 = 0.21$$

5.3.6.6. Determinación del factor de reducción efectivo

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{\text{Sa respuesta elástico del periodo de vibración de la estructura}}{C_s \text{ de diseño}} \right)$$

$$\text{Refectivo} = \left(\frac{0,675}{0,21} \right) = 3.21$$

5.4. Método aproximado para el cálculo de deriva de piso por Eduardo Miranda

El método que propone Eduardo Miranda consiste que durante la etapa de diseño preliminar de una estructura nueva o para una evaluación sísmica rápida de un edificio existente que utiliza una metodología de diseño basada en el rendimiento, una estimación del desplazamiento máximo del techo y de la relación de deriva máxima entre piso " IDR_{max} " puede ser suficiente para evaluar la rigidez lateral requerida en un edificio nuevo o para evaluar si la rigidez lateral de un edificio existente es adecuada para no exceder los niveles de rendimiento predeterminados bajo diferentes niveles de movimiento del suelo.

En nuestro caso evaluaremos un edificio existente. De acuerdo al método de Eduardo Miranda hay 3 tipos de comportamiento de una estructura frente a cargas laterales las cuales son:

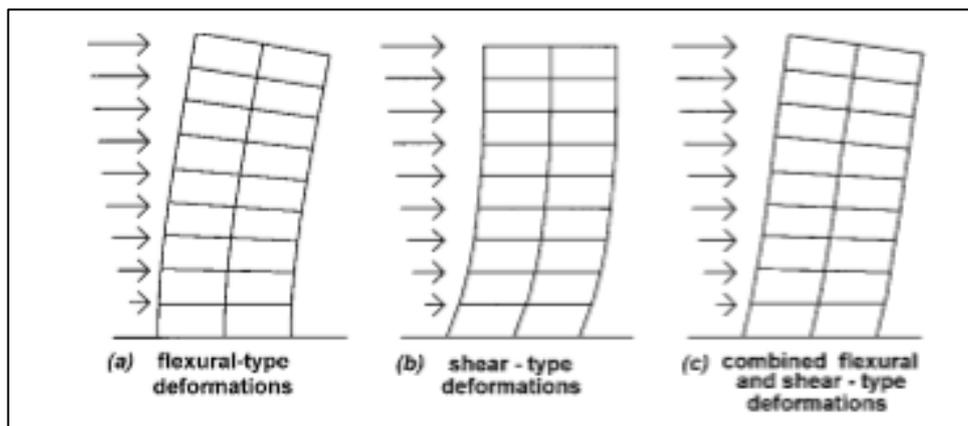


Ilustración 45: Tipo de Deformaciones

(Miranda, 1999)

- a) Deformación debido a Flexión
- b) Deformación debido a Corte
- c) Deformación debido a una Combinación de flexión y corte

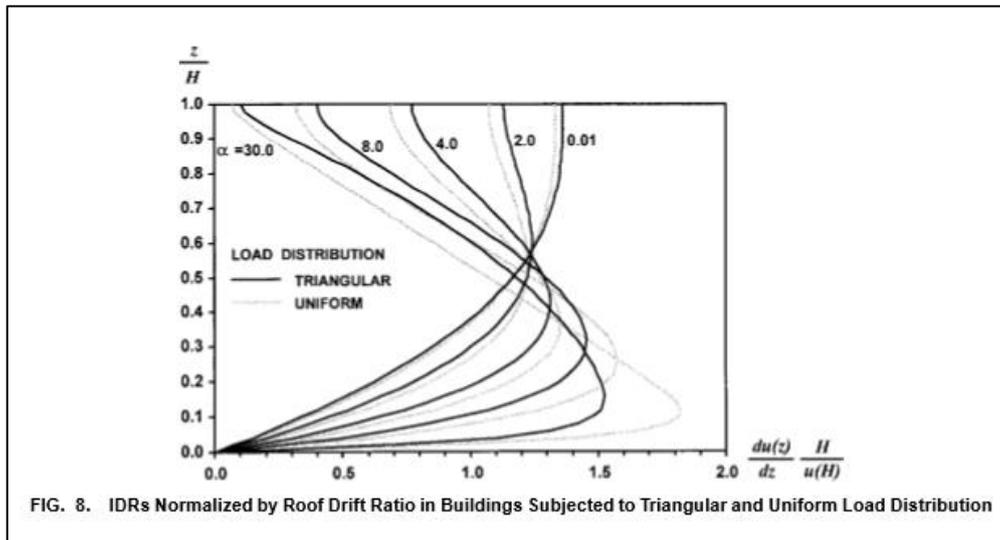


Ilustración 46: Porcentaje de IDR

(Miranda, 1999)

Para obtener una aproximación de la deriva máxima de una estructura podemos utilizar la ilustración 46, la cual depende de los siguientes factores

- α depende de la respuesta de la estructura debido a fuerzas laterales.
- z altura de entrepiso que se evaluara.
- H altura total de la estructura.

5.4.1. Deriva aproximada del Cuerpo de Bomberos

Los daños expuestos en el reporte de la consultora MANAINGENIO S.A. son:

- En la mampostería, existen afectaciones medias
- En las vigas, estas sufrieron afectaciones leves.
- En cuanto a las losas estas no muestran mayores problemas estructurales, sin embargo, presentan problemas de fisuración y de vibraciones.

De acuerdo a los daños, que no son muy graves además es una estructura pequeña con una altura de 8.8 metros, podemos decir que $\alpha = 1.00$.

Esto quiere decir que su respuesta ante fuerzas laterales aproximadamente fue de corte, y su deriva máxima fue en el último piso.

- $Z = 8.8 \text{ m}$
- $H = 8.8 \text{ m}$
- $\frac{z}{H} = 1$ y $\alpha = 1.00$, obtenemos un factor de amplificación igual a 1.25
- $1.25 * 0.22\% = 0.275\%$ la cual es menor a 2.0 % que es el límite de acuerdo a la NEC-15.

5.4.2. Deriva aproximada del Centro Comercial Municipal

Los daños expuestos en el reporte de la consultora MANAINGENIO S.A. son:

En esta estructura sus elementos no estructurales sufrieron daños significativos, su mampostería conformada por ladrillos se encuentra en su totalidad agrietada, además sus instalaciones sanitarias y eléctricas quedaron en malas condiciones.

De acuerdo al informe elaborado por la consultora MANAINGENIO S.A. podemos decir que el valor de $\alpha = 6.00$.

Esto quiere decir que su respuesta ante fuerzas laterales aproximadamente fue una combinación de flexión y corte, y su deriva máxima en los pisos bajos en el último piso.

- $Z = 5.2 \text{ m}$
- $H = 10.2 \text{ m}$

$\frac{z}{H} = 0.51$ y $\alpha = 6.00$, obtenemos un factor de amplificación igual a 1.4

- $1.4 * 0.25\% = 0.35\%$ la cual es menor a 2.0 % que es el límite de acuerdo a la NEC-15.

5.4.3. Deriva aproximada del Registro de la Propiedad

Los daños expuestos en el reporte de la consultora MANAINGENIO S.A. son:

El daño se concentró exclusivamente en el hormigón con el que cuentan las columnas de la planta baja con tan solo 144kg/cm², datos que se tomaron con ensayos no destructivos.

De acuerdo a los daños, que no son muy graves además es una estructura pequeña con una altura de 5.8 metros, podemos decir que $\alpha = 0.01$.

Esto quiere decir que su respuesta ante fuerzas laterales aproximadamente fue de corte, y su deriva máxima fue en el último piso.

- $Z = 5.8 \text{ m}$
- $H = 5.8 \text{ m}$
- $\frac{z}{H} = 1$ y $\alpha = 0.01$, obtenemos un factor de amplificación igual a 3.
- $1.3 * 0.15\% = 0.195\%$ la cual es menor a 2.0 % que es el límite de acuerdo a la NEC-15.

5.4.4. Deriva aproximada del Salón de la Ciudad

Los daños expuestos en el reporte de la consultora MANAINGENIO S.A. son:

- Presenta daños principalmente en sus columnas.
- Resistencia a la compresión de 243 kg/cm².
- Daños en la mampostería, que actualmente ya no existen porque colapsaron totalmente y daños graves en los elementos estructurales.

De acuerdo a los daños, podemos decir que $\alpha = 30.00$.

Esto quiere decir que su respuesta ante fuerzas laterales aproximadamente fue de flexión, y su deriva máxima fue en los primeros pisos.

- $Z = 5.2 \text{ m}$
- $H = 12.6$
- $\frac{z}{H} = 0.40$ y $\alpha = 30.00$, obtenemos un factor de amplificación igual a 1.6.
- $1.6 * 0.28\% = 0.448\%$ la cual es menor a 2.0 % que es el límite de acuerdo a la NEC-15.

5.4.5. Deriva aproximada del Hospital Napoleón Dávila

Los daños expuestos en el reporte de la consultora MANAINGENIO S.A. son:

- Fallas por corte en nudos de columnas-vigas

- Fallas por corte y flexión en vigas carteladas de losas
- Los nervios de las losas presentan fallas de corte y compresión evidenciando desprendimiento de elementos principales.
- Las losas están desniveladas y agrietadas, con peligro evidente de colapso.
- Existen daños excesivos en elementos no estructurales como mampostería y cielo raso
- La estructura muestra fuertes desplazamientos por lo que las derivas de piso fueron considerables causando los daños presentados.

De acuerdo a los daños, que son muy graves podemos decir que $\alpha = 30.00$.

Esto quiere decir que su respuesta ante fuerzas laterales aproximadamente fue de flexión, y su deriva máxima fue en los primeros pisos.

- $Z = 2.8 \text{ m}$
- $H = 20.3$
- $\frac{z}{H} = 0.13$ y $\alpha = 30.00$, obtenemos un factor de amplificación igual a 1.8
- $1.8 * 0.41\% = 0.738\%$ la cual es menor a 2.0 % que es el límite de acuerdo a la NEC-15.

5.5. Método aproximado para la estimación de deriva mediante el tipo de daño en las paredes de mampostería

Los últimos eventos sísmicos han proporcionado evidencia de que el daño a las paredes rellenas de mampostería puede conducir no solo a grandes pérdidas económicas, sino también a lesiones significativas e incluso fatalidades. La estimación del daño de tales elementos y las consecuencias correspondientes dentro del marco de ingeniería de terremotos basado en el desempeño que requiere la construcción de funciones de fragilidad confiables. En este documento, las funciones de fragilidad basadas en deriva se desarrollan para paredes rellenas de mampostería cargados en el plano, derivados de un conjunto de datos experimentales exhaustivos recogidos de la literatura actual, que comprende 152 rellenos de mampostería con diferentes geometrías y construidos con diferentes tipos de bloques de mampostería, probados bajo carga cíclica lateral. Se definen tres estados de daños asociados con el

rendimiento estructural y la reparabilidad de las paredes de relleno de mampostería. El efecto de la resistencia a la compresión del mortero, la resistencia a la compresión del prisma de mampostería y la presencia de aberturas se evalúa e incorpora para los estados de daño donde se encuentra que su influencia es estadísticamente significativa. La incertidumbre debida a la variabilidad entre especímenes y el tamaño de la muestra se cuantifica y se incluye en las funciones de fragilidad propuestas. Se concluye que la resistencia del prisma y la resistencia del mortero son mejores indicadores de la fragilidad de los rellenos de mampostería que el tipo de ladrillos / bloques utilizados, cuya influencia, en general, no es estadísticamente significativa para todos los estados de daño. Finalmente, la presencia de aberturas también muestra un impacto estadísticamente relevante en el nivel de la relación de deriva de intersticios que desencadena los estados de daños más bajos. Con la deriva que se obtuvo mediante el método de Eduardo Miranda PhD se evaluará que porcentaje de daño en las paredes tuvo las edificaciones de estudio.

5.5.1. Estado de Daño 1

Este estado de daños corresponde a la iniciación de pequeñas grietas finas en mampostería, hasta 2 mm de ancho, concentradas principalmente en las articulaciones de la cama y la cabeza, en yeso (cuando está presente) o a lo largo de las interfaces con las columnas y / o la viga superior del marco. No se observa deslizamiento y aplastamiento conjunto significativo de las unidades. Este estado de daño requiere solo intervenciones de reparaciones muy livianas y simples. La acción de reparación típica consiste en enyesar localmente las grietas visibles y aplicar pintura nueva. Un par de ejemplos de rellenos que muestran un daño DS1 se muestran en ilustración 47.



Ilustración 47: Daño Tipo 1

(Chiozzi & Miranda, 2017)

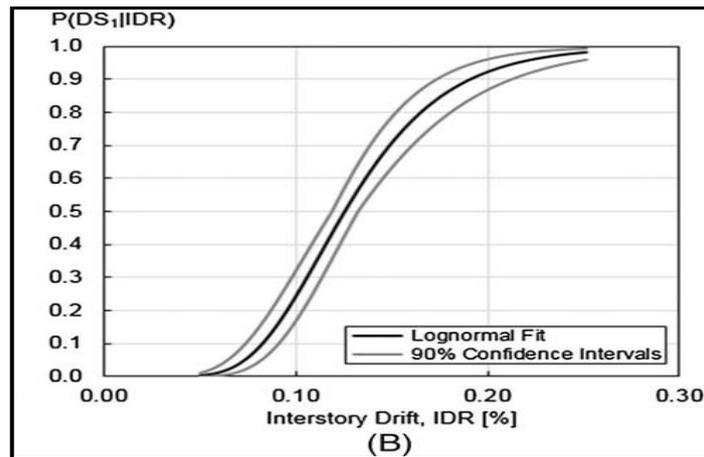


Ilustración 48 Curva porcentaje de daño de pared

(Chiozzi & Miranda, 2017)

5.5.2. Estado de Daño 2

Este estado de daños corresponde al comienzo de grietas significativas, de más de 2 mm de ancho, que se propagan a través de juntas de mortero y bloques de mampostería con posible pero muy limitado deslizamiento entre juntas y aplastamiento localizado de unidades (por ejemplo, en las esquinas). Se requieren intervenciones más pesadas para reparar un relleno en este estado de daño. Las acciones de reparación típicas consisten en la eliminación del yeso viejo, la demolición de ladrillos rotos, la reconstrucción local de mampostería, la aplicación de un nuevo revestimiento de yeso de mejor calidad y una nueva pintura. Ejemplos de rellenos que muestran un estado de daño DS2 se representan en la ilustración 49.



Ilustración 49: Daño Tipo 2

(Chiozzi & Miranda, 2017)

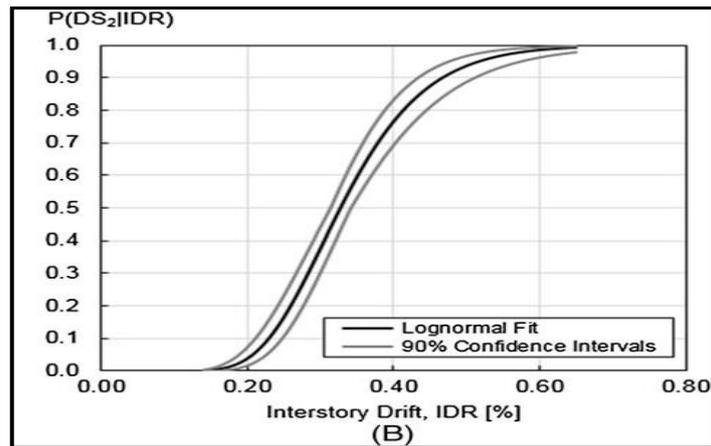


Ilustración 50: Curva porcentaje de daño de pared

(Chiozzi & Miranda, 2017)

5.5.3. Estado de Daño 3

Este estado de daños corresponde al desarrollo de grietas diagonales anchas (usualmente mayores de 4 mm) con deslizamiento significativo entre las juntas y aplastamiento y desprendimiento generalizados de las unidades de mampostería. La reparación del panel no es económicamente conveniente y, por lo tanto, se recomienda la demolición completa y la posterior reconstrucción. Los ejemplos de rellenos que muestran un estado de daño DS3 se representan en ilustración 51.



Ilustración 51: Daño Tipo 3

(Chiozzi & Miranda, 2017)

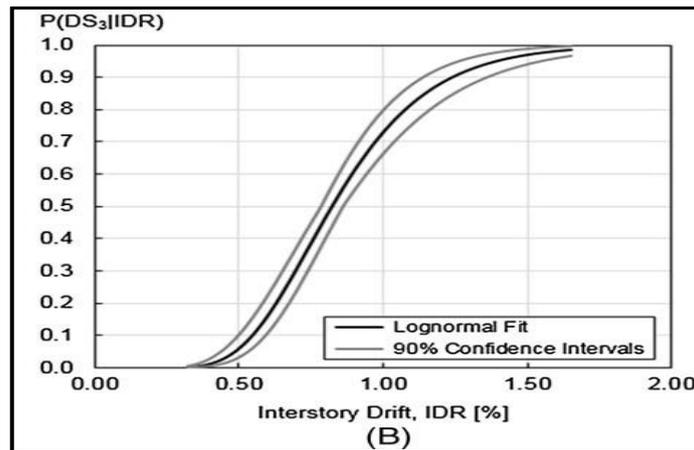


Ilustración 52: Curva porcentaje de daño de pared

(Chiozzi & Miranda, 2017)

5.5.4. Cuerpo de Bomberos.

De acuerdo a la ilustración 50 con una deriva de entrepiso máxima igual 0.275%, según chiozzi la pared sufrió aproximadamente un 30% de daño tipo 2.

5.5.5. Registro de la propiedad.

De acuerdo a la ilustración 48 con una deriva de entrepiso máxima igual 0.195%, según chiozzi la pared sufrió aproximadamente un 85% de daño tipo 1.

5.5.6. Centro comercial municipal.

De acuerdo a la ilustración 50 con una deriva de entrepiso máxima igual 0.35%, según chiozzi la pared sufrió aproximadamente un 60% de daño tipo 2.

5.5.7. Salón de la ciudad.

De acuerdo a la ilustración 50 con una deriva de entrepiso máxima igual 0.448%, según chiozzi la pared sufrió aproximadamente un 85% de daño tipo 2.

5.5.8. Hospital Napoleón Dávila.

De acuerdo a la ilustración 52 con una deriva de entrepiso máxima igual 0.738%, según chiozzi la pared sufrió aproximadamente un 50% de daño tipo 3.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

Para llegar a una conclusión se expondrá los resultados obtenidos mediante el análisis sobre el comportamiento que tuvieron las estructuras estudiadas frente al sismo de 16 de abril de 2016 en Chone, de acuerdo a la NEC-15, el método aproximado para el cálculo de deriva de piso por Eduardo Miranda PhD y los reportes elaborados por la empresa consultora MANAINGENIO S.A. designada a realizar la evaluación estructural.

6.1.1. Cuerpo de Bomberos

Edificio	Características	
CUERPO DE BOMBEROS	Tipo de Suelo	D
	Año de Construcción	1981
	Sa Respuesta Sismo	0.702
	Sa Diseño C-79	0.193
	Deriva inelástica máxima	0.22%
	Deriva inelástica máxima entrepiso (Miranda,1999)	0.275%
	R (efectivo)	3.64

Tabla 11: Características de la estructura Cuerpo de Bomberos

- La deriva inelástica máxima según la NEC-15 fue de 0.22%, y la deriva por el método de Eduardo Miranda Ph.D. fue de 0.275%, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 para una estructura de hormigón armado y de madera la deriva inelástica máxima es de 2%, por lo que los resultados son derivas bajas.
- El factor de reducción efectivo es 3.64, esto quiere decir que la aceleración del sismo de 16 de abril de 2016 fue 3.64 veces mayor que el factor de aceleración de diseño.

Resultados elaborados por la empresa consultora MANAINGENIO S.A.:

1. Resistencia a la compresión de los elementos estructurales fue de 155.13 Kg/cm².
2. En cuanto a la mampostería, existen afectaciones leves producto de los desplazamientos laterales observados.
3. En cuanto a las vigas, estas sufrieron afectaciones leves.

4. En cuanto a las losas, estas no muestran mayores problemas estructurales, sin embargo, presentan problemas de fisuras y de vibraciones

En resumen, de acuerdo a los cálculos realizados las derivas y el factor de reducción son bajos, lo que puede incluir daños leves en la estructura, así como lo explica el literal 2,3 y 4 del reporte de la empresa consultora MANAINGENIO S.A., todos estos daños antes mencionados son reparables y no muy costosos, por lo tanto, no había necesidad de demoler la estructura.

6.1.2. Registro de la propiedad

Edificio	Características	
REGISTRO DE LA PROPIEDAD	Tipo de Suelo	E
	Año de Construcción	2003
	Sa Respuesta Sismo	0,675
	Sa Diseño C-02	0,14
	Deriva inelástica máxima	0.15%
	Deriva inelástica máxima entrepiso (Miranda,1999)	0.195%
	R (efectivo)	4,82

Tabla 12: Características de la estructura Registro de la Propiedad de Chone

- La deriva inelástica máxima según la NEC-15 fue de 0.15%, y la deriva por el método de Eduardo Miranda Ph.D. fue de 0.195%, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 para una estructura de hormigón armado y de madera la deriva inelástica máxima es de 2%, por lo que los resultados son derivas bajas.
- El factor de reducción efectivo es 4.82, esto quiere decir que la aceleración del sismo de 16 de abril de 2016 fue 4.82 veces mayor que el factor de aceleración de diseño.

Resultados elaborados por la empresa consultora MANAINGENIO S.A.:

1. Resistencia a la compresión de los elementos estructurales fue de 150 Kg/cm².
2. las secciones de los elementos estructurales resistentes como vigas y columnas no cumplen con las especificaciones en lo que se refiere a las secciones y cuantías mínimas que se estipulan en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015.
3. Se recomienda la demolición de esta edificación.

En resumen, de acuerdo a los cálculos realizados las derivas y el factor de reducción son bajos, lo que puede incluir daños leves en la estructura.

La estructura es antigua y cabe recalcar que la resistencia de las columnas es menor que la resistencia mínima de la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-15) la cual es 210 Kg/cm², a pesar de tener una resistencia baja al momento de recibir la fuerza sísmica esta estructura no colapso, y se puede observar que parte de la energía se disipó mediante deformaciones, por lo tanto, pudo ser reforzada y no demolida.

6.1.3. Centro comercial municipal

Edificio	Características	
CENTRO COMERCIAL MUNICIPAL	Tipo de Suelo	D
	Año de Construcción	1980
	Sa Respuesta Sismo	0.702
	Sa Diseño C-79	0.1605
	Deriva inelástica máxima	0.25%
	Deriva inelástica máxima entrepiso (Miranda, 1999)	0.35%
	R (efectivo)	4.37

Tabla 13: Características de la estructura Centro Comercial Municipal

- La deriva inelástica máxima según la NEC-15 fue de 0.25%, y la deriva por el método de Eduardo Miranda Ph.D. fue de 0.35%, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 para una estructura de hormigón armado y de madera la deriva inelástica máxima es de 2%, por lo que los resultados son derivas bajas.
- El factor de reducción efectivo es 4.37, esto quiere decir que la aceleración del sismo de 16 de abril de 2016 fue 4.37 veces mayor que el factor de aceleración de diseño.

Resultados elaborados por la empresa consultora MANAINGENIO S.A.:

1. Los elementos estructurales han sufrido daños representativos, muestran fallas por corte en nudos de columnas y vigas, evidenciando el acero estructural en su punto de rotura.
2. En sus losas se presentan fallas por corte y compresión, y sus losas están desniveladas.

3. Sus elementos no estructurales sufrieron daños significativos, su mampostería conformada por ladrillos se encuentra en su totalidad agrietada, además sus instalaciones sanitarias y eléctricas quedaron en malas condiciones.
4. Resistencia a la compresión: 211 kg/cm²
5. Esta estructura no presenta las condiciones para su reparación, por lo que se recomienda la demolición de este bloque.

En resumen, de acuerdo a los cálculos realizados las derivas y el factor de reducción son relevantes, por lo tanto, presentan daños significativos en su mampostería.

Esta edificación tiene más de cuarenta años desde su construcción, por lo que ya cumplió su vida útil, sin embargo, no colapso durante el sismo de 16 de abril de 2016, por lo que se concluye desde el criterio ingenieril era factible realizar un reforzamiento a la estructura y no haberla demolido.

6.1.4. Salón de la Ciudad

Edificio	Características	
SALÓN DE LA CIUDAD	Tipo de Suelo	E
	Año de Construcción	1994
	Sa Respuesta	0,675
	Sa Diseño C-79	0.17
	Deriva inelástica máxima	0.2875%
	Deriva inelástica máxima (Miranda,1999)	0.448%
	R (efectivo)	3.97

Tabla 14: Características de la estructura Salón de la Ciudad

- La deriva inelástica máxima según la NEC-15 fue de 0.2875%, y la deriva por el método de Eduardo Miranda Ph.D. fue de 0.448%, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 para una estructura de hormigón armado y de madera la deriva inelástica máxima es de 2%, por lo que los resultados son derivas relevantes.
- El factor de reducción efectivo es 3.97, esto quiere decir que la aceleración del sismo de 16 de abril de 2016 fue 3.97 veces mayor que el factor de aceleración de diseño.

Resultados elaborados por la empresa consultora MANAINGENIO S.A.:

1. Se pueden observar los daños en la mampostería.
2. Resistencia a la compresión: 243 kg/cm².
3. En el Salón de la Ciudad no se ha planteado ninguna alternativa de reforzamiento porque existen daños extensos en los elementos no estructurales y estructurales resistentes.

En resumen, de acuerdo a los cálculos realizados las derivas y el factor de reducción son relevantes, lo que puede incluir daños significativos en la estructura.

Esta edificación no colapso durante el sismo de 16 de abril de 2016, por lo que se concluye que desde el criterio ingenieril es factible realizar un reforzamiento a la estructura y no haberla demolido.

6.1.5. Hospital Napoleón Dávila

Edificio	Características	
HOSPITAL NAPOLEÓN DÁVILA CÓRDOVA	Tipo de Suelo	E
	Año de Construcción	1979
	Sa Respuesta	0,675
	Sa Diseño C-79	0.21
	Deriva inelástica máxima	0.41%
	Deriva inelástica máxima (Miranda,1999)	0.738%
	R (efectivo)	3.21

Tabla 15: Características de la estructura Hospital Napoleón Dávila

- La deriva inelástica máxima según la NEC-15 fue de 0.41%, y la deriva por el método de Eduardo Miranda Ph.D. fue de 0.738%, de acuerdo a la norma ecuatoriana de la construcción 2015 para una estructura de hormigón armado y de madera la deriva inelástica máxima es de 2%, por lo que los resultados significan daños moderados.
- El factor de reducción efectivo es 3.21, esto quiere decir que la aceleración del sismo de 16 de abril de 2016 fue 3.21 veces más que el factor de aceleración de diseño.

Resultados elaborados por la empresa consultora MANAINGENIO S.A.:

1. Fallas por corte en nudos de columnas-vigas
2. Fallas por corte y flexión en vigas carteladas de losas
3. Los nervios de las losas presentan fallas de corte y compresión evidenciando desprendimiento de elementos principales.
4. Las losas están desniveladas y agrietadas, con peligro evidente de colapso.
5. Existen daños excesivos en elementos no estructurales como mampostería y cielo raso.
6. La estructura muestra fuerte desplazamientos por lo que las derivas de piso fueron considerables causando los daños presentados
7. Por lo que se concluye que, la estructura de esta edificación, donde funcionaba el hospital Napoleón Dávila Córdova de la ciudad de Chone, no presenta las condiciones de reparación ya que ha fallado estructuralmente por causas sísmicas.
8. Se recomienda la demolición total de la estructura hospitalaria, la cual posee en la actualidad un peligro eminente de colapso, y la dirección de esta demolición deberá ser realizada por personal técnico idóneo para no provocar daños a estructuras vecinas cumpliendo con todas las normas de seguridades vigentes.

Con toda la información antes expuesta se puede concluir que la estructura tuvo daños severos en sus elementos estructurales y no estructurales, se puede apreciar que la estructura a pesar de los daños no colapso sin embargo del sismo de 16 de abril de 2016 esta presentaba un peligro eminente de colapso, por lo tanto, la demolición de dicha estructura está debidamente justificada.

6.2. Recomendaciones

- De acuerdo a los cálculos realizados de la obtención de la deriva inelástica según la NEC-15, podemos apreciar que los resultados en el rango de 0.15% a 0.73% y apreciando las imágenes de los reportes de la consultora MANAINGENIO S.A se observan daños en el rango de leve a severo, por lo tanto, se recomienda reconsiderar la deriva máxima permisible de 2% y adoptar un valor máximo del 1% para estructuras de hormigón armado.

- Se recomienda que para obtener el Factor de Reducción de la respuesta elástica recomendados por la NEC-15 se realice un análisis por desempeño. Los valores observados en este estudio varían entre 3.21 y 4.37 en edificios que sufrieron daños estructurales leves a graves. El valor de R igual a 8 recomendado por la NEC-15 resulta demasiado alto, si no se realiza un análisis por desempeño se recomienda como máximo considerar un factor de reducción igual a 5.
- Se puede apreciar que algunos edificios tienen una resistencia menor a la mínima establecida por la NEC-15, por lo tanto, se recomienda que en el capítulo de “Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras” se disponga que las estructuras de hormigón armado construidas antiguas y/o con resistencia a la compresión menores a la de la norma NEC-15, sean reforzadas para soportar futuras cargas accidentales.

7. Bibliografía.

- Anónimo. (2016). Demolerán edificios del Cuerpo de Bomberos y del Registro de la Propiedad. *Ecuador* 221. Recuperado de <https://ecuador221.com/2017/12/06/demoleran-edificios-del-cuerpo-de-bomberos-y-del-registro-de-la-propiedad/>
- Anónimo. (2016). Demolición del hospital Napoleón Dávila de Chone con un 45% de avance. *El Diario*. Recuperado de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/406170-demolicion-del-hospital-napoleon-davila-de-chone-con-un-45-de-avance/>
- Anónimo. (2016). En Chone se construye poco, después del terremoto. Recuperado de <https://revistademanabi.com/2017/03/24/en-chone-se-construye-poco-despues-del-terremoto/>
- Anónimo. (2016). <https://www.elcomercio.com/actualidad/centro-comercial-chone-demolicion-terremoto.html>. *El Comercio*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/centro-comercial-chone-demolicion-terremoto.html>
- Anónimo. (2017). Demolerán 17 estructuras en Chone. *El Diario*. Recuperado de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/456903-demoleran-17-estructuras-en-chone/>
- Bosco, J. (2017). Derrocan en Chone sede de bomberos. *El Universo*. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/12/08/nota/6516586/derrocan-chone-sede-bomberos>
- Bosco, J. (2017). Derrocan en Chone sede de bomberos. *El Universo*. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/12/08/nota/6516586/derrocan-chone-sede-bomberos>
- Chiozzi, A., & Miranda, E. (2017). Fragility functions for masonry infill walls with in-plane loading. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(15), 2831-2850. doi: 10.1002/eqe.2934
- Código Ecuatoriano de la Construcción. (1979), Quito, Ecuador.

Código Ecuatoriano de la Construcción. (2002), Quito, Ecuador

Consultora Manaingenio S.A. (2016). *Evaluación sísmica*. Portoviejo: Consultora Manaingenio S.A.

Egred, J., & Schuster, R. (1991). *Ecuador earthquakes*. Washington, D.C.: National Academy.

GEER Association. (2016). *GEER-ATC Earthquake reconnaissance*. Guayaquil: The Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER) Association. Recuperado de: http://www.geerassociation.org/administrator/components/com_geer_reports/geerfiles/ECUADOR_Report_GEER-049-v1b.pdf

Instituto Geofísico de Escuela Politécnica Nacional. (2016). *Informe sísmico para el año 2016*. Quito: Instituto Geofísico de Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <https://www.igepn.edu.ec/inf-sism/sismicos-anuales/20518-informe-sismico-para-el-ecuador-ano-2016/file>

Kagermanov, A., Ceresa, P., Morales, E., Poveda, J., & O'Connor, J. (2017). Seismic performance of RC buildings during the MW7.8 Muisne (Ecuador) earthquake on April 2016: field observations and case study. *Bulletin Of Earthquake Engineering*, 15(12), 5167-5189. doi: 10.1007/s10518-017-0182-y

Miranda, E. (1999). Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings. *Journal Of Structural Engineering*, 125(4), 417-425. doi: 10.1061/(asce)0733-9445(1999)125:4(417)

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015), Quito, Ecuador

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Vanegas Pinos, Juan Pablo**, con **C.C: # 0923966501** autor del trabajo de titulación: **Estudios de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Chone** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **7 de septiembre de 2018**

f. _____

Nombre: **Vanegas Pinos, Juan Pablo**

C.C: **0923966501**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estudios de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Chone.		
AUTOR:	Juan Pablo Vanegas Pinos		
REVISOR/TUTOR	Alex Raúl Villacrés Sánchez		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Carrera de Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	7 de septiembre de 2018	No. DE PÁGINAS:	87 de páginas
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería Estructural, Ingeniería Sísmica, Ingeniería en suelos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Ecuador, Manabí, Chone, Terremoto, Sismos, Demoliciones, Daños estructurales		
RESUMEN/ABSTRACT	<p>El presente trabajo de titulación tiene como objeto determinar si los edificios que se demolieron como consecuencia del sismo del 16 de abril de 2016 en la ciudad de Chone, Provincia de Manabí, sufrieron daños estructurales importantes que ameritaban dicha demolición; lo anterior se estudiará desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, teniendo en cuenta criterios como el de peligro sísmico y diseño sismo resistente regulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente en comparación con el Código Ecuatoriano de la Construcción aplicable en el año de construcción de cada edificio, deriva inelástica por el método de Eduardo Miranda, PhD. También se analizarán espectros elásticos de aceleración y desplazamiento para cada sitio de implantación de los edificios, así como la aceleración y el desplazamiento elásticos correspondientes a un sistema de 1 GDL con período de vibración igual al de los edificios y la deriva inelástica máxima de los edificios durante el sismo, con el conocimiento de la deriva plástica y el factor efectivo de reducción de la respuesta elástica. Así como con las observaciones de daños, se elaborarán las conclusiones de cada caso, definiendo si la demolición estaba justificada o no desde el criterio de la Ingeniería Civil.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: +593 98 509 8254	E-mail: vanegaspinos@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			