

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERIA CIVIL

TEMA:

**Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el
sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez.**

AUTORA:

Chucuyán Pérez, María Gabriela

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, MSc.

Guayaquil, Ecuador

7 de septiembre 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Chucuyán Pérez, María Gabriela**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, MSc.

DIRECTOR 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 CIVIL
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Chucuyán Pérez, María Gabriela**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez** 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

LA AUTORA

f. _____
Chucuyán Pérez, María Gabriela



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Chucuyán Pérez, María Gabriela**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez**, 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

LA AUTORA:

f. _____
Chucuyán Pérez, María Gabriela

REPORTE URK



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Trabajo de titulo Gabriela Chucuyan.pdf (D40966878)
Submitted: 8/24/2018 8:49:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 4 %

Sources included in the report:

Tesis Guano-final 19-10-2017 .docx (D31606458)
PROYECTO JOSE CEBALLOS.docx (D34966345)
TESIS MAURICIO CEBALLOS.docx (D34863685)
TESIS JONATHAN JAVIER COPETE ORTIZ-URKUND.docx (D25069484)
tesis_unida[1].docx (D33318506)
GALARZA_RICARDO_TRABAJO_TITULACION-ESTRUCTURAS_OCTUBRE-2017 urkund.docx (D31689273)
<https://www.elcomercio.com/actualidad/implosion-edificio-elalmirante-terremoto-bahia.html>
<https://www.eluniverso.com/noticias/2016/10/16/nota/5855989/zona-afectada-era-alta-plusvalia>

Instances where selected sources appear:

27

AGRADECIMIENTO

Día a día me siento muy agradecida por las bendiciones que recibo. Ante todo, quiero agradecerle a Dios por todas las oportunidades que me ha dado, por permitirme no decaer en los momentos más difíciles y ayudarme a salir adelante, por darme sabiduría, coraje y sobre todo paciencia. Le doy gracias a la Virgen María por cuidarme y llevarme por el camino del bien.

Segundo, pero no menos importante quiero agradecerles a mis padres, sin ellos no hubiera podido estar en donde estoy ahora, ya que sacrificaron mucho por ponerme en una prestigiosa universidad como lo es la UCSG, por corregirme, por inculcarme buenos valores, por todos los sacrificios que han hecho por mí, por la paciencia que me han tenido y por quererme dar todo lo que ellos no pudieron tener.

A mis abuelitas, que gracias a Dios todavía las tengo conmigo, por sus sabios consejos, sus anécdotas, su apoyo incondicional, por consentirme seguido y sobre todo por todo el amor que me dan.

A mis hermanos Carlos, Isabel, Teresa y Daniel, por acompañarme en mis noches de desvelo haciendo tareas, preparando proyectos o estudiando para los exámenes, por compartir conmigo secretos, risas, llantos y por ser un pilar importante en mi vida.

A una persona muy especial que llevo conociendo más de un año (Alex Franco) que, a pesar de nuestras diferencias, siempre ha estado ahí apoyándome en mi desarrollo profesional y personal. Le agradezco por toda la paciencia que me ha tenido, por compartirme sus conocimientos ingenieriles y por estar al pendiente de mí. Si el destino nos llegase a llevar por caminos diferentes quiero que sepa que siempre estaré agradecida con él.

A todas las personas que fueron aportando su granito de arena en mi a lo largo de mi carrera universitaria en especial a mis amigos, Gerson, Gemma, Gustavo y Andrés que siempre estuvieron ahí apoyándome, por esas noches

de desvelo antes de los exámenes o tutorías, por las fiestas y por todos los momentos buenos y malos que hemos compartido.

A todos los profesores que tuve durante mi carrera universitaria en especial al Ing. Villacrés y el Ing. Barros, que me brindaron mucho de sus conocimientos para poder realizar mi tesis. Por su paciencia, cordialidad y predisposición.

Al Abog. Castillo, que ya no forma parte de los docentes de la UCSG, pero me dejó grandes enseñanzas a nivel profesional y sobre todo personal. Es una excelente persona a la cual admiro y agradezco sus sabios consejos.

Gabriela Chucuyán Pérez

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a Dios por permitirme culminar una etapa más en mi vida, por darme fortaleza, sabiduría, por guiarme por el camino del bien, por poner en mi camino personas valiosas que me ayudaron en el desarrollo de mi tesis, por darme una familia hermosa y sobre todo por darme salud.

Se lo dedico, con mucho amor, a mis padres y mi abuelita “Mami Tere”, con el compromiso de seguir creciendo como persona y profesional sin olvidar mis raíces y quien estuvo apoyándome siempre. Por saberme entender y tenerme paciencia. A mi mami y mi abuelita por ayudarme a leer los periódicos y sacar noticias relevantes a mi tema de tesis. Son los pilares fundamentales en mi vida.

A mi abuelito Alejandro que desde el cielo me está cuidando, como mi ángel de la guardia, al cual extraño mucho. Espero que se sienta orgulloso de la mujer en que me he convertido y me siga cuidando en el camino que me queda por recorrer.

Por último, se lo dedico a mis hermanas, para que sigan el ejemplo que le hemos dado con mi hermano, de ser profesionales y no dejarse vencer antes las adversidades.

Gabriela Chucuyán Pérez



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

Ing. Alex Raúl Villacrés Sánchez, MSc.
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Roberto Luque Nuques, MSc.
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. José Andrés Barros Cabezas, MSc.
OPONENTE

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I: Información General del proyecto	3
1.1	Antecedentes	3
1.2	Justificación	3
1.3	Objetivos	4
1.3.1	Objetivo General	4
1.3.2	Objetivos Específicos	4
1.4	Alcance.....	4
1.5	Metodología.....	5
2	CAPÍTULO II: Recolección de información	7
2.1	Periódicos y sitio web	7
2.1.1	Diario El Universo.....	7
2.1.2	Diario El Diario	12
2.1.3	Diario El Comercio	14
2.1.4	Diario Expreso.....	17
2.1.5	Diario El Telégrafo.....	18
2.2	Papers.....	19
2.2.1	Ing. Alex Villacrés.....	19
2.2.2	Ing. Roberto Aguiar	20
2.2.3	Ing. Jaime Argudo	22
2.2.4	Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.....	23
2.3	Fotografías	24
2.4	Lista de edificios afectados por el sismo del 16 de abril del 2016 ..	27

2.5	Selección de edificios demolidos.	28
3	Capítulo III: Metodología.....	30
3.1	Norma ecuatoriana de Construcción 2015 (NEC–15).....	30
3.1.1	Zonificación sísmica y factor de zona Z.....	30
3.1.2	Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico.....	31
3.1.3	Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs.....	32
3.1.4	Espectro elástico de respuesta de aceleraciones según la NEC-15.	34
3.1.5	Período de vibración de la estructura.	36
3.1.6	Espectro elástico de desplazamiento.	36
3.1.7	Deriva Máxima.	37
3.2	Códigos ecuatorianos de la construcción.....	38
3.2.1	Código ecuatoriano de la construcción – 79 (CEC-79).....	38
3.2.2	Código ecuatoriano de la construcción 2002 (CEC-02).....	41
4	Memoria de cálculo.....	50
4.1	Determinación del coeficiente de zonificación en Bahía de Caráquez.	50
4.2	Cálculo de los edificios.	50
4.2.1	Tipo de suelo.....	51
4.2.2	Espectros elásticos de respuestas de aceleraciones según NEC-15	51
4.2.3	Suelo tipo E.....	54
4.2.4	Edificio La Fragata.	57
4.2.5	Edificio CNT.	64

4.2.6	Edificio Jalil.	73
4.2.7	Hospital Miguel H. Alcívar.	80
4.2.8	Edificio El Almirante.	97
5	Demandas aproximadas de deformación lateral sísmica en edificios de varios pisos, método propuesto por el Dr. Eduardo Miranda en 1999.	108
5.1	Nivel de daño por Chiozzi y Miranda.	111
5.1.1	Estado de daño 1.	111
5.1.2	Estado de daño 2.	111
5.1.3	Estado de daño 3.	112
5.1.4	Comparación del IDR calculado con el nivel de daño de pared que se espera.	112
5.2	Cálculo aproximado de las deformaciones laterales máximas propuesto por Miranda 1999.	114
5.2.1	Edificio La Fragata.	114
5.2.2	Edificio CNT.	116
5.2.3	Edificio Jalil.	118
5.2.4	Hospital Miguel H. Alcívar.	120
5.2.5	Edificio El Almirante.	122
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	125
6.1	Conclusiones.	125
6.2	Recomendaciones.	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Edificios afectados por el sismo del 98 con su nivel de daño.	19
Tabla 2 Lista de los edificios afectados por el sismo del 16 de abril del 2016.	27
Tabla 3 Características de los edificios seleccionados que se va a estudiar.	29
Tabla 4 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.	31
Tabla 5 Tipo de suelo y factores de sitio Fa.	33
Tabla 6 Tipo de suelo y factores de sitio Fd.	33
Tabla 7 Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs.	33
Tabla 8 Parámetros para el espectro de aceleración.	34
Tabla 9 Factor de Importancia I.	39
Tabla 10 Factor K, de acuerdo con el sistema estructural.	39
Tabla 11 Valor del Ts según el tipo de suelo.	41
Tabla 12 Valor del factor Z.	42
Tabla 13 Descripción de los perfiles del suelo S1, S2 y S4.	42
Tabla 14 Parámetros para el suelo S3.	43
Tabla 15 Coeficiente S y Cm según el perfil del suelo.	43
Tabla 16 Tipo de suelo	51
Tabla 17 Coeficiente Fa, Fd y Fs para suelo tipo D.	51
Tabla 18 Períodos límites para suelo tipo D.	52
Tabla 19 Cálculo de espectro de desplazamiento (Sd).	53
Tabla 20 Coeficientes Fa, Fd y Fs para suelo tipo E.	54

Tabla 21 Período de vibración para suelo tipo E.....	54
Tabla 22 Cálculo del espectro de desplazamiento (Sd).	56
Tabla 23 Período de vibración de La Fragata.	57
Tabla 24 Período de vibración de CNT	64
Tabla 25 Período de vibración del Jalil.	73
Tabla 26 Período de vibración del Hospital Miguel H. Alcívar.	80
Tabla 27 Período de vibración de El Almirante.	97
Tabla 28 Método de reforzamiento aplicados a los edificios afectados por el sismo del 98 en Bahía de Caráquez.	125
Tabla 29 Resultados de las derivas inelásticas con la Nec-15 y Miranda 1999.	126
Tabla 30 Criterios aplicados por los consultores para recomendar demolición.	126
Tabla 31 Criterios aplicados por los consultores en el cual recomiendan la rehabilitación.	127
Tabla 32 Resumen de análisis de cálculo.	128

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Unidad educativa del Milenio, después del sismo del 2016.	8
Ilustración 2 Demolición del Torreomar.....	8
Ilustración 3 Maquinaria lista para operar frente al edificio Nautilus.	9
Ilustración 4 Hospital Miguel H. Alcívar después del sismo del 2016....	10
Ilustración 5 Hospital Miguel H. Alcívar después del sismo. Fachada delantera.....	10
Ilustración 6 Edificio El Almirante, después del sismo del 2016.....	11
Ilustración 7 Edificio Cabo Coral, después del sismo del 2016.	12
Ilustración 8 Edificio de La Capitanía después del sismo del 2016.	13
Ilustración 9 Edificio El Almirante, después del sismo del 2016.....	14
Ilustración 10 Hotel Bahía Blanca después del sismo del 2016.	15
Ilustración 11 Planta baja del Hotel Bahía Blanca después del sismo del 2016.	15
Ilustración 12 Planta baja del Hotel Bahía Blanca después del sismo del 2016.	15
Ilustración 13 Edificio Costa Mar después del sismo del 2016.	16
Ilustración 14 Estado de edificaciones en Bahía de Caráquez.....	16
Ilustración 15 Demolición del edificio El Almirante.	17
Ilustración 16 Ubicación de las zonas edificaciones afectadas.	18
Ilustración 17 Fachada principal y posterior del edificio La Fragata, después del sismo del 2016.....	22
Ilustración 18 Algunos de los daños que sufrió el Hospital por efectos del sismo del 98.....	23

Ilustración 19 Edificio Arq. Verdú, después del sismo.	24
Ilustración 20 Daño por columna corta en una columna del edificio.....	25
Ilustración 21 Daño en la mampostería del edificio Verdú.	25
Ilustración 22 Excesivo recubrimiento del Edif. Verdú.	25
Ilustración 23 Demolición del Hotel Piedra.....	26
Ilustración 24 Hotel La Herradura, después del sismo del 2016.	27
Ilustración 25 Mapa de zonas sísmicas del Ecuador y valor z.	31
Ilustración 26 Perfiles de suelo según la Nec-15.....	32
Ilustración 27 Espectro elástico de respuesta de aceleraciones.	34
Ilustración 28 Selección del C_t y α según el tipo de estructura.	36
Ilustración 29 Espectro sísmico elástico de desplazamientos para diseño.....	37
Ilustración 30 Valores de las derivas máximas, expresados como fracción de la altura de piso.....	37
Ilustración 31 Zona sísmica del Ecuador.....	42
Ilustración 32 Espectro sísmico elástico.	44
Ilustración 33 Factor de Importancia (I).	45
Ilustración 34 Coeficientes para irregularidades en elevación.	47
Ilustración 35 Coeficientes para irregularidades en planta.	48
Ilustración 36 Factor de reducción.....	49
Ilustración 37 Mapa de intensidades del terremoto del 16 de abril de 2016.	50
Ilustración 38 Espectro elástico de respuesta de aceleraciones para suelo tipo D.....	52

Ilustración 39 Cálculo de espectro de aceleración.	52
Ilustración 40 Espectro elástico de desplazamiento para suelo tipo D.	53
Ilustración 41 Espectro elástico de respuesta de aceleraciones para suelo tipo E.	55
Ilustración 42 Cálculo de espectro de aceleración.	55
Ilustración 43 Espectro elástico de desplazamiento para suelo tipo E.	56
Ilustración 44 Severo daños en la mampostería de toda la fachada del edificio La Fragata.	60
Ilustración 45 Daño estructural en viga de acople entre columnas.	61
Ilustración 46 Falla por cortante junto al apoyo derecho de la viga.	61
Ilustración 47 Desprendimiento del recubrimiento en columnas.	62
Ilustración 48 Fisura longitudinal en losa de piso.	62
Ilustración 49 Daño por fisura longitudinal en losa.	63
Ilustración 50 Extenso daño en vigas y losa por efecto de cortante.	63
Ilustración 51 Destrucción total de mampostería de bloque a lo largo de todos los pisos.	64
Ilustración 52 Fisuras en las paredes y desprendimiento del enlucido (sismo 1998).	68
Ilustración 53 Fisuras en las paredes y desprendimiento del enlucido (sismo 1998).	68
Ilustración 54 Fallo por cortante en columna de planta alta y colapso de paredes (sismo 1998).	69
Ilustración 55 Desprendimiento del enlucido en la base de la columna, se observa el acero de refuerzo (sismo 1998).	69

Ilustración 56 Fisuras longitudinal en las esquinas de las ventanas y en la pared (sismo 1998).	70
Ilustración 57 Fisura longitudinal en la unión de la pared con la columna (sismo 1998).	70
Ilustración 58 Se observa adosamiento entre estructuras (sismo 1998).	71
Ilustración 59 Fachada del edificio CNT, apuntalada (sismo 1998)	71
Ilustración 60 Daños en la perfilería y vidrios en puertas de oficina (sismo 1998).	72
Ilustración 61 Falla por tracción diagonal en mampostería (sismo 1998).	72
Ilustración 62 Daños en fachadas, caída de mampostería en el edificio Jalil.	77
Ilustración 63 Fachada lateral del edificio Jalil, después del sismo del 2016.	78
Ilustración 64 Daños internos en mampostería.	78
Ilustración 65 Daños en mampostería.	79
Ilustración 66 Desprendimiento del enlucido en la losa superior, se observa una falla longitudinal.	79
Ilustración 67 Daños en mampostería de recubrimiento.	83
Ilustración 68 Daños en mampostería y parapetos.	84
Ilustración 69 Astillamiento del hormigón, se observa el acero de refuerzo en cabeza de columna.	85
Ilustración 70 Existencia de grieta y ondulaciones en el contrapiso.	85
Ilustración 71 Desprendimiento de recubrimiento y falla por corte en vigas.	86

Ilustración 72 Daños en paredes interiores, grandes grietas en diagonal.	86
Ilustración 73 Fisuras y desprendimiento en celosías.	86
Ilustración 74 Presencia de grietas por cortante y flexión en columnas.	87
Ilustración 75 Grietas en recubrimiento de pisos.	87
Ilustración 76 Fisuras en muro del hospital.	88
Ilustración 77 Grietas inclinadas por cortante.	88
Ilustración 78 Grietas en articulación de viga y columna.	88
Ilustración 79 Caída de cielo raso, grietas en mampostería.	89
Ilustración 80 Se aprecia el acero en columna.	89
Ilustración 81 Grietas diagonales en mampostería.	89
Ilustración 82 Astillamiento del hormigón y prolongación de grietas en columnas. La falla se localiza en pie de columna.	90
Ilustración 83 Existe astillamiento y prolongación de grietas en zona central de la columna.	90
Ilustración 84 Grietas en diagonales.	91
Ilustración 85 Grietas y ondulaciones producto del hundimiento del suelo.	91
Ilustración 86 Daños por hundimiento del suelo.	92
Ilustración 87 Daños por hundimiento del suelo.	92
Ilustración 88 Hormigón reventado a consecuencia de falla del suelo.	92
Ilustración 89 Varias grietas de flexión se forman en la cabeza de la columna.	93

Ilustración 90 Desprendimiento de la placa o losa del suelo de la estructura.	93
Ilustración 91 Grieta de gran longitud se extiende hacia los niveles superiores, producto de la falla del elemento de la columna de soporte fue lesionada.	94
Ilustración 92 Colapso de paredes de la estructura.	94
Ilustración 93 Se evidencia falla en el nudo provocando fisuras en vigas adjuntas a la columna.	95
Ilustración 94 Fallas en cabeza de columna, presentan grietas en forma de X.	95
Ilustración 95 Grandes grietas en diagonal, planta baja.	96
Ilustración 96 Paredes susceptibles al colapso, planta baja.	96
Ilustración 97 Fachada del Almirante, después del sismo del 2016. ...	100
Ilustración 98 Fisuras en viga de comedor.	101
Ilustración 99 Fisuras en losa de comedor.	101
Ilustración 100 Serios daños en la mampostería.	102
Ilustración 101 Se observa fisuras de corte y flexión en viga descolgada. Además, se observa el hormigón bastante poroso y ha perdido su recubrimiento, el cual era excesivo.	102
Ilustración 102 La fisura de la viga atraviesa toda su sección transversal y atraviesa la losa junto al nervio.	103
Ilustración 103 Fisuramiento en la losa.	103
Ilustración 104 Se detectó que se cortó uno de los refuerzos inferiores para el paso de la bajante.	104
Ilustración 105 Viga cuya mampostería actuó como muro causando fisuras de corte.	104

Ilustración 106 Fisura debida a longitud excesiva del volado, se encuentra presente en los 5 primeros pisos.	105
Ilustración 107 Fisuras de los balcones. Se picó la losa para detectar la extensión de la fisura y se observó que no existe malla electrosoldada en loseta de compresión.....	105
Ilustración 108 Nervios de la losa presentan un hormigón defectuoso.	106
Ilustración 109 Se observa asentamiento relativo de la losa, aprox. de 0.5cm.	106
Ilustración 110 Fisura en zona de voladizo.....	107
Ilustración 111 Efecto del parámetro no-dimensional alfa, en la distribución de carga lateral.	109
Ilustración 112 IDRs normalizado por coeficientes de derivas de techo en edificios sujetos a una distribución de carga triangular y uniforme. ..	110
Ilustración 113 Ejemplo de nivel de daño 1.	111
Ilustración 114 Ejemplo de nivel de daño 2.	111
Ilustración 115 Ejemplo de nivel de daño 3.	112
Ilustración 116 IDR Vs estado de daño 1.	113
Ilustración 117 IDR Vs estado de daño 2.	113
Ilustración 118 IDR Vs estado de daño 3.	114
Ilustración 119 Factor para calcular la deriva de entrepiso.....	115
Ilustración 120 Comprobación del IDR con el estado de daño de las paredes.....	116
Ilustración 121 Factor para calcular la deriva de entrepiso.....	117
Ilustración 122 Comprobación del IDR con el estado de daño de las paredes.....	118

Ilustración 123 Cálculo de la deriva de entrepiso.	119
Ilustración 124 Comprobación del IDR con el estado de daño de las paredes.....	120
Ilustración 125 Cálculo de la deriva de entrepiso.	121
Ilustración 126 Comparación de IDR con el estado de daño de las paredes.....	122
Ilustración 127 Cálculo de la deriva de entrepiso.	123
Ilustración 128 Comparación del IDR con el estado de las paredes....	124
Ilustración 129 Límites de la deriva inelástica en diferentes países....	132

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, por medio de recolección de información, se estudia todos los edificios que se vieron afectados por el sismo del 16 de abril del 2016 en la ciudad de Bahía de Caráquez, seleccionando cinco edificaciones específicas que no mostraban causas evidentes para su demolición. La recolección de información fue por medio de periódicos, artículos técnicos, cambio de información verbal con profesionales, fotografías y las evaluaciones de los edificios realizados por las consultorías Soleico y Plan Procons. Obtenida la suficiente información de las edificaciones seleccionadas se procedió a realizar la memoria de cálculo de la aceleración y el desplazamiento elásticos correspondientes a un sistema de 1 GDL con período de vibración igual al de los edificios, la deriva inelástica máxima, la deriva inelástica entrepiso por el método de Miranda 1999 y el R (efectivo) relacionando la norma vigente (NEC-15) con los códigos de los años de diseño de los edificios (CEC-79 y CEC-02). Con los resultados de los cálculos se procedió a concluir si tuvieron motivos técnicos suficientes para demoler las edificaciones, se revisaron los criterios aplicados por los consultores para recomendar demolición, se contrastaron los resultados de las deformaciones laterales máximas según el método propuesto por el Dr. Miranda en 1999 con los resultados obtenidos usando la NEC-15 y se dieron algunas recomendaciones sobre la NEC-15 para un mejor diseño sismoresistente.

Palabras Claves: Bahía de Caráquez, sismo del 16 de abril del 2016, desplazamientos, coeficiente sísmico, derivas inelásticas, demolición.

ABSTRACT

In the present research work, by means of information gathering, all the buildings that were affected by the earthquake of April 16, 2016 in the city of Bahía de Caráquez are studied, selecting five specific buildings that did not show evident causes for its demolition. The collection of information was through newspapers, technical articles, verbal information exchange with professionals, photographs and evaluations of the buildings carried out by Soleico and Plan Procons consultancies. Once enough information was obtained from the selected buildings, the calculation memory of the acceleration and the elastic displacement corresponding to a system of 1 GDL with vibration period equal to that of the buildings, the maximum inelastic drift, the inelastic mezzanine drift by the Miranda 1999 method and the R (effective) relating the current standard (NEC-15) with the codes of the years of design of the buildings (CEC-79 and CEC-02). With the results of the calculations, it was concluded if they had sufficient technical reasons to demolish the buildings, the criteria applied by the consultants were reviewed to recommend demolition, the results of the maximum lateral deformations were contrasted according to the method proposed by Dr. Miranda in 1999 with the results obtained using the NEC-15 and some recommendations were given on the NEC-15 for a better earthquake-resistant design.

Key Words: Bahía de Caráquez, earthquake of April 16, 2016, displacements, seismic coefficient, inelastic drifts, demolition.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la costa Noroeste del Ecuador ha sido afectado por terremotos de gran magnitud, esto se debe a que se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad. La sismicidad que presenta el Ecuador Continental se la explica en gran parte por la subducción entre la placa Nazca (Placa oceánica) bajo la placa Sudamericana (Placa Continental).

Entre la ocurrencia de sismos y los bordes de placas tectónicas hay una relación directa.

Al acercarse o alejarse, las distintas placas provocan bordes distintos:

- Transformante
- Divergente
- Convergente

Los bordes transformantes se dan cuando dos placas que van en direcciones contrarias se mueven paralelamente, produciendo fricción entre ellas.

El borde divergente es un adelgazamiento de la corteza debido al alejamiento entre dos placas oceánicas o placas continentales.

Los bordes convergentes tienen tres tipos de convergencia de placas:

- Continental – Oceánica
- Continental – Continental
- Oceánica – Oceánica

Ecuador pasa por un borde Convergente Oceánico – Continental. Se produce cuando la corteza oceánica, al ser más densa, subducta debajo de la corteza continental generando magmatismo, cuña astenosférica y arcos volcánicos, junto con contacto sismogénico interplaca y sismicidad intraplaca (Argudo, 2011).

1 CAPÍTULO I: Información General del proyecto

1.1 Antecedentes

En las costas del Ecuador el 16 de abril del 2016 a las 18:58 (hora local) ocurrió un sismo con magnitud de 7.8 Mw (Magnitud de momento), a 20km de profundidad, el epicentro se localizó entre Muisne y Pedernales, en las provincias de Esmeraldas y Manabí. Fue uno de los sismos más destructivos que ha tenido el Ecuador en los últimos 30 años.

Debido a la magnitud del terremoto las provincias más afectadas fueron Manabí y Esmeraldas ya que estaban más cercanas al epicentro. Sin embargo, en las otras provincias de la costa ecuatoriana y en la sierra norte también fue sentido con fuerza el sismo con la diferencia que los daños en las estructuras fueron menores.

En Bahía de Caráquez la mayoría de las edificaciones, casas, hoteles, colegios y hospitales tuvieron daños estructurales y no estructurales, al punto que algunas edificaciones tuvieron que demolerse porque presentaban un alto riesgo para la comunidad. En un reportaje que realizó Teleamazonas se indicó que, en una segunda evaluación, las autoridades confirmaron que el 95% de Bahía de Caráquez quedó destruido por el terremoto.

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) contrató a varios profesionales y consultoras como Soleico y Plan Procons con el propósito de realizar una inspección y evaluación de las edificaciones afectadas por el sismo, para conocer el grado de daño y fallas que tenían, con el objetivo de determinar si éstas podrían ser reforzadas, reparadas o demolidas.

1.2 Justificación

Antes de tomar la decisión de demoler un edificio, deberá ser inspeccionado y evaluado por profesionales que realizarán diferentes tipos de ensayo y un informe técnico en el cual describirá todos los daños, fallas y si la estructura representa un peligro. De acuerdo con la evaluación un profesional concluirá si la edificación puede seguir funcionando, con reforzamiento o debe ser demolida.

Se debe tomar en cuenta que hay ocasiones en que, si se puede reparar la estructura, pero el costo en reforzamiento es más alto que el costo de una nueva construcción, por ese **factor económico** es más factible la demolición.

En el presente trabajo de investigación se quiere conocer si se realizaron las inspecciones y evaluaciones correspondientes, con bases científicas y técnicas, antes de la toma de decisión de demoler las edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril del 2016 en Bahía de Caráquez.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar si los edificios demolidos en la ciudad de Bahía de Caráquez después del sismo del 16 de abril de 2016 tenían daños que ameritaban dicha demolición desde el criterio de la Ingeniería Civil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Dar a conocer los daños que presentaban los edificios afectados por el sismo del 16 abril de 2016 en Bahía de Caráquez, que motivaron la decisión de su demolición.
- Exponer los requisitos necesarios que un edificio debe cumplir para que sea sometido a una demolición de una manera técnicamente motivada.

1.4 Alcance

Se estudiarán todos los casos disponibles o accesibles de demolición de los edificios que sufrieron afectación por causa del terremoto del 16 de abril de 2016 en la ciudad de Bahía de Caráquez, determinando los tipos de daños sufridos, las características arquitectónicas y estructurales del edificio, el tipo de suelo según la NEC-15, 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 la estructura según la NEC-15.

Las deformaciones laterales máximas se analizarán según el método propuesto por el Dr. Eduardo Miranda (Universidad de Stanford) en 1999. Los resultados serán contrastados con los obtenidos usando la NEC-15.

Por último, se determinará desde el punto de vista de Ingeniería civil, si los daños sufridos comprometieron la seguridad de la estructura de manera tal que la rehabilitación no fuera técnica o económicamente posible.

1.5 Metodología

Mediante las publicaciones existentes en internet, diarios, publicaciones especializadas e información verbal de profesionales, se determinarán los casos de edificios públicos y privados que se conozca que hayan sido demolidos en la ciudad de Bahía de Caráquez después del sismo del 16 de abril de 2016.

Con cartas de presentación de la Universidad Católica de Guayaquil, firmadas por las autoridades correspondientes, se procederá a notificar de la realización del estudio a las entidades públicas y privadas, propietarias o responsables de los edificios; y a solicitar la información correspondiente (planos arquitectónicos antes y después del sismo, planos estructurales antes y después del sismo, memoria de cálculo original del edificio, memoria de cálculo de la rehabilitación, memoria técnica de construcción, informes de inspecciones técnicas después del terremoto, informes que sustentan la demolición, fotografías o videos).

Con esta información, se aplicará el Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente de la NEC-15 (Código NEC-SE-DS) para determinar 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. Estos últimos valores se compararán con los valores admisibles de acuerdo con 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 durante el terremoto del 16 de abril del 2016 en Bahía de Caráquez 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, se elaborarán las conclusiones de cada caso, definiendo si la demolición estaba justificada o no desde el criterio de la Ingeniería Civil.

2 CAPÍTULO II: Recolección de información

En el presente capítulo se recolectará toda la información disponible y accesible acerca de los edificios que fueron afectados por el sismo del 16 de abril del 2016 y que luego fueron demolidos. La información recolectada será de periódicos, sitios web, información verbal con profesionales, papers y fotografías.

2.1 Periódicos y sitio web

2.1.1 Diario El Universo

El 18 de junio del 2016 el diario “El Universo” reportó que en Bahía se habían estudiado 9482 edificaciones, determinando la destrucción de 455 y 2822 afectadas (Palma, 2016).

El 21 de Julio del 2016 el diario El Universo reportó que varios padres de familia de La Unidad Educativa La Inmaculada, ubicada frente al edificio Cabo Coral, habían recolectado firmas para que dicha edificación sea considerada en el proceso de demolición, por el riesgo que presenta la estructura (Bosco, 2016).

El 16 de octubre del 2016 el diario “El Universo” indicó que hubo otro reporte del estado de las edificaciones, pero del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), el cual señaló que en Bahía se habían demolido 530 edificaciones, pero no señalaba cuales podían repararse ni cuantos quedaban por derrumbarse (Olmos, 2016).

El 18 de septiembre del 2016 el diario “El Universo” reportó que el edificio Torremar estaba siendo demolido lentamente por una retroexcavadora por el Ingeniero Fernando Arboleda, residente de obra de HM Construcciones. Simultáneamente, cerca del Torremar se estaba demoliendo el edificio Cabo Coral, el cual soportó los efectos del sismo del 98 pero ahora el COE ya había dado la disposición de tumbarlo (Olmos, 2016).

Olmos menciona también que edificios como el Hotel Italia, que era un símbolo del turismo en Bahía, y la Unidad Educativa del Milenio, Eloy Alfaro se encontraban abandonadas (Olmos, 2016).



Ilustración 1 Unidad educativa del Milenio, después del sismo del 2016.
(Fuente: El Universo)

El 16 de octubre del 2016 el diario “El Universo” publicó que la demolición del edificio Torremar llevaba ya dos meses, con la técnica de cama, y que el Ingeniero Arboleda comentó que la tarea le llevará 2 semanas más (Anónimo, 2016).

Menciona también que junto al Torremar se encuentra el edificio Jalil, uno de los insignes de Bahía, que resistió el sismo del 98 pero ahora se ve severamente afectado. El edificio Nautilus está cercado por cinta de seguridad y enfrente hay maquinarias, le siguen otros edificios como el Salango que se encuentra deshabilitado, como también La Fragata. El Delfín, El Capitán, Punta norte y otros (Anónimo, 2016).



Ilustración 2 Demolición del Torremar.
(Fuente: El Universo)

El 16 de octubre del 2016 en una nota publicada por José Olmos en el diario El Universo, se observa una imagen de una maquinaria enfrente del edificio Nautilus y en la descripción de la imagen decía que la maquinaria ya estaba lista para operar. La foto fue tomada el jueves 13 de octubre del 2016.



Ilustración 3 Maquinaria lista para operar frente al edificio Nautilus.

(Fuente: Jorge Guzmán - El Universo)

A casi un año del terremoto del 2016, el 7 de abril del 2017, el diario El Universo reportó que el Hospital Miguel H. Alcívar iba a ser demolido por la empresa Trucpar. Cristian Rodríguez, jefe de Seguridad Ciudadana del Municipio de Sucre, manifestó que el MIDUVI había contratado a una consultora para que se encargara del estudio de edificaciones de 4 pisos, entre las cuales se incluyó al Hospital. Dicho estudio determinó que la estructura no servía para operar como un centro médico y el estudio de suelo indicó que no se volviera a levantar una nueva estructura en el mismo lugar (Anónimo, 2017).



Ilustración 4 Hospital Miguel H. Alcívar después del sismo del 2016.
(Fuente: El Universo)



Ilustración 5 Hospital Miguel H. Alcívar después del sismo. Fachada delantera.
(Fuente: El Universo)

El 30 de mayo del 2017 el diario El Universo reportó que había dos edificaciones que debían ser demolidas, una de ellas era la Sociedad de obreros en Bahía de Caráquez, pero tenían inconvenientes ya que había personas que se rehusaban a desalojar el inmueble. El Municipio de Sucre había sido informado para que tome medidas en la supuesta controversia “o de lo contrario se terminaría el proyecto de demolición en ese edificio (Anónimo, 2017)

El 30 de mayo del 2017 el diario El Universo reportó que 11 edificios notificados por el COE y el MIDUVI han sido demolidos en Bahía de Caráquez y 1 que iniciará en los próximos días (El Almirante); mientras que hay dos edificaciones que son el hotel La Piedra y el Hotel Bahía Alta, que ingresarán a un nuevo análisis estructural (Anónimo, 2017).

Otra edificación que está a la espera es la Sociedad de obreros del cantón, ubicada en la avenida Bolívar, la misma que cayó en su parte alta, pero en cuya parte baja, aún hay locales en funcionamiento, indicó Rodríguez (Anónimo, 2017).

El 30 de noviembre del 2017 el diario El Universo reportó que para el 20 de diciembre se fijó la demolición del edificio El Almirante por voladura Controlada o por Implosión. El edificio resultó con daños graves en la estructura. Manuel Gilces, alcalde del Cantón Sucre, confirmó que la demolición la iba a ejecutar la empresa Tragsa y que la conclusión para demoler la edificación fue respaldada por informes técnicos respaldados por el MTOP.



Ilustración 6 Edificio El Almirante, después del sismo del 2016
(Fuente: El Universo)

2.1.2 Diario El Diario

El 23 de mayo del 2016 el diario El Diario reportó que el edificio Cabo Coral fue uno de los edificios que soportó los efectos del sismo del 98, el cual no sufrió daños en su estructura. Pedro Cedeño, cuidador de la edificación, aseguró que después del sismo del 2016 la estructura apenas tuvo desprendimiento del enlucido, absorbiendo toda la energía del terremoto, ya que “estaba más tieso que un roble”, afirmó (Anónimo, 2016).

También reporta que el edificio Bahía Blanca, estaba en proceso de demolición por la seriedad de sus daños, dijo Rodríguez (Anónimo, 2016).



Ilustración 7 Edificio Cabo Coral, después del sismo del 2016.
(Fuente: El Diario)

El 11 de noviembre de 2016 el diario El Diario reportó, que el edificio Jalil y el edificio Fragata t informe de demolición y en el caso del Nautilus tienen un informe técnico que recomiendan derrocarlo, pero el alcalde esperaba un informe de técnicos de la Universidad Central del Ecuador para saber cuál iba a ser el destino del inmueble (Anónimo, 2016).

El 26 de marzo del 2017 el diario El Diario reportó que iba a demoler el Hospital Miguel H. Alcívar y será construido frente al terminal terrestre. Además, ya habían demolido los edificios Jalil y el Cuerpo de Bombero. El edificio La Fragata lo iba a cortar en los pisos superiores por medio de plasma y otra

parte con grúa porque al lado estaba en construcción un edificio (Anónimo, 2017).

El 26 de mayo del 2016 el diario El Diario reportó que el inmueble La Capitanía, estaba ubicado en el malecón Alberto F. Santos, se mantuvo operativo 45 años, desde que fuera inaugurado en 1971 por las autoridades navales y cantonales, y deberá ser demolido por las afectaciones que sufriera a causa del terremoto del 16 abril (Anónimo, 2016).

Álvaro Cruz, capitán de Puerto de Bahía de Caráquez, manifestó que el terremoto dejó bastante sentida la edificación, por lo que ha sido inspeccionada por varias entidades como el Cuerpo de Bomberos, Cuerpo de Ingenieros del Ejército, un grupo de profesionales de la Universidad de Houston de Estados Unidos, y de la misma Armada Nacional, llegando a la misma conclusión de demolición de la estructura. (Anónimo, 2016)



Ilustración 8 Edificio de La Capitanía después del sismo del 2016.
(Fuente: El Diario)

El 16 de abril del 2017 el diario El Diario reportó, que el hotel Salango. Albatros II y Fragata entraron a un proceso de demolición. Cristian Rodríguez manifestó que en total 22 edificios pasaron un proceso de estudios por parte de una consultora contratada por el MIDUVI, de los cuales más del 70 por ciento podrían ser reparados y 5 de ellos demolidos. Los 5 demolidos fueron los edificios Jalil, Torremar, Cabo Coral, Los Vaqueros y el Delfín (Anónimo, 2017).

El 21 de noviembre del 2017 el diario El Diario reportó, que después del edificio El Almirante no había más edificios por demoler, ya que en el caso del Nautilus los propietarios llegaron a un acuerdo con el municipio, tras la presentación de estudios de ingeniería, para que sea reconstruido (Anónimo, 2017).



Ilustración 9 Edificio El Almirante, después del sismo del 2016.
(Fuente: El Diario)

El 21 de marzo del 2018 en el diario El Diario, Alfonso Delgado escribió su opinión acerca de lo que había acontecido en Bahía de Caráquez después del sismo del 2016.

El manifestó que hubo poca atención dada por las autoridades y organismos llamados a planificar y hacer objetiva la reconstrucción y la rehabilitación económica con la creación de fuentes de trabajo. Comenta que se procedió a la demolición indiscriminada de casas y edificios como el del IESS, la compañía telefónica, entre otros (Delgado, 2018).

2.1.3 Diario El Comercio

El 15 de mayo del 2016 el diario El Comercio reportó que el hotel Bahía Blanca, de 5 pisos más una terraza cubierta, el cual soportó los efectos del sismo del 98, había sido demolida el 14 de mayo, presentando daños estructurales tras el terremoto del 2016 (Anónimo, 2016).



Ilustración 10 Hotel Bahía Blanca después del sismo del 2016.
(Fuente: El Comercio)



Ilustración 11 Planta baja del Hotel Bahía Blanca después del sismo del 2016.
(Fuente: El Comercio)



Ilustración 12 Planta baja del Hotel Bahía Blanca después del sismo del 2016.
(Fuente: El Comercio)

El 14 de julio del 2016 en el diario El Comercio reportó que dos maquinistas estaban demoliendo el edificio Costa mar, una de las primeras grandes demoliciones en Bahía de Caráquez, ubicada en la Av. Virgilio Ratti y Marañón. La estructura de 8 pisos fue afectada por el terremoto del 16 de abril del 2016, sufriendo poco daño, pero la demolición causaba estragos y abolladuras, despertando la preocupación de los vecinos (García, 2016).



Ilustración 13 Edificio Costa Mar después del sismo del 2016.
(Fuente: Wladimir Torre – El Comercio)

El 15 de octubre del 2016 el diario El Comercio reportó que el Expresidente Rafael Correa había dado un aviso a los propietarios de las estructuras para que las reparen o sino todas serían demolidas ya que espantaban el turismo (Ortiz, 2016).



Ilustración 14 Estado de edificaciones en Bahía de Caráquez.
(Fuente: El Comercio/Twitter: Rafael Correa)

El 26 de septiembre del 2016 el diario El Comercio reportó que se habían identificado tres edificios para su demolición, los cuales era el Nautilus (8 pisos), la Sociedad de Obreros (7 pisos) y uno que no tenía nombre (8 pisos) (González, 2016).

El 20 de diciembre del 2017 el diario “El Comercio” reportó como fue el operativo para el desmontaje del edificio y cuanto duró.

Para el desmontaje de El Almirante se emplearon 18 kilogramos de dinamita que se distribuyeron en 200 cargas adheridas a las diferentes bases del inmueble. Jorge Montassell, representante de Tragsa, dijo que los restos de bloques y concreto se desprendieron hacia el malecón de la playa dentro un área confinada estratégicamente para facilitar la recolección. Los técnicos de la empresa Tragsa, contratada por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO), demolieron el edificio en menos de cuatro segundos (Velasco, 2017).



Ilustración 15 Demolición del edificio El Almirante.
(Fuente – YouTube)

2.1.4 Diario Expreso

El 31 de Julio del 2016 el diario “Expreso” dio a conocer el estado de algunas edificaciones icónicas.

Mencionó que el edificio de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social y parte del municipio habían sido demolidos, el Servicio de Rentas Internas estaba aún de pie, pero con sus puertas cerradas; la Capitanía del puerto estaba en proceso de demolición, mientras que el edificio del museo estaba destruido, el mercado estaba inhabilitado. Del sector privado, el Banco del Pichincha estaba en proceso de demolición y el supermercado Tía estaba cerrado (Albán, 2016).

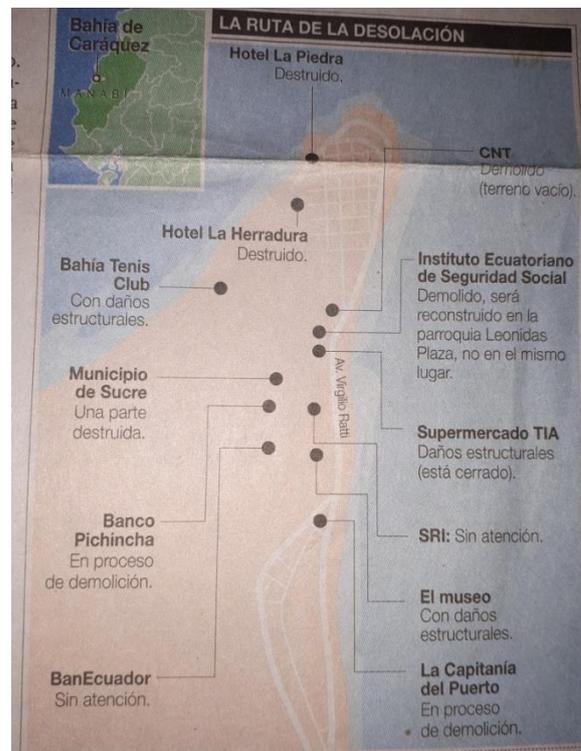


Ilustración 16 Ubicación de las zonas edificaciones afectadas.
(Fuente: Miguel Rodríguez – Expreso)

2.1.5 Diario El Telégrafo

El diario “El Telégrafo” reportó que el Almirante había quedado seriamente afectado después de haber soportado dos fuertes terremotos (1998 y 2016), incluso el hierro de la estructura estaba débil, según informes del Municipio de la localidad (Rivero, 2017).

El 20 de diciembre del 2017 el diario El Telégrafo reportó que la edificación El Almirante había sido reducida a escombros esa tarde a las 16:03 (Hora local), utilizando el método del Implosión, actividad que duro tan solo 3 segundos (Rivero, 2017).

2.2 Papers

2.2.1 Ing. Alex Villacrés

El ingeniero Alex Villacrés, profesor de ingeniería civil de la UCSG, realizó un informe que describía de forma general los daños que tuvieron las edificaciones en Bahía de Caráquez por el sismo del 4 de agosto de 1998 en el sector noroeste, sureste, noreste, suroeste y banda sur.

Este informe nos sirve en nuestra investigación para saber si la estructura de los edificios que se van a estudiar ya estaba debilitada por el sismo del 1998.

Tabla 1 Edificios afectados por el sismo del 98 con su nivel de daño.

NOMBRE	TIPO	No. Pisos	NIVEL DE DAÑO	DESCRIPCION DE DAÑOS
SECTOR NOROESTE				
Calypso	H.A. Pórticos.	7	Colapso	Colapso total
Karina	H.A. Pórticos.	5	Muy severo	Falla en columnas de primeros pisos
Los Corales	H.A. Pórticos.	6	Muy severo	Falla en columnas de primeros pisos
Maron Jalil	H.A. Pórticos.	7	Colapso parcial	Colapso de último piso
Neptuno	H.A. Pórticos.	6	Ligero	Fallas en paredes
El Delfín	H.A. Pórticos.	6	Severo	Destrucción de paredes, spalling en columnas.
Albatros	H.A. Pórticos.	9	Severo	Destrucción de paredes
Salango	H.A. Pórticos.	10	Muy severo	Gran destrucción de paredes. Punzonamiento de losa.
Nautilus	H.A. Pórticos.	9	Severo	Gran destrucción de paredes
Cabo Coral	H.A. Pórticos.	10	Muy severo	Gran destrucción en paredes y balcones
Bahía Blanca	H.A. Pórticos.	5	Ligero	Fisuras ligeras en paredes
SECTOR SURESTE				
Italia	H.A. Pórticos.	5	Severo	Destrucción de paredes en planta baja
Aso. Empleados del Cantón Sucre	Mixto	2	Colapso parcial	Colapso de parte del segundo piso
Banco de Guayaquil	H.A. Pórticos.	3	Severo	Agrietamiento de paredes en planta baja
Av. Simón Bolívar entre Riofrío y Ascázubi	Mixto	4	Colapso parcial	Colapso total de paredes de fachada
Banco del Pichincha	H.A. Pórticos.	3	Severo	Destrucción de paredes en planta baja
Copias Xerox	Mixto	4	Colapso	Colapso total de paredes de fachada
Pro-Sport	H.A. Pórticos.	3	Severo	Destrucción de paredes en planta baja
Almacén Vida y Luz	H.A. Pórticos.	4	Severo	Agrietamiento de paredes en planta baja y Mezanine
Pacifictel	H.A. Pórticos.	3	Muy severo	Destrucción de paredes y de detalles de fachada, spalling en columnas.
Cuartel de bomberos	Mixto	2	Colapso	Colapso de segundo piso
Comandato	H.A. Pórticos.	5	Ligero	Agrietamiento de paredes
Universidad Eloy Alfaro Extensión Bahía.	H.A. Pórticos.	4	Colapso parcial	Colapso de último piso

Banco de Fomento	H.A. Pórticos.	7	Muy severo	Destrucción de paredes. Graves daños
Laboratorios Labogarvana S.A.	H.A. Pórticos.	4	Severo	Agrietamiento en paredes
El Portal	H.A. Pórticos.	5	Ligero	Grietas en paredes
Edificio Carlos Delgado C.	Mixto	4	Severo	Caída de paredes de fachada. Destrucción de paredes.
Pío Montúfar entre Ante y Ascázubi	Mixto	4	Severo	Caída de paredes en fachada superior.
SECTOR NOROESTE				
Coliseo de Deportes	Acero y H.A. Pórticos y Armaduras	3	Ligero	Caída de bloques ornamentales
Banco Ecuatoriano de la Vivienda	H.A. Pórticos.	4	Ligero	Fisuras en paredes
Colegio Nacional Eloy Alfaro	H.A. Pórticos.	2	Ligero	Caída de bloques ornamentales
La Herradura	H.A. Pórticos.	4	Severo	Destrucción de paredes en primeros pisos
Clínica Bahía	H.A. Pórticos.	4	Severo	Agrietamiento de paredes.
Agua Marina	H.A. Pórticos.		Ligero	Grietas en paredes
El Pirata	H.A. Pórticos.		Ligero	Grietas en paredes
SECTOR SUROESTE				
Oficinas del Agua Potable	H.A. Pórticos.	3	Ligero	Fisuras en paredes
Bahía Bed and Breakfast	Mixto	4	Severo	Destrucción de paredes laterales
Las Brisas	H.A. Pórticos.	10	Ligero	Ligeras fisuras
Teatro Municipal	H.A. Pórticos.	3	Ligero	Fisuras, ligeras grietas
Municipio	H.A. Pórticos.	3	Ligero	Fisuras
BANDA SUR				
Miguel H. Alcívar.	H.A. Pórticos.	4	Severo	Falla en columnas de primer piso

Elaborado por: Ing. Alex Villacrés

2.2.2 Ing. Roberto Aguiar

El ingeniero Roberto Aguiar, junto con otros profesionales, realizaron un estudio acerca de los factores que se deben tener en cuenta al momento de clasificar un suelo. El artículo fue publicado por el Ing. Aguiar en la revista CIENCIA, el cual indica que la velocidad de la onda de corte no es suficiente para clasificar el suelo, sino que tiene que ser complementada con el periodo de vibración del suelo o con la magnitud máxima del espectro de Fourier (Aguiar, Espinosa, Carrión, & Zambrano, 2018).

Según el presente estudio, las edificaciones que se van a estudiar deberían estar clasificadas según el siguiente tipo de suelo:

- Edificio Fragata, suelo tipo C

- Edificio Jalil, suelo tipo C
- Edificio El Almirante tipo D

Pero en los estudios realizados por la consultoría Soleico y Plan Procons se demuestra que las edificaciones a estudiarse tienen distintas clasificaciones de suelo, que son las que se va a utilizar para el análisis de las edificaciones en el presente estudio.

En otro Paper del Ing. Roberto Aguiar se estudia el caso del edificio La Fragata donde da a conocer los daños que tuvo la edificación a causa del sismo del 16 de abril del 2016 y la calidad del hormigón utilizado.

El edificio tenía 10 pisos y se encontraba ubicado en la Puntilla de Bahía de Caráquez. El primer piso era de parqueadero, en el segundo piso estaba el área social y la piscina y los otros pisos eran de departamentos.

En la fachada principal no se aprecia un daño extensivo como en la fachada posterior y la razón de este gran daño, era debido a la existencia de una doble pared por motivos arquitectónicos. El mayor daño se presentó en el pórtico E y el pórtico 5 (Aguiar, 2017).

En resumen, se produjo un daño entre moderado y extensivo en las vigas del Pórtico E, entre los ejes 2 y 3 hasta el piso 5. (No se descarta la existencia de daño en alguna otra viga, pero será leve). En muy pocas columnas el daño fue entre leve y moderado; la mayor parte tuvo daño leve y sufrieron los elementos verticales del segundo piso en el nudo inicial. En ninguna sección se formó una rótula plástica que por definición se da cuando la sección del elemento estructural no es capaz de resistir mayores momentos y empieza a rotar (Aguiar, 2017).

En lo que respecta a la resistencia del hormigón en el edificio, la resistencia más baja fue la del ascensor-gradita Piso 6 según un estudio realizado por el Ing. Telmo Sánchez datos que fueron analizados por el Ing. Roberto Aguiar, en el cual indica que existen dudas sobre la confiabilidad de los resultados obtenidos, debido a que en el piso 7 no hubo daño y la resistencia del hormigón debió estar alrededor de los 260 kg/cm² (Resistencia que se

encuentra en los archivos de la construcción del edificio). La resistencia de diseño fue de 240 kg/cm².



Ilustración 17 Fachada principal y posterior del edificio La Fragata, después del sismo del 2016.

(Fuente: Ing. Roberto Aguiar)

2.2.3 Ing. Jaime Argudo

El 4 de agosto de 1998 se produjo un terremoto de Magnitud 7.1 donde el hospital tuvo daños estructurales moderados y daños no estructurales severos, razón suficiente para realizar una evaluación. La evaluación la realizó el Ing. Jaime Argudo en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, quien propuso reforzar la estructura.

Como resultado final se tenía que el hospital debía ser rehabilitado reforzando previamente sus estructuras puesto que su ocupación bajo las condiciones en la que se encontraba era insegura (varias de sus columnas habían fallado) (Argudo, 1998).

Pero la rehabilitación y el reforzamiento del hospital se realizaron con un estudio hecho por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Ecuatoriano, en el cual su diseño era más simplificado y económico.



Hospital de Bahía: Falla por cortante en una columna perimetral de la planta baja, debido a la concentración de esfuerzos en la parte superior y a la restricción lateral. Ref. 6



Hospital de Bahía: Escalera de Emergencia. Ref. 2



Hospital de Bahía: Choque o impacto entre la escalera de emergencia y el edificio. Ref. 1



Hospital de Bahía: Se aprecia una de las columnas perimetrales de planta baja que colapsó. Ref. 2



Hospital de Bahía: Nótese la mala práctica en la fundición de las columnas. Ref. 1

**Ilustración 18 Algunos de los daños que sufrió el Hospital por efectos del sismo del 98.
(Fuente: Jaime Argudo)**

2.2.4 Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica

La investigación realizada por los Ingenieros Adalberto Vizconde Campos, Marcos Cortez Vélez y Fabián Macas Jaramillo presentada en el XXI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica dio a conocer las causas del colapso o las fallas en la estructura que dieron pie a la demolición de algunos de los edificios.

En esta investigación se evaluaron daños de 5 edificios de entre 7 a 11 pisos ubicado en la Puntilla de Bahía de Caráquez, teniendo una estructura similar. Estas edificaciones fueron: Jalil, Salango, Nautilus, Almirante y Horizonte.

El edificio Jalil tenía 7 pisos más una terraza, con un sistema de columnas y vigas de banda ancha en ambas direcciones y con algunas vigas peraltadas en el primer piso. El edificio Salango tenía 10 pisos, estructura conformada por marcos con dos muros de concreto armado en zona de ascensor y losas nervadas, combinaba columnas de sección circular y rectangular, con daños estimados de 30-60% siendo catalogado como inseguro. El edificio Nautilus tenía 9 pisos, de forma irregular en planta con volados excesivos, conformada de marcos de concreto armado, con daños de 30-60% siendo catalogado como inseguro. El edificio Horizonte tenía 11 pisos, conformada por marcos resistentes a momentos y algunos muros estructurales, se presentaron daños moderados en las columnas y gran daño de los elementos no estructurales,

con daños de 10-30%. El edificio El Almirante tenía 9 pisos, una forma irregular en L, presentaba fallas por torsión, deterioro parcial de elementos no estructurales, tuvo daños estimados de 60-100% catalogándolo como inseguro.

2.3 Fotografías

Las siguientes fotografías fueron facilitadas por el Ingeniero Alex Villacrés. Son edificios que fueron afectados por el sismo del 16 de abril del 2016 los cuales ya fueron demolidos.

El edificio Verdú era un edificio de 4 plantas, y su dueño era el Arq. Verdú. Después del sismo del 16 de abril de 2016 el edificio quedó con gran daño en la mampostería, se formaron rótulas plásticas en varias de las columnas de la planta baja y se pudo observar que el espesor del recubrimiento de paredes era excesivo.

Para el 30 de abril del 2017 el edificio ya había sido demolido.



Ilustración 19 Edificio Arq. Verdú, después del sismo.
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 20 Daño por columna corta en una columna del edificio.
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 21 Daño en la mampostería del edificio Verdú.
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)

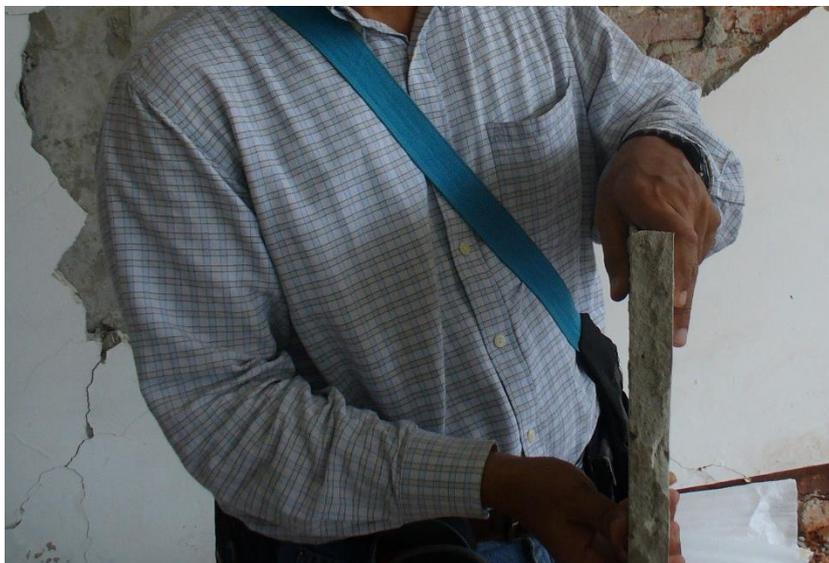


Ilustración 22 Excesivo recubrimiento del Edif. Verdú.
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)

El hotel La Piedra se encontraba ubicado en Av. Virgilio Ratti 802, fue construido años después del sismo del 1998 y tenía 2 plantas, era un hotel insigne de Bahía.

El hotel después del sismo quedó en abandono, y la demolición se realizó un año después.



Ilustración 23 Demolición del Hotel Piedra.
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)

El hotel La Herradura tiene 2 pisos y está ubicado en el sector Noroeste de Bahía de Caráquez. El hotel tuvo un nivel de daño severo después del sismo del 98.

En una noticia del diario El Expreso indica que el hotel La Herradura había quedado destruido después del sismo del 16 de abril del 2016, pero en un intercambio de información con un profesional (Ing. Villacrés) manifiesta que el hotel no estaba destruido y que en la actualidad sigue en pie.



Ilustración 24 Hotel La Herradura, después del sismo del 2016.
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)

2.4 Lista de edificios afectados por el sismo del 16 de abril del 2016

Tabla 2 Lista de los edificios afectados por el sismo del 16 de abril del 2016.

Edificios Afectados	Uso (*)	¿se va a estudiar?	Motivo
Miguel H. Alcívar	Hs	Si	El Hospital debió soportar el sismo del 2016, presentando daños solo en la mampostería, ya que después del sismo del 98 la estructura fue reforzada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Ecuatoriano y entonces ¿Por qué fue demolido?
La Fragata	C	Si	No hay evidencia (fotos) que indique el daño de la edificación a tal punto que deba ser demolido. Solo se evidencia daños no estructurales y daños estructurales leves que si pueden ser reparados o reforzados.
Colegio del Milenio	E	No	No está demolido. Presentaba daños en la mampostería.
Mercado Municipal	O	No	No está demolido. Presentaba un nivel de daño leve en la planta baja como fallas por corte en columnas, grietas y fisuras; En la planta 1 se observó falla moderada en viga y en la planta 2 no se observó ninguna falla.
Nautilus	C	No	No está demolido, ya que los copropietarios presentaron nuevos informes técnicos, realizado por un profesional particular, para reparar y reforzar la estructura.
El Almirante	C	Si	No hay evidencia (fotos) que indique el daño de la edificación a tal punto que deba ser demolido. Solo se evidencia daños no estructurales y daños estructurales leves que sí pueden ser reparados o reforzados.

Salango	C	No	Demolido. Nivel de daño severo. Presentaba punzonamiento de losa, falla por cortante de viga peraltada, falla de conexión viga-muro de corte. Además, tuvo un nivel de daño severo en el sismo del 98.
Albatros II	C	No	Demolido. Falla en pie de columna de sección circular en planta baja, fisuras en piso de terraza con ondulaciones leves, exposiciones de las barras de acero en columnas y muros. Según el informe de evaluación los daños en columnas y muros fueron fuertes, en vigas, nudos y entrepisos fueron moderados.
La Capitanía	C	No	Demolido. Asentamiento diferencial en parte de la estructura, losa de entrepiso agrietada a causa del asentamiento.
Asoc. de Obreros	O	No	Demolido. Falla por corte moderada en cabeza de columna, falla por flexión de viga en planta baja, presencia de rótula plástica y falla en la unión viga columna, fisura por asentamiento del suelo no uniforme.
Jalil	C	Si	No hay evidencia (fotos) que indique el daño de la edificación a tal punto que deba ser demolido. Solo se evidencia daños no estructurales y daños estructurales leves que si pueden ser reparados o reforzados.
Torremar	C	No	Demolido. Edificio afectado por sismo del 98. Después del sismo del 2016 quedó severamente afectado según el diario El Universo, se lo decidió demoler.
Bahía Blanca	C	No	Demolido. Presentaba daño severo. Rotulas plásticas en las columnas de la planta baja
Costa Mar	C	No	Demolido. Edificio afectado por sismo del 98. Después del sismo del 2016 quedó afectado según el diario El Comercio, se lo decidió demoler.
Cabo Coral	Ho	No	Demolido. No estaba en servicio. Solo quedaba el esqueleto de la estructura, desde el sismo del 98.
La piedra	Ho	No	Destruído por el sismo del 16A.
La Herradura	Ho	No	No está demolido. Se encuentra abandonado.
CNT	O	Si	No hay evidencia (fotos) que indique el daño de la edificación a tal punto que deba ser demolido. Solo se evidencia daños no estructurales y daños estructurales leves que sí pueden ser reparados o reforzados.
Arq. Verdú	P	No	Demolido. Nivel de daño muy severo. Rótulas plásticas en las columnas de la planta baja

(*) C: Condominio, Hs: Hospital, E: Educativo, O: Oficial, Ho: Hotel, P: Particular.
Elaborado por: La Autora

2.5 Selección de edificios demolidos.

De todos los casos disponibles que se encontraron, se escogerán 5 para el presente trabajo de investigación y se realizará el respectivo análisis técnico ingenieril. Dicho análisis se lo realizará con la información de los estudios realizados a los edificios afectados por el sismo del 16 de abril del 2016 por

las consultorías de Soleico y Plan Procons, solicitada al municipio del Cantón Sucre y al MIDUVI.

Tabla 3 Características de los edificios seleccionados que se va a estudiar.

No	Edificios	Características	
1	Hosp. Miguel H. Alcívar	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Ubicación	Calle Rocafuerte entre Virgilio Stopper y Río Amazonas.
		Número de pisos	4
2	CNT	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Ubicación	Calle Malecón y Arenas.
		Número de pisos	3
3	Edificio La Fragata	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Ubicación	Av. Virgilio Ratti y Daniel Hidalgo.
		Número de pisos	10
4	Edificio Jalil	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Ubicación	Calle Ciudad de Bahía y Av. Virgilio Ratti.
		Número de pisos	7
5	Edificio El Almirante	Provincia	Manabí
		Ciudad	Bahía de Caráquez
		Ubicación	Calle Ciudad de Bahía y Av. Virgilio Ratti.
		Número de pisos	9

Elaborado por: La Autora

3 Capítulo III: Metodología

Una vez obtenida toda la información sobre los edificios seleccionados, de los diferentes sitios web, periódicos, papers, fotografías, información verbal y estudios proporcionados por el MIDUVI y el Municipio del Cantón del Sucre, se aplicará el Capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente de la NEC-15 (Código NEC-SE-DS) para determinar 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 las deriva inelástica máxima de los edificios durante el sismo.

Una vez calculado dichos parámetros se procederá a calcular el período de la estructura y coeficiente sísmico según el código o norma correspondiente al año de diseño de las estructuras. Para luego hacer una relación entre el S_a del terremoto y el coeficiente sísmico anteriormente mencionado y obtener el factor de reducción efectivo de la estructura (R_{efectivo}).

También se calcularán las deformaciones laterales (derivas) según el método propuesto por el Dr. Eduardo Miranda (Universidad de Stanford) en 1999.

3.1 Norma ecuatoriana de Construcción 2015 (NEC-15)

3.1.1 Zonificación sísmica y factor de zona Z

El factor de Z representa la aceleración máxima en rocas esperada para un sismo. Se lo determina de acuerdo con el sitio en donde se construirá la estructura, clasificando al Ecuador en seis zonas sísmicas de acuerdo con el mapa de la ilustración 25 (Nec, 2015).

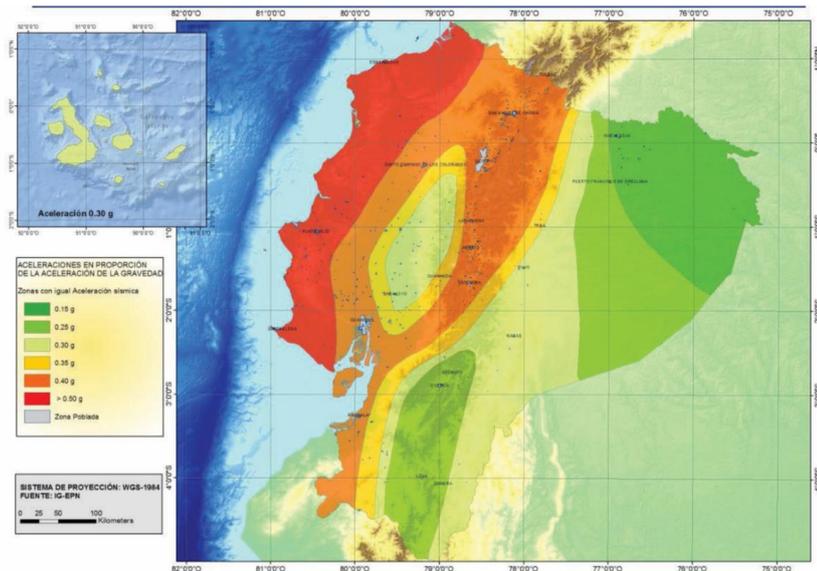


Ilustración 25 Mapa de zonas sísmicas del Ecuador y valor z.
(Fuente: Nec-15)

El mapa de zonificación sísmica proviene del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años) (Nec, 2015).

Tabla 4 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50

Fuente: NEC-SE-DS (NEC-15)
Elaborada por: La Autora

3.1.2 Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico.

Se definen seis tipos de perfiles, los parámetros usados son los correspondientes a los 30m superiores del perfil, denominados perfiles A, B, C, D y E. Para el perfil F se aplican otros criterios y la respuesta no debe limitarse a los 30m superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de suelo significativo.

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

Ilustración 26 Perfiles de suelo según la Nec-15.
Fuente: NEC-SE-DS (NEC-15)

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

Estos coeficientes solo son para los perfiles de suelo A, B, C, D y E, para el suelo tipo F se requiere un estudio especial.

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. Es un coeficiente que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de

aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio (Nec, 2015).

Tabla 5 Tipo de suelo y factores de sitio Fa.

Tipo del perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0.5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1	0,85

Fuente: NEC-SE-DS (NEC-15)

Elaborada por: La Autora

Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca. Coeficiente que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio (Nec, 2015).

Tabla 6 Tipo de suelo y factores de sitio Fd.

Tipo del perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0.5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	0,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5

Fuente: NEC-SE-DS (NEC-15)

Elaborada por: La Autora

Fs: Comportamiento no lineal de los suelos. Coeficiente que considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que dependen de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos (Nec, 2015).

Tabla 7 Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs.

Tipo del perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0.5
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,4
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2

Fuente: NEC-SE-DS (NEC-15)
Elaborada por: La Autora

3.1.4 Espectro elástico de respuesta de aceleraciones según la NEC-15.

Para poder hacer el espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , se debe tener el factor de zona sísmica z , el tipo de suelo de la estructura y los coeficientes de amplificación F_a , F_d , F_s .

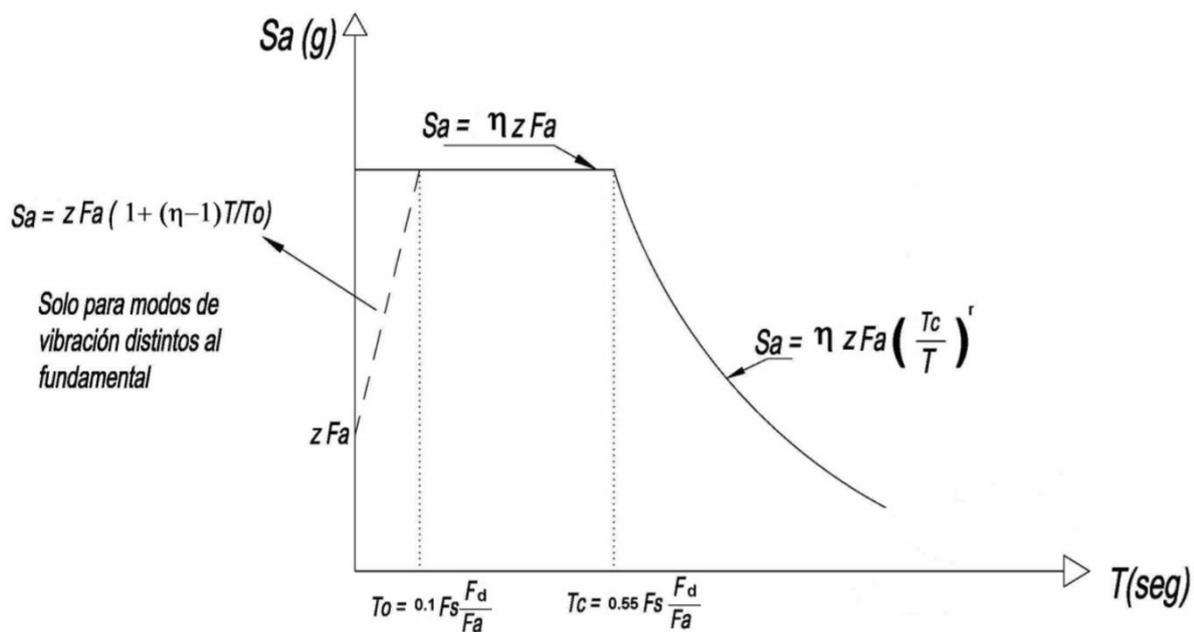


Ilustración 27 Espectro elástico de respuesta de aceleraciones.
Fuente: NEC-SE-DS (NEC-15)

Tabla 8 Parámetros para el espectro de aceleración.

- η : Razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1s$) y el PGA para el período de retorno seleccionado. Este valor varía de acuerdo con la región del Ecuador (Nec, 2015).
 - $\eta=1.80$; Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).
 - $\eta=2.48$; Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.
 - $\eta=2.60$; Provincias del Oriente.
- T : Período fundamental de vibración de la estructura.

- T_0, T_c : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- TL: Período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos.
- 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.

Fuente: NEC-SE-DS (NEC-15)
 Elaborada por: La Autora

Para el diseño del espectro de aceleración se utilizarán las siguientes fórmulas:

Ecuación 1 Cálculo del Sa para un T=0.

- $S_a = z * F_a$ para $T = 0$

Ecuación 2 Cálculo del Sa para un T entre 0 y T0

- $S_a = z * F_a * \left(1 + (\eta - 1) * \left(\frac{T}{T_0}\right)\right)$ para $0 \leq T \leq T_0$

Ecuación 3 Cálculo del Sa para un T entre T0 y Tc

- $S_a = \eta * z * F_a$ para $T_0 \leq T \leq T_c$

Ecuación 4 Cálculo del Sa para un T mayor a Tc.

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

Ecuación 5 Cálculo del T0

- $T_0 = 0.1 * F_S * \left(\frac{F_d}{F_a}\right)$

Ecuación 6 Cálculo del Tc

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

3.1.5 Período de vibración de la estructura.

El T se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 7 Cálculo del período.

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

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.

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 28 Selección del C_t y α según el tipo de estructura.

(Fuente: NEC-15)

3.1.6 Espectro elástico de desplazamiento.

Para la definición de los desplazamientos espectrales elásticos, correspondiente al nivel del sismo de diseño, se utilizará el siguiente espectro elástico de diseño de desplazamientos S_d, definido a partir del espectro de aceleraciones (Nec, 2015).

Ecuación 8 Cálculo del S_d para un T entre 0 y TL.

- $S_d = S_a(g) * \left(\frac{T}{2*\pi}\right)^2$ para $0 \leq T \leq TL$

Ecuación 9 Cálculo de S_d para un T mayor o igual a TL.

- $S_d = S_a(g) * \left(\frac{TL}{2*\pi}\right)^2$ para $T \geq TL$

Ecuación 10 Cálculo del TL

- $TL = 2.4 * Fd$

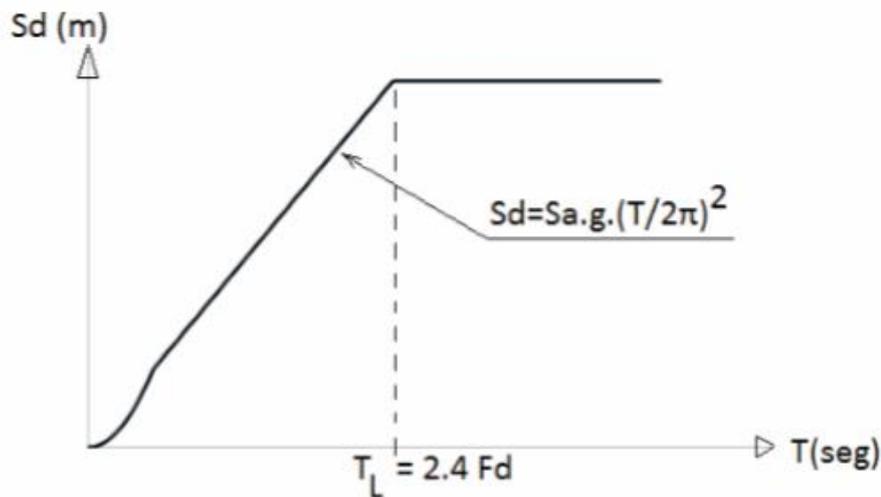


Ilustración 29 Espectro sísmico elástico de desplazamientos para diseño.
(Fuente: NEC-15)

Dónde:

g: Aceleración de la gravedad.

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

3.1.7 Deriva Máxima.

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

Ecuación 11 Deriva inelástica máxima.

$$\Delta M = 0.75 * \frac{Sd}{H}$$

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la tabla siguiente, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso.

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

Ilustración 30 Valores de las derivas máximas, expresados como fracción de la altura de piso.
(Fuente: NEC-15)

3.2 Códigos ecuatorianos de la construcción.

3.2.1 Código ecuatoriano de la construcción – 79 (CEC-79)

Son diversos factores que el CEC-79 toma en cuenta para el cálculo del Cortante Basal como la variable del período fundamental de la estructura, el criterio de ductilidad en pórticos de hormigón armado, torsión, volcamiento, desplazamiento, cimentaciones, variables que depende del sistema estructural de la estructura y la variable del periodo fundamental de la estructura.

El código ecuatoriano de la construcción del 79 daba a conocer al diseñador una serie de parámetros y normas a seguir para que las construcciones de esa época puedan soportar sismos sin daños estructurales severo y así salvar vidas de las personas que ocupan dicha estructura.

3.2.1.1 Fuerzas sísmicas para las estructuras.

Toda estructura deberá ser diseñada y construida para resistir las cargas verticales vivas y muertas, y las fuerzas laterales sísmicas mínimas totales (V) en dirección de cualquier eje de la estructura (CEC, 79).

Ecuación 12 Cálculo del coeficiente sísmico.

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

Ecuación 13 Cálculo del cortante basal.

$$V = C_s * W$$

Dónde:

V: Fuerza lateral total

I: Importancia del edificio

K: Tipo de construcción

CS: Condición del suelo ≤ 0.14

W: Carga muerta

Cs: Coeficiente sísmico

3.2.1.2 Factor de Importancia.

Como su nombre mismo lo indica, este factor depende de la importancia del edificio en análisis para el funcionamiento en la sociedad (CEC, 79).

Tabla 9 Factor de Importancia I.

Tipo de Servicio	Descripción	Coficiente I
Servicios Esenciales	Edificaciones que deben ser seguras y utilizables luego de un terremoto: hospitales, centros de comunicación y operación en caso de desastre, estaciones de bomberos, estaciones de policía.	1.5
Edificios de Reuniones	Iglesias, teatros, Aulas de centros educativos, auditorios y demás Edificaciones destinadas a reunir mínimo a 300 personas.	1.25
Otras Edificaciones	Aquellas no Consideradas en las secciones anteriores.	1.00

Fuente: CEC-79
Elaborado por: (Mancheno, 2017)

3.2.1.3 Factor tipo de construcción k.

Este factor depende del sistema estructural que va a tener el edificio a diseñar. Las estructuras que tiene una resistencia apropiada para el sismo se van a diseñar con un valor de K bajo. Pero, al contrario, si la estructura es débil para resistir la acción dinámica del movimiento sísmico del suelo, se usará un K alto.

Tabla 10 Factor K, de acuerdo con el sistema estructural.

Sistema Estructural		Valor de K
Todos los sistemas de estructuras de edificios.	Excepto los que se indican a continuación.	1
Sistema de Caja.	Sistema estructural, sin un pórtico espacial completo, resistente a cargas verticales.	1.33
Edificios con doble sistema.	Sistema que conste de un <i>pórtico espacial resistente a flexión, dúctil y diafragmas</i> o pórticos arriostrados.	0.80
Edificios con pórtico espacial.	Pórtico espacial resistente a flexión dúctil que resiste la totalidad de la fuerza lateral.	0.67
Estructuras que no sean edificios.	Puentes, viaductos, postes, chimeneas separadas y tanques elevados, más todo su contenido.	2.00

Fuente: CEC-79
Elaborado por: (Mancheno, 2017)

3.2.1.4 Coeficiente numérico C

El coeficiente numérico depende del periodo de vibración de la estructura.

Ecuación 14 Cálculo del coeficiente C

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

El coeficiente numérico deber ser menor o igual a 0.12.

3.2.1.5 Período elástico fundamental de vibración de la estructura.

Para sacar el período de la estructura según la CEC-79, se debe conocer la altura del edificio en metros (h_n), sobre la base del edificio y la dimensión de la estructura, en metros, en la dirección paralela a las fuerzas aplicadas (D).

Ecuación 15 Cálculo del período de vibración.

$$T = \frac{0.1 h_n}{\sqrt{D}}$$

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

Para calcular el coeficiente numérico de resonancia entre la estructura y el sitio se debe conocer el periodo de vibración de la estructura (T) y el período de vibración del suelo sobre el que se construye (T_s).

Aplicando la siguiente relación con la siguiente condición.

Ecuación 16 Cálculo de S para cuando la relación de períodos es menor o igual a 1

$$\frac{T}{T_s} \leq 1, \text{ entonces: } S = 1 + \frac{T}{T_s} - 0.50 \left[\frac{T}{T_s} \right]^2$$

Ecuación 17 Cálculo de S para cuando la relación de períodos es mayor o igual a 1

$$\frac{T}{T_s} \geq 1, \text{ entonces: } S = 1.2 + 0.6 \frac{T}{T_s} - 0.30 \left[\frac{T}{T_s} \right]^2$$

Una vez obtenido los factores C Y S especificados anteriormente, se procede a multiplicarlos. Dicha multiplicación deber ser menor o igual a 0.14, caso contrario si el valor es mayor se escogerá el 0.14.

3.2.1.7 Periodo de vibración del suelo (Ts).

La CEC-79 describe tres tipos de suelos, suelo firme, suelo medio y suelo flojo. Para cada tipo de suelo se tiene un Ts.

Tabla 11 Valor del Ts según el tipo de suelo.

Tipo de suelo	Ts	Descripción
Firme	0,5	Roca firme y conglomeraciones totalmente cementadas, y cualquier sitio donde el lecho de roca firme o conglomerado esté localizado a una profundidad igual o menor a 3m, o menor de 10m en combinación con suelos granulares (arena y piedrita pequeña) densos y muy densos.
Medio	1,5	Arena y suelos granulares y tierras ligeramente arcillosas de 3 hasta 20m de profundidad y con un drenaje razonable.
Flojo	2,5	Todos los terrenos arenosos y granulares con una profundidad mayor a 20m o mal drenaje; y terrenos arcillosos o pantanosos.

Fuente: CEC-79

Elaborada por: La Autora

3.2.1.8 Coeficiente sísmico Cs.

El coeficiente sísmico se lo obtendrá multiplicando el factor de importancia de la estructura a analizar, el factor de K de acuerdo con su sistema estructural y el factor CS que es la condición del suelo, como lo indica la ecuación 12.

3.2.2 Código ecuatoriano de la construcción 2002 (CEC-02)

3.2.2.1 Zonas sísmicas y factor de zona Z.

El mapa de zonas sísmicas proviene de un estudio completo que considera los resultados de los estudios de peligro sísmico del Ecuador, con criterios adicionales con la uniformidad del peligro en ciertas zonas del país, criterio de practicidad en el diseño, protección de ciudades importantes, irregularidad en curvas de definición sísmicas, suavizado de zonas de límites inter-zonas y compatibilidad con mapas de peligro de los países vecinos (CEC, 2002).

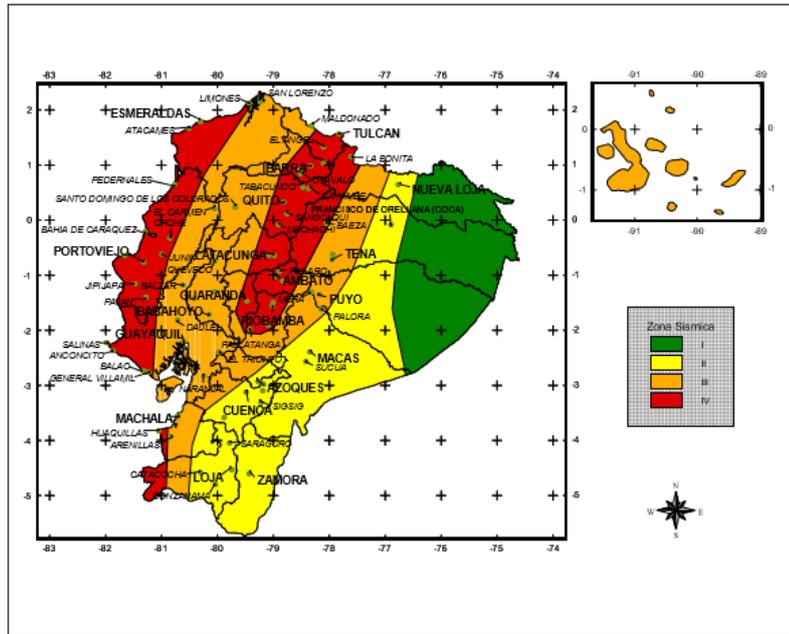


Ilustración 31 Zona sísmica del Ecuador.
(Fuente: CEC-02)

En este código dividen al Ecuador en 4 zonas sísmicas. A cada zona sísmica le corresponde un valor del factor Z, el cual representa la aceleración máxima efectiva en roca esperada por el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad (CEC, 2002).

Tabla 12 Valor del factor Z.

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0,15	0,25	30	0,4

Fuente: CEC-02
Elaborada por: La Autora

3.2.2.2 Geología y perfiles de suelo. Coeficientes S y Cm.

El CEC-02 clasifica al suelo en 4 tipos de perfiles y aclara que esta clasificación no substituye los estudios de geología de detalle.

Tabla 13 Descripción de los perfiles del suelo S1, S2 y S4.

Tipo de Perfil	Suelos	Descripción
S1	Roca o suelo firme	Roca y suelos con V de ondas mayores a 750m/s, períodos de vibración menores a 0,20s. Roca sana o parcialmente alterada. Grava arenosas, limosas o arcillosas, densas y secas. Suelos cohesivos duros con resistencia al corte mayor a 100Kpa, con espesores menores a 20 m. Arenas densas con número de golpes del SPT: N>50. Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados.

S2	Intermedios	Que no se ajustan a los perfiles de suelos S1 y S3
S4	Condiciones especiales de evaluación	Suelos con alto potencial de licuefacción. Turbas, lodos y suelos orgánicos. Rellenos colocados sin control ingenieril. Arcillas y limos de alta plasticidad (IP>75). Arcillas suaves y medias duras con espesor mayor a 30 m.

Fuente: CEC-02

Elaborada por: La Autora

El perfil S3 es para suelos bandos o estratos profundos, incluyendo los siguientes casos:

Tabla 14 Parámetros para el suelo S3

Suelos cohesivos	Velocidad de ondas de corte, V_s (m/s)	Resistencia al corte No drenada, S_u (KPa)	Espesor del estrato (m)
Blandos	< 200	< 25	> 20
Semiblandos	200-400	25-50	> 25
Duros	400-750	50-100	> 40
Muy duros	> 750	100-200	> 60

Suelos granulares	Velocidad de ondas de corte, V_s (m/s)	Valores N del SPT	Espesor del estrato (m)
Sueltos	< 200	4-10	> 40
Semidensos	200-750	10-30	> 45
Densos	> 750	> 30	>100

Fuente: CEC-02

Los coeficientes de suelo S y coeficiente Cm se los escoge de acuerdo con el perfil de suelo en donde la estructura será diseñada.

Tabla 15 Coeficiente S y Cm según el perfil del suelo.

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

Fuente: CEC-02

Elaborada por: La Autora

3.2.2.3 Período de vibración

Para estructura de edificación, el valor T puede determinarse de manera aproximada (CEC, 2002).

Ecuación 18 Cálculo del período de vibración.

$$T = C t (hn)^{3/4}$$

Dónde:

- h_n : Altura máxima de la edificación de “n” pisos, medida desde la base de la estructura.
- C_t : Coeficiente que depende del sistema estructural.
 - $C_t = 0.09$ 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.

3.2.2.4 Espectro sísmico elástico de diseño.

El espectro de respuesta elástico normalizado, consiste con el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura (CEC, 2002).

El espectro, según el CEC-02, se diseña de acuerdo con la ilustración 32.

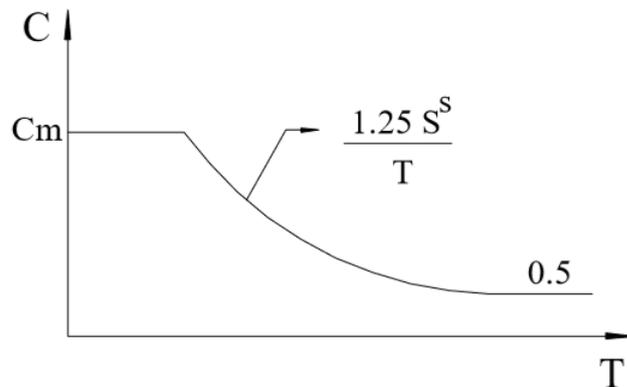


Ilustración 32 Espectro sísmico elástico.
(Fuente: CEC-02)

3.2.2.5 Factor de Importancia.

El factor de importancia es de acuerdo con el tipo de uso, destino e importancia que la estructura va a tener.

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

Ilustración 33 Factor de Importancia (I).
(Fuente: CEC-02)

3.2.2.6 Cortante basal.

Se le denomina cortante basal a la fuerza total de diseño por cargas laterales (CEC, 2002). Se determinará mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 19 Cálculo del coeficiente sísmico.

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

Ecuación 20 Cálculo del coeficiente C.

$$C = 1.25 * \frac{S^S}{T}$$

Ecuación 21 Cálculo del cortante basal.

$$V = C_s * W$$

Dónde:

C: No debe exceder del valor de C_m , no deber ser menor a 0.5.

S: El valor es de acuerdo con la tabla 15.

R: Factor de reducción de respuesta estructural.

Φ_P , Φ_E : Coeficientes de configuración estructural en planta y elevación respectivamente.

3.2.2.7 Coeficientes de configuración estructural en planta y elevación.

Los diseños de estructuras irregulares son penalizados por el código ya que causan problemas en la estructura ante un sismo. El uso de dichos coeficientes incrementa el valor del cortante, dándole más resistencia a la

estructura, pero no evita los problemas en el comportamiento sísmico. Por tal motivo es recomendable evitar al máximo las irregularidades (CEC, 2002). Si la estructura no tiene irregulares en planta y/o en elevación, el valor de los coeficientes serán iguales a 1.

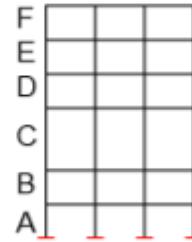
IRREGULARIDADES EN ELEVACION

Tipo 1 - Piso flexible - $\phi_{E_i} = 0.9$

Rigidez $K_C < 0.70$ Rigidez K_D

ó

Rigidez $K_C < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$

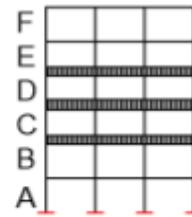


Tipo 2 - Distribución de masas - $\phi_{E_i} = 0.9$

$m_D > 1.50 m_E$

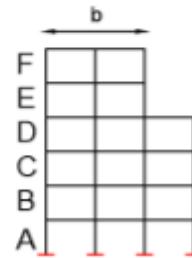
ó

$m_D > 1.50 m_C$



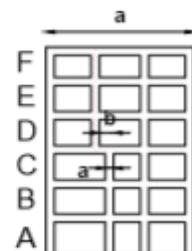
Tipo 3 - Irregularidad Geométrica - $\phi_{E_i} = 0.9$

$a > 1.30 b$



Tipo 4 - Desalineamientos en ejes verticales - $\phi_{E_i} = 0.8$

$b > a$



Tipo 5 - Piso débil - $\phi_{E_i} = 0.8$

Resistencia Piso B < 0.70 Resistencia Piso C

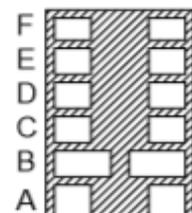
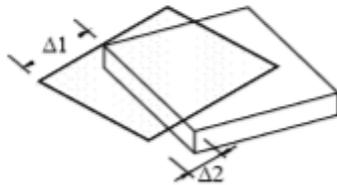


Ilustración 34 Coeficientes para irregularidades en elevación.
(Fuente: CEC-02)

IRREGULARIDADES EN PLANTA

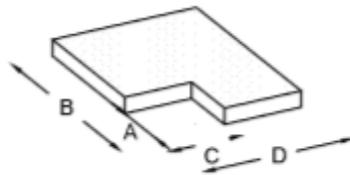
Tipo 1-Irregularidad torsional- $\phi_{P_i} = 0.9$

$$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}$$

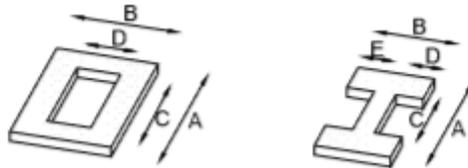


Tipo 2-Retrocesos excesivos en las esquinas - $\phi_{P_i} = 0.9$

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$



Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso - $\phi_{P_i} = 0.9$



$$1) C \times D > 0.5 A \times B$$

$$2) (C \times D + C \times E) > 0.5 A \times B$$

Tipo 4 - Desplazamiento de los planos de Acción - $\phi_{P_i} = 0.8$
de elementos verticales



Tipo 5 - Ejes estructurales no paralelos - $\phi_{P_i} = 0.9$

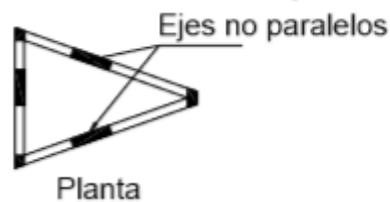


Ilustración 35 Coeficientes para irregularidades en planta.
(Fuente: CEC-02)

3.2.2.8 Factor de reducción sísmico R.

Se tomará el menor valor de R para los casos en los cuales el sistema estructural resulte en una combinación de varios sistemas como los descritos en la ilustración 36. El valor de R podrá aplicarse cuando la estructura cumpla con los requisitos de diseño sismo-resistente propuesto en el presente código (CEC, 2002).

El factor de R es inversamente proporcional al cortante basal, es decir a mayor valor de R menor va a ser el cortante basal y a menor valor de R mayor cortante basal. Este dependerá del sistema estructural de la edificación.

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

Ilustración 36 Factor de reducción.

(Fuente: CEC-02)

4 Memoria de cálculo

4.1 Determinación del coeficiente de zonificación en Bahía de Caráquez.

Debido a que en Bahía de Caráquez no hay un registro sísmico de aceleración, medido por una estación del IGN, el valor de Z (aceleración en roca), durante el terremoto del 16 de abril de 2016, se lo estimó de un mapa de intensidades.

Como la intensidad de Manta fue similar a la de Bahía de Caráquez, se asumió que tendrían la misma aceleración en el suelo; la aceleración en Manta fue de $Z=0,5$, la misma que se utilizó para Bahía de Caráquez.

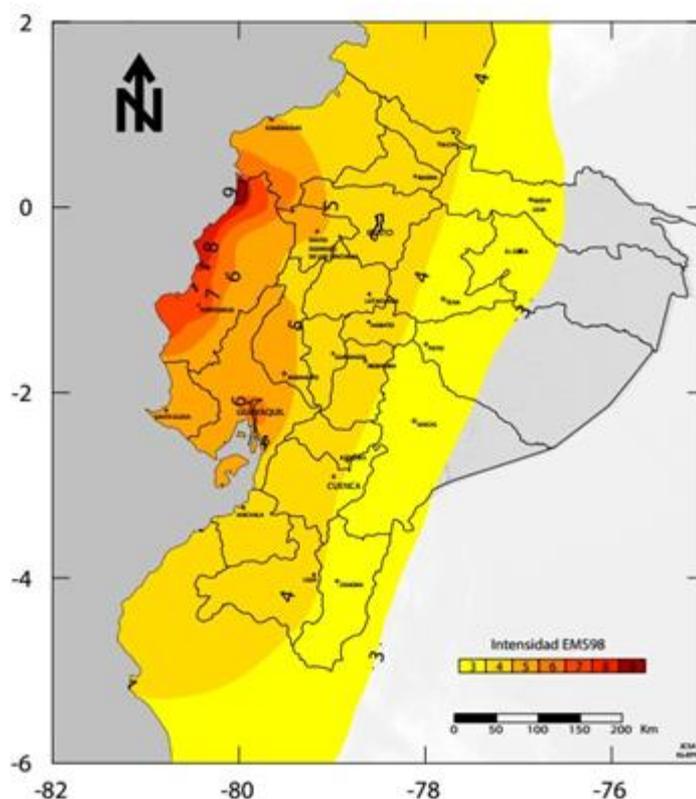


Ilustración 37 Mapa de intensidades del terremoto del 16 de abril de 2016.
(Fuente: Secretaría nacional de gestión de riesgos del riesgo del Ecuador)

4.2 Cálculo de los edificios.

El Ministerio de desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y el Municipio de Cantón de Sucre, facilitó los estudios y evaluaciones técnicas de los edificios seleccionados a estudiarse que se demolieron en Bahía de Caráquez, estudios realizados por las consultorías Soleico y Plan Procons. Con dicha información se procede a realizar la memoria de cálculo de cada edificio.

4.2.1 Tipo de suelo.

En la siguiente tabla se encuentra el tipo de suelo de cada edificación a analizarse.

Tabla 16 Tipo de suelo

Estructuras	Tipo de Suelo
Hs. Miguel H. Alcívar	E
El Almirante	D
La Fragata	D
Jalil	D
CNT	D

Fuente: Soleico y Plan Procons

Elaborada por: La Autora

4.2.2 Espectros elásticos de respuestas de aceleraciones según NEC-15

Según la tabla 16 los edificios El Almirante, La Fragata, Jalil y CNT estaban construidos sobre suelo tipo D. Y el Hospital Miguel H. Alcívar se encontraba sobre suelo tipo E. Cabe recalcar que el hospital se encontraba en la parroquia Leónidas Plaza de Bahía de Caráquez.

4.2.2.1 Suelo tipo D.

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

Tabla 17 Coeficiente F_a , F_d y F_s para suelo tipo D.

Zona Sísmica $Z=0,5$			
Tipo de suelo	F_a	F_d	F_s
D	1,12	1,11	1,4

Fuente: NEC-15

Elaborada por: La Autora

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

Tabla 18 Períodos límites para suelo tipo D.

Tipo de suelo	To	Tc	TL
D	0,14	0,76	2,66

Fuente: NEC-15
Elaborada por: La Autora

Se procede a diseñar el espectro de respuesta elástico con las ecuaciones 1, 2 y 3 que se encuentra en función de los períodos y así se obtiene la ilustración 38.

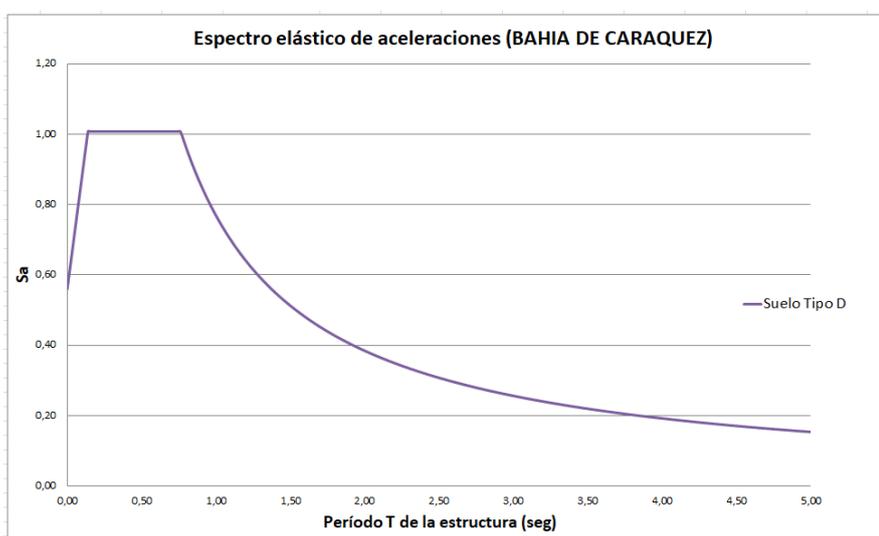


Ilustración 38 Espectro elástico de respuesta de aceleraciones para suelo tipo D.
(Fuente: La Autora)

Sa			
T	D		
0,00	0,56	1,26	0,61
0,14	1,01	1,28	0,60
0,15	1,01	1,30	0,59
0,75	1,01	1,32	0,58
0,76	1,01	1,34	0,57
0,77	1,00	1,38	0,56
0,92	0,84	1,40	0,55
0,93	0,83	1,42	0,54
0,94	0,82	1,44	0,53
0,95	0,81	1,47	0,52
0,96	0,80	1,50	0,51
0,97	0,79	1,55	0,50
0,98	0,78	1,58	0,49
1,00	0,77	1,61	0,48
1,01	0,76	1,65	0,47
1,02	0,75	1,69	0,46
1,04	0,74	1,72	0,45
1,05	0,73	1,73	0,44
1,07	0,72	1,77	0,43
1,08	0,71	1,81	0,42
1,10	0,70	1,89	0,41
1,11	0,69	1,94	0,40
1,13	0,68	1,95	0,39
1,14	0,67	2,00	0,38
1,16	0,66	2,06	0,37
1,17	0,657	2,11	0,36
1,18	0,65	2,17	0,35
1,20	0,64	2,23	0,34
1,22	0,63	2,30	0,33
1,24	0,62	2,37	0,32
		2,45	0,31
		2,60	0,30
		2,66	0,29

Ilustración 39 Cálculo de espectro de aceleración.
(Fuente: La Autora)

Se procede a diseñar el espectro elástico de desplazamiento con las ecuaciones 8, 9 y 10, guiándose de la ilustración 29, el cual se encuentra en función de los períodos límites. El espectro elástico de desplazamiento para tipo D se muestra en la ilustración 40.

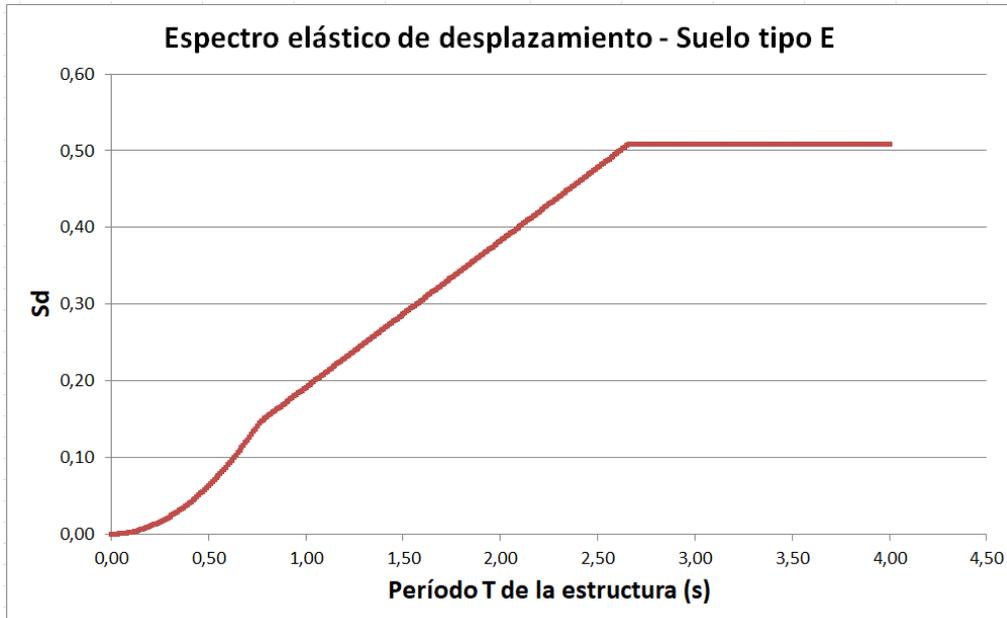


Ilustración 40 Espectro elástico de desplazamiento para suelo tipo D.
(Fuente: La Autora)

Tabla 19 Cálculo de espectro de desplazamiento (Sd).

T	Sa	Sd
0,00	0,56	0,00
0,15	1,01	0,01
0,24	1,01	0,01
0,31	1,01	0,02
0,46	1,01	0,05
0,64	1,01	0,10
0,75	1,01	0,14
0,76	1,01	0,14
0,77	1,00	0,15
1,07	0,72	0,20
1,33	0,58	0,25
1,59	0,48	0,30
1,85	0,42	0,35
2,11	0,36	0,40
2,12	0,36	0,41
2,38	0,32	0,45
2,59	0,30	0,50
2,65	0,29	0,51

2,66	0,29	0,51
2,67	0,29	0,51
2,68	0,29	0,51
4,00	0,19	0,51

Elaborada por: La Autora

4.2.3 Suelo tipo E

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

Tabla 20 Coeficientes F_a , F_d y F_s para suelo tipo E

Zona Sísmica $Z=0,5$			
Tipo de suelo	F_a	F_d	F_s
E	0,85	1,5	2

Fuente: NEC-15

Elaborada por: La Autora

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

Tabla 21 Período de vibración para suelo tipo E.

Tipo de suelo	T_o	T_c	T_L
E	0,35	1,94	3,6

Fuente: NEC-15

Elaborada por: La Autora

Procedemos a diseñar el espectro de respuesta elástico con las ecuaciones 1, 2 y 3 que se encuentra en función de lo períodos y así se obtiene la ilustración 41.

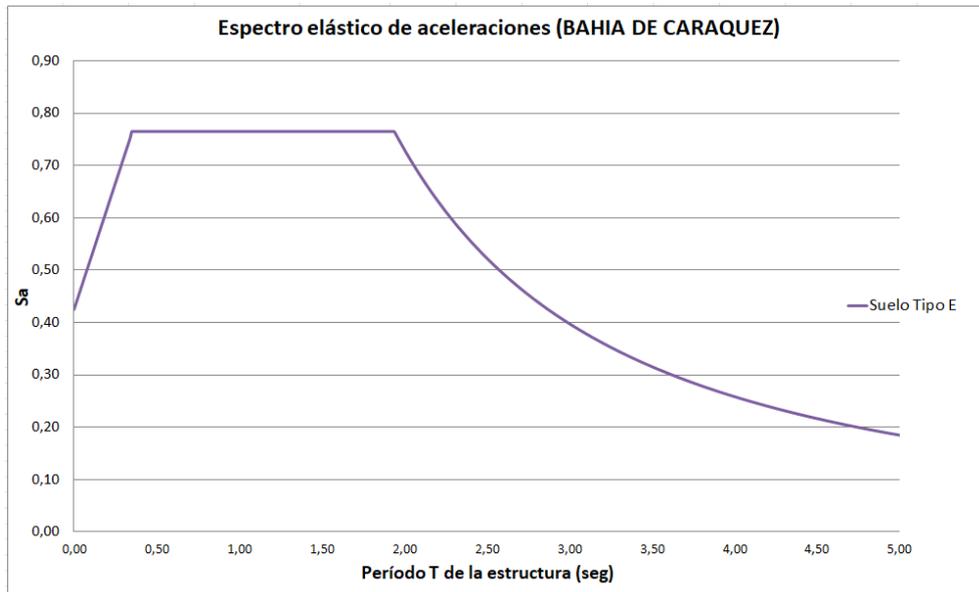


Ilustración 41 Espectro elástico de respuesta de aceleraciones para suelo tipo E.
(Fuente: La Autora)

Sa			
T	D		
0,00	0,43	2,32	0,59
0,01	0,43	2,34	0,58
0,34	0,75	2,35	0,57
0,35	0,77	2,37	0,57
1,93	0,77	2,40	0,56
1,94	0,77	2,43	0,55
1,95	0,76	2,46	0,54
1,96	0,75	2,49	0,53
1,98	0,74	2,52	0,52
2,00	0,73	2,56	0,51
2,02	0,72	2,59	0,50
2,04	0,71	2,63	0,49
2,06	0,70	2,66	0,48
2,08	0,69	2,70	0,47
2,09	0,68	2,87	0,43
2,12	0,67	3,06	0,39
2,14	0,66	3,15	0,37
2,16	0,65	3,20	0,36
2,18	0,64	3,24	0,35
2,22	0,63	3,34	0,34
2,24	0,62	3,39	0,33
2,26	0,61	3,45	0,32
2,29	0,60	3,51	0,31
		3,60	0,30

Ilustración 42 Cálculo de espectro de aceleración.
(Fuente: La Autora)

Se procede a diseñar el espectro elástico de desplazamiento con las ecuaciones 8, 9 y 10, guiándose de la ilustración 29, el cual se encuentra en función de los períodos límites. El espectro elástico de desplazamiento para tipo E se muestra en la ilustración 43.

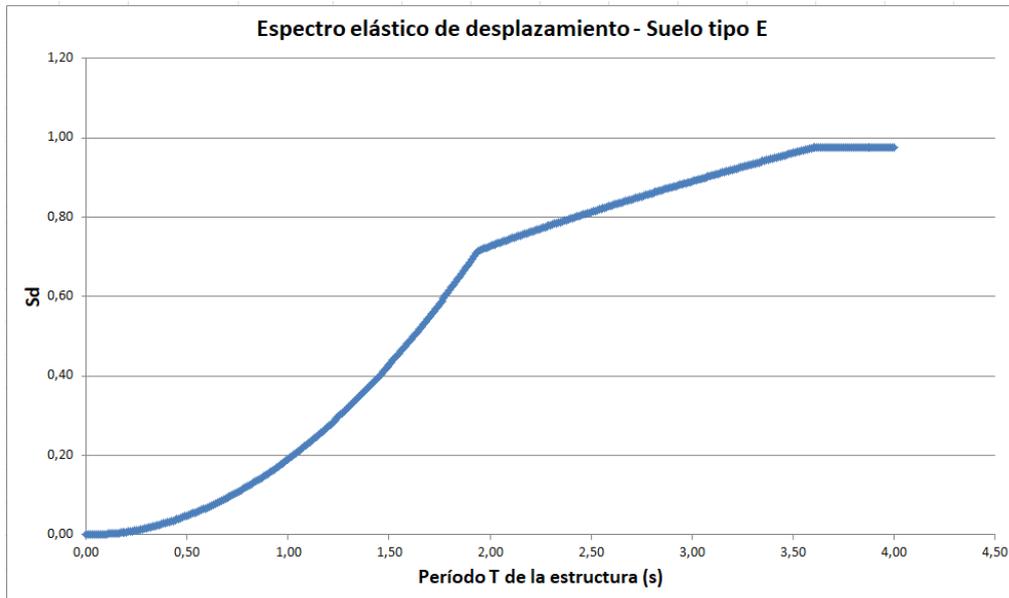


Ilustración 43 Espectro elástico de desplazamiento para suelo tipo E.
(Fuente: La Autora)

Tabla 22 Cálculo del espectro de desplazamiento (Sd).

T	Sa	Sd
0,00	0,43	0,00
0,53	0,77	0,05
0,74	0,77	0,10
0,90	0,77	0,15
1,03	0,77	0,20
1,15	0,77	0,25
1,26	0,77	0,30
1,36	0,77	0,35
1,45	0,77	0,40
1,54	0,77	0,45
1,62	0,77	0,50
1,70	0,77	0,55
1,78	0,77	0,60
1,85	0,77	0,65
1,92	0,77	0,70
1,94	0,77	0,72
2,15	0,66	0,75
2,45	0,54	0,80
2,76	0,45	0,85
3,09	0,38	0,90

3,45	0,32	0,95
3,60	0,30	0,98
4,00	0,26	0,98

Elaborada por: La Autora

4.2.4 Edificio La Fragata.

4.2.4.1 Período de Vibración.

De la ilustración 28 se determinará el C_t y α según el sistema estructural de la edificación y el período de vibración de la estructura se calculará con la ecuación 7.

Tabla 23 Período de vibración de La Fragata.

PERÍODO DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Edificio La Fragata				
C_t	0,055	α	0,75	Observación: Tiene muros de corte
hn (m)	33,38	T(s)	0,764	

Elaborada por: La Autora

Una vez calculado el periodo de vibración de la estructura, se puede observar que el $T > T_c$ por lo tanto para calcular el S_a del terremoto se utilizará la ecuación 4.

$$S_{a_{TERREMOTO}} = 1.003$$

4.2.4.2 Espectro de desplazamiento elástico de la estructura.

Se determinará el T_L con la ecuación 10.

$$T_L = 2.4 F_d$$

$$T_L = 2.4 (1.11)$$

$$T_L = 2.66 \text{ s}$$

Una vez calculado el T_L , se calcula el desplazamiento elástico de la estructura y como $T \leq T_L$ se utilizará la ecuación 8.

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

$$S_d = 1.003(9.81) \left(\frac{0.76}{2\pi} \right)^2$$

$$S_d = 0.145 \text{ m}$$

4.2.4.3 Deriva máxima del edificio.

La deriva se la calculará con la ecuación 11.

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{S_d}{H} \right)$$

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{0.145}{33.38} \right)$$

$$\Delta M = 0.33\%$$

4.2.4.4 Espectro del diseño según el año de construcción del edificio.

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

El edificio La Fragata se diseñó en el año 2010 por lo tanto se asume que se lo diseñó según el Código Ecuatoriano de la Construcción del 2002 (CEC-02). Por tal motivo se realizará el espectro de diseño según las normas de dicho código.

Se debe determinar la zona sísmica en donde estaba construida la estructura y se procede a adoptar un valor del factor de zona Z de acuerdo con la tabla 12.

La estructura estaba construida en Bahía de Caráquez por lo tanto su factor de Z será igual a 0.4.

Se identifica el tipo de suelo según las características del CEC-02 descritas en la tabla 13, que en este caso es perfil tipo S3, y con la tabla 15 se obtiene los coeficientes S y Cm.

- S= 1.5
- Cm= 2.8

Después se calcula el período de vibración de la estructura con la ecuación 18. Se utilizará un C_t de 0.06 porque es una estructura espacial de H.A. con muros estructurales.

$$T = C_t(h_n)^{3/4}$$

$$T = 0.06(33.38)^{3/4}$$

$$T = 0.83 \text{ s}$$

Con la ecuación 20 se procede a calcular el C , teniendo en cuenta la condición de $0.5 < C \leq C_m$.

$$C = 1.25 * \frac{S^s}{T}$$

$$C = 1.25 * \frac{1.5^{1.5}}{0.83}$$

$$C = 2.77$$

Para calcular el coeficiente sísmico de diseño es importante conocer el factor de importancia del edificio (I) según la ilustración 33, los coeficientes de configuración estructural de elevación y en planta según las ilustraciones 34 y 35 respectivamente, el factor de Z y el factor de reducción según la ilustración 36.

- $I= 1$
- $\Phi P= 1$
- $\Phi E= 0.9$
- $R=10$

$$C_s = \frac{Z * I * C}{R * \Phi P * \Phi E}$$

$$C_s = \frac{0,4 * 1 * 2,77}{10 * 1 * 0,9}$$

$$C_s = 0,123$$

4.2.4.5 Factor de reducción efectivo.

Se determinará el factor de reducción efectivo durante el sismo.

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{S_a \text{ (Respuesta elástica del período de vibración de la estructura)}}{C_s \text{ de diseño}}$$

$$R_{\text{efectivo}} = \frac{1,003}{0,123}$$

$$R_{\text{efectivo}} = 8,15$$



Ilustración 44 Severo daños en la mampostería de toda la fachada del edificio La Fragata.

(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 45 Daño estructural en viga de acople entre columnas.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

Nota: Se observa falla por cortante a 45°. La viga contaba con poco confinamiento para las solicitaciones de carga a las que se vio sometida, este patrón de daño se repite en varios pisos.



Ilustración 46 Falla por cortante junto al apoyo derecho de la viga.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

Nota: Además se notaba desprendimiento del recubrimiento de la viga lo que indica el fuerte nivel de esfuerzos a la que esta se vio sometida durante el sismo.



Ilustración 47 Desprendimiento del recubrimiento en columnas.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

Nota: Esto es un claro indicativo del alto nivel de esfuerzo al que estuvo sujeta la columna. Se observa corrosión del acero vertical y transversal.

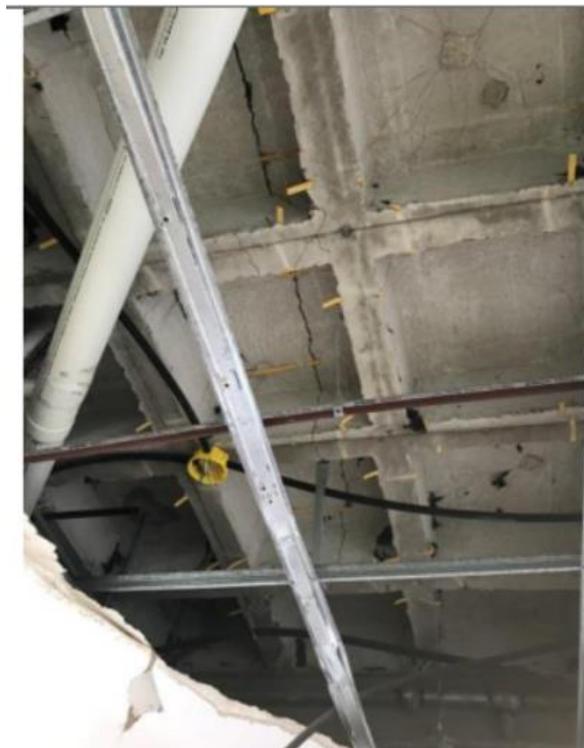


Ilustración 48 Fisura longitudinal en losa de piso.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 49 Daño por fisura longitudinal en losa.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

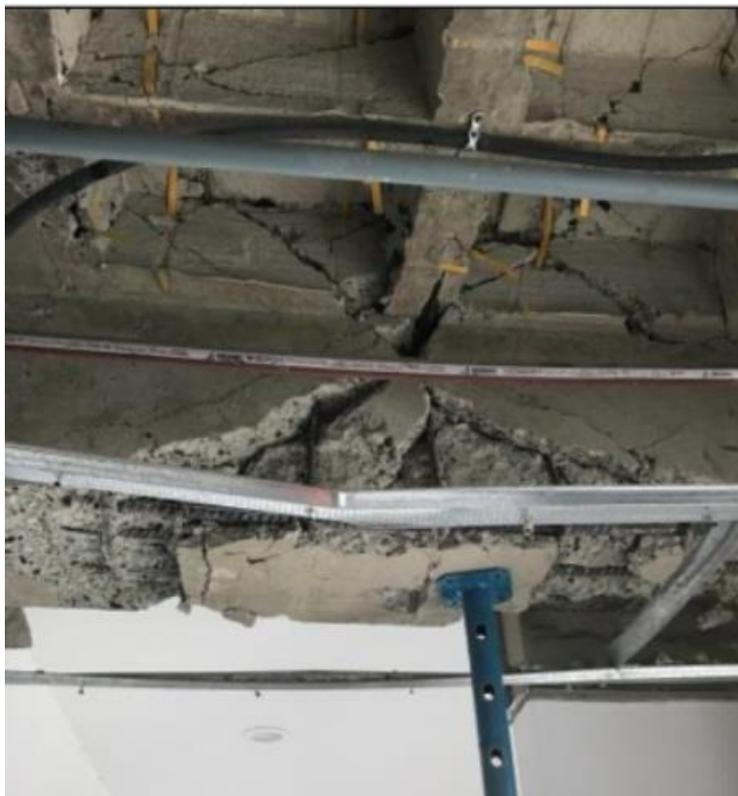


Ilustración 50 Extenso daño en vigas y losa por efecto de cortante.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 51 Destrucción total de mampostería de bloque a lo largo de todos los pisos.

(Fuente: PlanProcons, 2016)

Nota: El nivel de daño observado es un claro indicativo de la alta flexibilidad que tiene la estructura y lamentablemente esta patología es muy complicada, sino imposible, de corregir.

4.2.5 Edificio CNT.

4.2.5.1 Período de Vibración.

De la ilustración 28 Se determinará el **Ct** y **α** según el sistema estructural de la edificación y el período de vibración de la estructura se calculará con la ecuación 7.

Tabla 24 Período de vibración de CNT

PERÍODO DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Edificio CNT				
Ct	0,055	α	0,9	Observación: Pórticos
hn	9	T(s)	0,397	

Elaborada por: La Autora

Una vez calculado el periodo de vibración de la estructura, se puede observar que se encuentra dentro de los periodos límites de vibración $T_0 \leq T \leq T_c$ por lo tanto para calcular el S_a del terremoto se utilizará la ecuación 3.

$$S_{a_{TERREMOTO}} = 1.008$$

4.2.5.2 Espectro de desplazamiento elástico de la estructura.

Se determina el T_L con la ecuación 10.

$$T_L = 2.4 F_d$$

$$T_L = 2.4 (1.11)$$

$$T_L = 2.66 \text{ s}$$

Una vez calculado el T_L , se calcula el desplazamiento elástico de la estructura y como $T \leq T_L$ se utilizará la ecuación 8.

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

$$S_d = 1.008(9.81) \left(\frac{0.397}{2\pi} \right)^2$$

$$S_d = 0.04 \text{ m}$$

4.2.5.3 Deriva máxima del edificio.

La deriva se la calculará con la ecuación 11.

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{S_d}{H} \right)$$

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{0.04}{9} \right)$$

$$\Delta M = 0.33\%$$

4.2.5.4 Espectro del diseño según el año de construcción del edificio.

4.2.5.4.1 Código Ecuatoriano de la Construcción 1979 (CEC-79).

Se calculará el periodo elástico fundamental de vibración de la estructura con la ecuación 15.

$$T = \frac{0.1 h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = \frac{0.1 (9)}{\sqrt{14.40}}$$

$$T = 0.24 \text{ s}$$

Ya calculado el período elástico de vibración de la estructura, se calculará el coeficiente numérico con la ecuación 14.

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

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0.24}}$$

$$C = 0.14$$

Según el CEC-79, el periodo de vibración del suelo (T_s) es igual a 1.5. Dicho valor se lo obtuvo de la tabla 11, según el tipo de suelo donde estaba construida la estructura.

A continuación, se procede a calcular el coeficiente numérico para la resonancia de la estructura en el sitio. Como T/T_s es ≤ 1 , se utilizará la ecuación 16.

$$S = 1 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

$$S = 1 + \frac{0.24}{1.5} - 0.5 \left(\frac{0.24}{1.5} \right)^2$$

$$S = 1.15$$

El CS no debe exceder 0.14. Si el valor de CS es mayor que 0.14 se escogerá 0.14.

$$CS \leq 0.14$$

$$0.14 * 1.15 \leq 0.14$$

$$0.16 \not\leq 0.14$$

Como CS es mayor que 0.14, se escoge el 0.14

4.2.5.4.2 Espectro inelástico de diseño.

El CEC-79 permite obtener el espectro inelástico mediante la obtención de los coeficientes del cortante basal con la ecuación 12.

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

De la tabla 9 se deberá escoger el coeficiente I de acuerdo con la importancia de la estructura y de la tabla 10 se escogerá el coeficiente K que depende del sistema estructural y de la naturaleza de la estructura.

Para esta edificación se utilizará un I igual a 1 y un K igual a 1.

Por lo tanto, el Cs será igual a:

$$C_s = 1 * 1 * 0.14$$

$$C_s = 0.14$$

4.2.5.5 Factor de Reducción efectiva.

Se determinará el factor de reducción efectivo durante el sismo.

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{S_a \text{ (Respuesta elástico del período de vibración de la estructura)}}{C_s \text{ de diseño}}$$

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{1.008}{0.14}$$

$$R_{\text{Efectivo}} = 7.2$$

Como no se obtuvo información sobre las afectaciones del edificio CNT, después del sismo del 16 de abril del 2016, se asumirá que el edificio tuvo daños similares ocasionados por el sismo del 4 de agosto de 1998 de magnitud 7.2.



Ilustración 52 Fisuras en las paredes y desprendimiento del enlucido (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 53 Fisuras en las paredes y desprendimiento del enlucido (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 54 Fallo por cortante en columna de planta alta y colapso de paredes (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 55 Desprendimiento del enlucido en la base de la columna, se observa el acero de refuerzo (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 56 Fisuras longitudinal en las esquinas de las ventanas y en la pared (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 57 Fisura longitudinal en la unión de la pared con la columna (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 58 Se observa adosamiento entre estructuras (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 59 Fachada del edificio CNT, apuntalada (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 60 Daños en la perfilería y vidrios en puertas de oficina (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)



Ilustración 61 Falla por tracción diagonal en mampostería (sismo 1998).
(Fuente: Ing. Alex Villacrés)

4.2.6 Edificio Jalil.

4.2.6.1 Período de Vibración.

De la ilustración 28 se determinará el C_t y α según el sistema estructural de la edificación y el período de vibración de la estructura se calculará con la ecuación 7.

Tabla 25 Período de vibración del Jalil.

PERÍODO DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Edificio Jalil				
Ct	0,055	α	0,9	Observación: Pórticos
hn	21,42	T(s)	0,867	

Elaborada por: La Autora

Una vez calculado el periodo de vibración de la estructura, se puede observar que el $T > T_c$ por lo tanto para calcular el S_a del terremoto se utilizará la ecuación 4.

$$S_{a_{TERREMOTO}} = 0.884$$

4.2.6.2 Espectro de desplazamiento elástico de la estructura.

Se determinará el T_L con la ecuación 10.

$$T_L = 2.4 F_d$$

$$T_L = 2.4 (1.11)$$

$$T_L = 2.66 \text{ s}$$

Una vez calculado el T_L , se calcula el desplazamiento elástico de la estructura y como $T \leq T_L$ se utilizará la ecuación 8.

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

$$S_d = 0.884 * (9.81) \left(\frac{0.867}{2\pi} \right)^2$$

$$S_d = 0.165 m$$

4.2.6.3 Deriva máxima del edificio.

La deriva se la calculará con la ecuación 11.

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{S_d}{H} \right)$$

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{S_d}{H} \right)$$

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{0.165}{21.42} \right)$$

$$\Delta M = 0.58\%$$

4.2.6.4 Espectro del diseño según el año de construcción del edificio.

4.2.6.4.1 Código Ecuatoriano de la Construcción 1979 (CEC-79).

Se calculará el período elástico fundamental de vibración de la estructura con la ecuación 15.

$$T = \frac{0.1 h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = \frac{0.1 (21.42)}{\sqrt{20.41}}$$

$$T = 0.47 s$$

Ya calculado el período elástico de vibración de la estructura, se calculará el coeficiente numérico con la ecuación 14.

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

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0.47}}$$

$$C = 0.10$$

Según el CEC-79, el periodo de vibración del suelo (T_s) es igual a 1.5. Dicho valor se lo obtuvo de la tabla 11, según el tipo de suelo donde estaba construida la estructura.

A continuación, se procede a calcular el coeficiente numérico para la resonancia de la estructura en el sitio. Como T/T_s es ≤ 1 , se utilizará la ecuación 16.

$$S = 1 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

$$S = 1 + \frac{0.47}{1.5} - 0.5 \left(\frac{0.47}{1.5} \right)^2$$

$$S = 1.26$$

El CS no debe exceder 0.14. Si el valor de CS es mayor que 0.14 se escogerá 0.14.

$$CS \leq 0.14$$

$$0.10 * 1.26 \leq 0.14$$

$$0.13 \leq 0.14 \text{ Ok}$$

Como CS es menor que 0.14, se escoge el 0.13

4.2.6.4.2 Espectro inelástico de diseño.

El CEC-79 permite obtener el espectro inelástico mediante la obtención de los coeficientes del cortante basal con la ecuación 12.

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

De la tabla 9 se deberá escoger el coeficiente I de acuerdo con la importancia de la estructura y de la tabla 10 se escogerá el coeficiente K que depende del sistema estructural y de la naturaleza de la estructura.

Para esta edificación se utilizará un I igual a 1 y un K igual a 1.

Por lo tanto, el C_s será igual a:

$$C_s = 1 * 1 * 0.13$$

$$C_s = 0.13$$

4.2.6.5 Factor de Reducción efectiva.

Se determinará el factor de reducción efectivo durante el sismo.

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{S_a \text{ (Respuesta elástico del período de vibración de la estructura)}}{C_s \text{ de diseño}}$$

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{0.884}{0.13}$$

$$\mathbf{R_{\text{Efectivo}} = 6.8}$$



Ilustración 62 Daños en fachadas, caída de mampostería en el edificio Jalil.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 63 Fachada lateral del edificio Jalil, después del sismo del 2016.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 64 Daños internos en mampostería.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 65 Daños en mampostería.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 66 Desprendimiento del enlucido en la losa superior, se observa una falla longitudinal.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

4.2.7 Hospital Miguel H. Alcívar.

4.2.7.1 Período de Vibración.

De la ilustración 28 Se determinará el C_t y α según el sistema estructural de la edificación y el período de vibración de la estructura se calculará con la ecuación 7.

Tabla 26 Período de vibración del Hospital Miguel H. Alcívar.

PERÍODO DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Hospital Miguel H. Alcívar				
Ct	0,055	α	0,75	Observación: Pórticos
hn	17,64	T(s)	0,473	

Elaborada por: La Autora

Una vez calculado el periodo de vibración de la estructura, se puede observar que se encuentra dentro de los periodos límites de vibración $T_o \leq T \leq T_c$ por lo tanto para calcular el S_a del terremoto se utilizará la ecuación 3.

$$S_{a_{TERREMOTO}} = 0.765$$

4.2.7.2 Espectro de desplazamiento elástico de la estructura.

Se determina el T_L con la ecuación 10.

$$T_L = 2.4 F_d$$

$$T_L = 2.4 (1.5)$$

$$T_L = 3.6 \text{ s}$$

Una vez calculado el T_L , se calcula es desplazamiento elástico de la estructura y como $T \leq T_L$ se utilizará la ecuación 8:

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

$$S_d = 0,765 * (9,81) * \left(\frac{0,473}{2\pi} \right)^2$$

$$S_d = 0,043\text{m}$$

4.2.7.3 Deriva máxima del edificio.

La deriva se la calculará con la ecuación 11.

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{S_d}{H} \right)$$

$$\Delta M = 0,75 \left(\frac{0,043}{17,64} \right)$$

$$\Delta M = 0,18\%$$

4.2.7.4 Espectro del diseño según el año de construcción del edificio.

4.2.7.4.1 Código Ecuatoriano de la Construcción 1979 (CEC-79).

Se calculará el periodo elástico fundamental de vibración de la estructura con la ecuación 15.

$$T = \frac{0.1 h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = \frac{0.1 (17.64)}{\sqrt{68.45}}$$

$$T = 0.21 \text{ s}$$

Ya calculado el período elástico de vibración de la estructura, se calculará el coeficiente numérico con la ecuación 14.

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

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0.21}}$$

$$C = 0.15$$

Según el CEC-79, el periodo de vibración del suelo (T_s) es igual a 2.5. Dicho valor se lo obtuvo de la tabla 11, según el tipo de suelo donde estaba construida la estructura.

A continuación, se procede a calcular el coeficiente numérico para la resonancia de la estructura en el sitio. Como T/T_s es ≤ 1 , se utilizará la ecuación 16.

$$S = 1 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

$$S = 1 + \frac{0.21}{2.5} - 0.5 \left(\frac{0.21}{2.5} \right)^2$$

$$S = 1.08$$

El CS no debe exceder 0.14. Si el valor de CS es mayor que 0.14 se escogerá 0.14.

$$CS \leq 0.14$$

$$0.15 * 1.08 \leq 0.14$$

0.16 \nless 0.14 **Ok**

Como CS no es menor que 0.14, se escoge el 0.14

4.2.7.4.2 Espectro inelástico de diseño.

El CEC-79 permite obtener el espectro inelástico mediante la obtención de los coeficientes del cortante basal con la ecuación 12.

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

De la tabla 9 se deberá escoger el coeficiente I de acuerdo con la importancia de la estructura y de la tabla 10 se escogerá el coeficiente K que depende del sistema estructural y de la naturaleza de la estructura.

Para esta edificación se utilizará un I igual a 1.5 y un K igual a 1.

Por lo tanto, el C_s será igual a:

$$C_s = 1.5 * 1 * 0.14$$

$$C_s = 0.21$$

4.2.7.5 Factor de Reducción efectiva.

Se determinará el factor de reducción efectivo durante el sismo.

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{S_a \text{ (Respuesta elástica del período de vibración de la estructura)}}{C_s \text{ de diseño}}$$

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{0.765}{0.21}$$

$$R_{\text{Efectivo}} = 3.64$$



Ilustración 67 Daños en mampostería de recubrimiento.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 68 Daños en mampostería y parapetos.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 69 Astillamiento del hormigón, se observa el acero de refuerzo en cabeza de columna.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 70 Existencia de grieta y ondulaciones en el contrapiso.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 71 Desprendimiento de recubrimiento y falla por corte en vigas.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 72 Daños en paredes interiores, grandes grietas en diagonal.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 73 Fisuras y desprendimiento en celosías.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 74 Presencia de grietas por cortante y flexión en columnas.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 75 Grietas en recubrimiento de pisos.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 76 Fisuras en muro del hospital.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 77 Grietas inclinadas por cortante.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 78 Grietas en articulación de viga y columna.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 79 Caída de cielo raso, grietas en mampostería.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 80 Se aprecia el acero en columna.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 81 Grietas diagonales en mampostería.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 82 Astillamiento del hormigón y prolongación de grietas en columnas. La falla se localiza en pie de columna.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 83 Existe astillamiento y prolongación de grietas en zona central de la columna.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 84 Grietas en diagonales.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 85 Grietas y ondulaciones producto del hundimiento del suelo.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 86 Daños por hundimiento del suelo.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 87 Daños por hundimiento del suelo.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 88 Hormigón reventado a consecuencia de falla del suelo.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 89 Varias grietas de flexión se forman en la cabeza de la columna.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 90 Desprendimiento de la placa o losa del suelo de la estructura.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 91 Grieta de gran longitud se extiende hacia los niveles superiores, producto de la falla del elemento de la columna de soporte fue lesionada.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 92 Colapso de paredes de la estructura.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 93 Se evidencia falla en el nudo provocando fisuras en vigas adjuntas a la columna.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 94 Fallas en cabeza de columna, presentan grietas en forma de X.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 95 Grandes grietas en diagonal, planta baja.
(Fuente: Soleico, 2016)



Ilustración 96 Paredes susceptibles al colapso, planta baja.
(Fuente: Soleico, 2016)

4.2.8 Edificio El Almirante.

4.2.8.1 Período de Vibración.

De la ilustración 28 Se determinará el C_t y α según el sistema estructural de la edificación y el período de vibración de la estructura se calculará con la ecuación 7.

Tabla 27 Período de vibración de El Almirante.

PERÍODO DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA				
Edificio El Almirante				
Ct	0,055	A	0,9	Observación: Pórticos
hn	30	T(s)	1,174	

Elaborada por: La Autora

Una vez calculado el periodo de vibración de la estructura, se puede observar que el $T \geq T_c$ por lo tanto para calcular el S_a del terremoto se utilizará la ecuación 4.

$$S_{a_{TERREMOTO}} = 0.657$$

4.2.8.2 Espectro de desplazamiento elástico de la estructura.

Se determinará el T_L con la ecuación 10.

$$T_L = 2.4 F_d$$

$$T_L = 2.4 (1.11)$$

$$T_L = 2.66 \text{ s}$$

Una vez calculado el T_L , se calcula el desplazamiento elástico de la estructura y como $T \leq T_L$ se utilizará la ecuación 8.

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

$$S_d = 0.657 * (9.81) \left(\frac{1.174}{2\pi} \right)^2$$

$$S_d = 0.225 \text{ m}$$

4.2.8.3 Deriva máxima del edificio.

La deriva se la calculará con la ecuación 11.

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{S_d}{H} \right)$$

$$\Delta M = 0.75 \left(\frac{0.225}{30} \right)$$

$$\Delta M = 0.56\%$$

4.2.8.4 Espectro del diseño según el año de construcción del edificio.

4.2.8.4.1 Código Ecuatoriano de la Construcción 1979 (CEC-79).

Se calculará el periodo elástico fundamental de vibración de la estructura con la ecuación 15.

$$T = \frac{0.1 h_n}{\sqrt{D}}$$

$$T = \frac{0.1 (30)}{\sqrt{25.55}}$$

$$T = 0.59 \text{ s}$$

Ya calculado el período elástico de vibración de la estructura, se calculará el coeficiente numérico con la ecuación 14.

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

$$C = \frac{1}{15\sqrt{0.59}}$$

$$C = 0.09$$

Según el CEC-79, el periodo de vibración del suelo (T_s) es igual a 1.5. Dicho valor se lo obtuvo de la tabla 11, según el tipo de suelo donde estaba construida la estructura.

A continuación, se procede a calcular el coeficiente numérico para la resonancia de la estructura en el sitio. Como T/T_s es ≤ 1 , se utilizará la ecuación 16.

$$S = 1 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

$$S = 1 + \frac{0.59}{1.5} - 0.5 \left(\frac{0.59}{1.5} \right)^2$$

$$S = 1.32$$

El CS no debe exceder 0.14. Si el valor de CS es mayor que 0.14 se escogerá 0.14.

$$CS \leq 0.14$$

$$0.09 * 1.32 \leq 0.14$$

$$0.12 \leq 0.14 \text{ Ok}$$

Como CS es menor que 0.14, se escoge el 0.12

4.2.8.4.2 Espectro inelástico de diseño.

El CEC-79 permite obtener el espectro inelástico mediante la obtención de los coeficientes del cortante basal con la ecuación 12.

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

De la tabla 9 se deberá escoger el coeficiente I de acuerdo con la importancia de la estructura y de la tabla 10 se escogerá el coeficiente K que depende del sistema estructural y de la naturaleza de la estructura.

Para esta edificación se utilizará un I igual a 1 y un K igual a 1.

Por lo tanto, el C_s será igual a:

$$C_s = 1 * 1 * 0.12$$

$$C_s = 0.12$$

4.2.8.5 Factor de Reducción efectiva.

Se determinará el factor de reducción efectivo durante el sismo.

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{S_a \text{ (Respuesta elástica del período de vibración de la estructura)}}{C_s \text{ de diseño}}$$

$$R_{\text{Efectivo}} = \frac{0.657}{0.12}$$

$$R_{\text{Efectivo}} = 5.48$$



Ilustración 97 Fachada del Almirante, después del sismo del 2016.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 98 Fisuras en viga de comedor.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 99 Fisuras en losa de comedor.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 100 Serios daños en la mampostería.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 101 Se observa fisuras de corte y flexión en viga descolgada. Además, se observa el hormigón bastante poroso y ha perdido su recubrimiento, el cual era excesivo.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

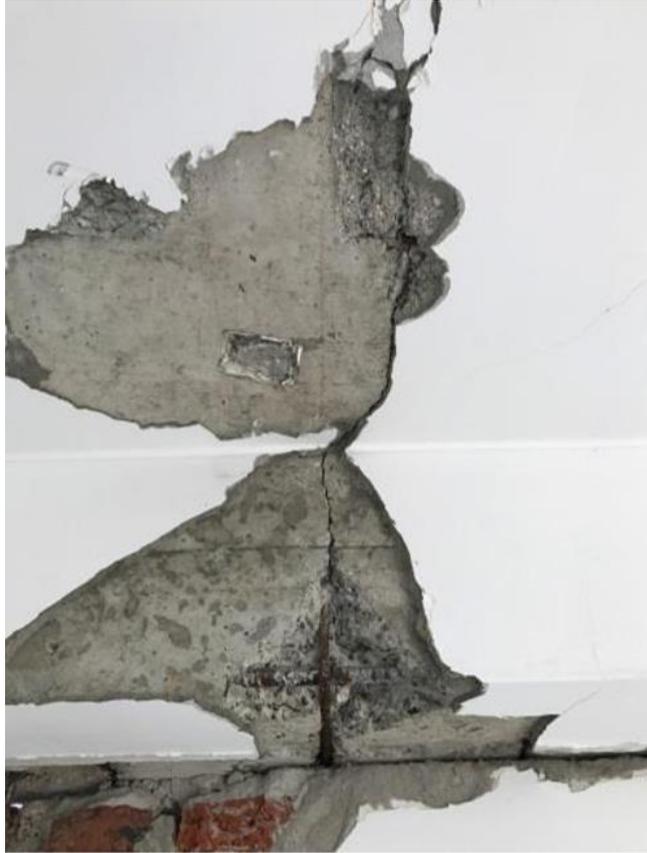


Ilustración 102 La fisura de la viga atraviesa toda su sección transversal y atraviesa la losa junto al nervio.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 103 Fisuramiento en la losa.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

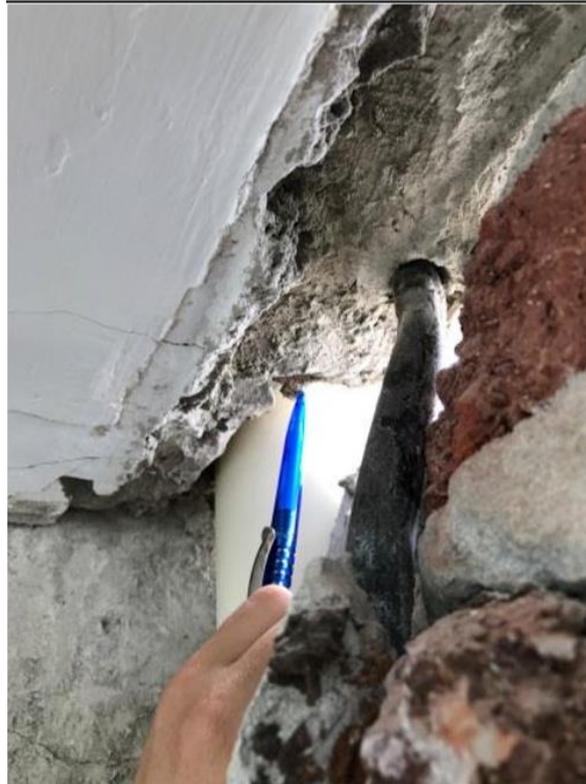


Ilustración 104 Se detectó que se cortó uno de los refuerzos inferiores para el paso de la bajante.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 105 Viga cuya mampostería actuó como muro causando fisuras de corte.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 106 Fisura debida a longitud excesiva del volado, se encuentra presente en los 5 primeros pisos.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

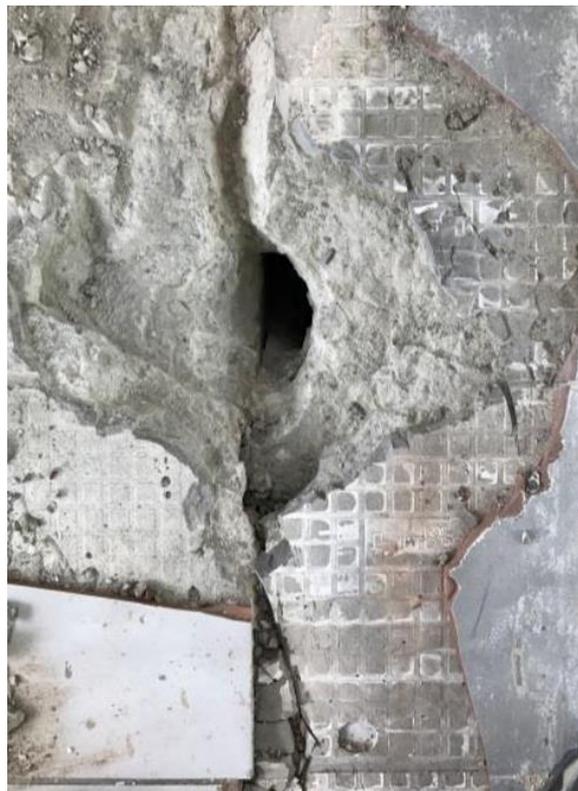


Ilustración 107 Fisuras de los balcones. Se picó la losa para detectar la extensión de la fisura y se observó que no existe malla electrosoldada en loseta de compresión.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 108 Nervios de la losa presentan un hormigón defectuoso.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 109 Se observa asentamiento relativo de la losa, aprox. de 0.5cm.
(Fuente: PlanProcons, 2016)



Ilustración 110 Fisura en zona de voladizo.
(Fuente: PlanProcons, 2016)

5 Demandas aproximadas de deformación lateral sísmica en edificios de varios pisos, método propuesto por el Dr. Eduardo Miranda en 1999.

Este método permite una estimación rápida del desplazamiento máximo del techo y de la deriva entrepiso máxima para un historial de tiempos de aceleración dado o para un espectro de respuesta de desplazamiento dado. Un edificio de varios pisos se modela como una estructura continua equivalente que consiste en una combinación de una viga en voladizo de flexión y una viga en voladizo de corte. El modelo simplificado es usado para investigar la relación del desplazamiento espectral al desplazamiento del techo y la relación de la deriva máxima de entrepiso con el deriva del techo. Se examina el efecto de la distribución de las fuerzas laterales a lo largo de la altura del edificio y de la relación de las deformaciones flexurales y cortantes totales.

En el método aproximado del Dr. Miranda indica que cualquier edificio ante una fuerza sísmica va a tener deformaciones laterales a corte, flexión o ambas. Por lo tanto, modela el edificio haciendo una combinación entre una viga a flexión y una viga a corte, dicha relación se la obtiene con el factor α . Dicho factor, α , es un parámetro adimensional que controla la forma de la carga lateral.

El valor de α aproximado a cero representa flexión pura y un valor aproximado al infinito corresponde a un modelo de cortante puro (Miranda, 1999).

Si la deformación de la estructura es completamente a flexión la forma de la carga será triangular, si es completamente a corte tendrá una carga uniforme, pero a medida que varía de flexión a corte tendrá una distribución de carga lateral aproximadamente parabólica. Lo anteriormente mencionado se encuentra en la ilustración 111.

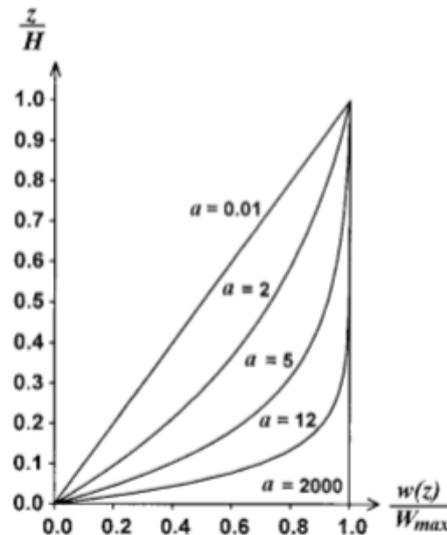


FIG. 3. Effect of Nondimensional Parameter a on Lateral Load Distribution Computed with (5)

Ilustración 111 Efecto del parámetro no-dimensional alfa, en la distribución de carga lateral.

(Fuente: Miranda, 1999)

La ilustración 112 muestra la relación de deriva entre piso normalizado por la relación de deriva en el techo en edificios sometidos a una distribución de carga triangular. Se puede observar que para los edificios con $\alpha=30$ las derivas de entrepiso cerca del fondo son 50% mayor a la relación de la deriva de techo, mientras que en el tope del edificio se espera que sea menos de la mitad de la relación de la deriva de techo. Para edificios en los cuales la deformación flexural domina sobre la deformación por corte, la deriva de entrepiso más larga ocurre cerca del tope del edificio y son aproximadamente 35% más que la relación de derivas de techo. Para los edificios que combina flexión con corte tienen una relación de deriva de entrepiso de 30% aproximadamente más grande que la relación de deriva del techo cerca del tope del edificio.

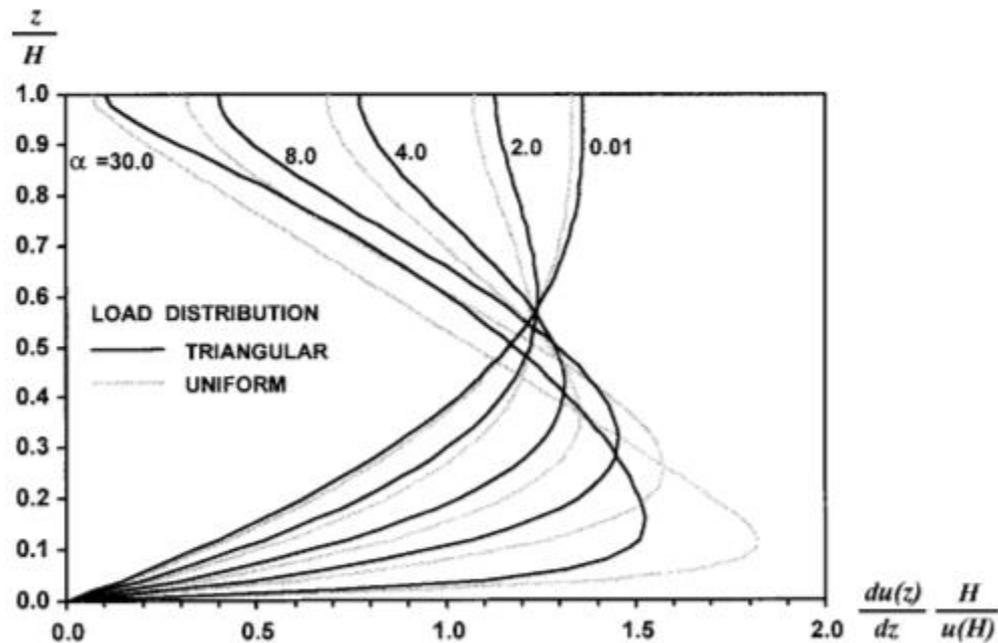


Ilustración 112 IDRs normalizado por coeficientes de derivas de techo en edificios sujetos a una distribución de carga triangular y uniforme.
(Fuente: Miranda, 1999)

Dónde:

- H: Altura total del edificio.
- Z: Altura del edificio medida desde la base.
- z/H: Altura relativa
- IDR: Relación de derivas de entrepiso (Interstory drift ratio)
- En el eje x, de la ilustración 112, se tiene el IDR normalizado por la relación de deriva de entrepiso (definido como el desplazamiento máximo en el techo dividido para la altura de la estructura).

El estado de las paredes se lo definirá de acuerdo con un estudio realizado por Andrea Chiozzi y Eduardo Miranda, en el cual clasifica los estados de daños desde el 1 al 3, desde el más leve al más severo respectivamente. Esta clasificación está en función de la deriva del edificio. Obteniendo la clasificación del estado de daño de las paredes, de cada edificio, se las comparará con las fotografías del estado de las paredes de los edificios después del sismo del 16 de abril del 2016, obtenidas del MIDUVI, para verificar que los desplazamientos inelásticos, calculados por el método de Miranda, tengan una aproximación acertada.

5.1 Nivel de daño por Chiozzi y Miranda.

5.1.1 Estado de daño 1.

Este estado de daños corresponde a la iniciación de pequeñas grietas finas en mampostería, hasta 2 mm de ancho, concentradas en la base y en la cabeza de la junta, en enlucido (cuando está presente) o a lo largo de las interfaces con las columnas y/o la viga superior del marco. Este estado de daño requiere solo intervenciones de reparación muy ligeras y simples (Chiozzi & Miranda, 2017).



Ilustración 113 Ejemplo de nivel de daño 1.
(Fuente: Chiozzi & Miranda, 2017)

5.1.2 Estado de daño 2.

Este estado de daños corresponde al comienzo de grietas significativas, de más de 2 mm de ancho, propagándose a través de ambas juntas de mortero y bloques de mampostería con un deslizamiento posible pero muy limitado entre las juntas y la trituración localizada de las unidades. Se requieren intervenciones más pesadas para reparar un relleno en este estado de daño (Chiozzi & Miranda, 2017).



Ilustración 114 Ejemplo de nivel de daño 2.
(Fuente: Chiozzi & Miranda, 2017)

5.1.3 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 (Chiozzi & Miranda, 2017).



Ilustración 115 Ejemplo de nivel de daño 3.
(Fuente: Chiozzi & Miranda, 2017)

5.1.4 Comparación del IDR calculado con el nivel de daño de pared que se espera.

Chiozzi y Miranda, presentan 3 gráficos que relaciona el nivel de daño de pared Vs la relación de deriva de entrepiso.

Conociendo el nivel de daño que tuvo la pared después del sismo puede obtener una aproximación de la deriva de entrepiso, o viceversa. Es decir, si conoce la deriva de entrepiso puede saber qué porcentaje de afectación y que nivel de daño va a tener las paredes. Estos valores se los obtiene en los gráficos que se encuentran en las ilustraciones 116, 117 y 118.

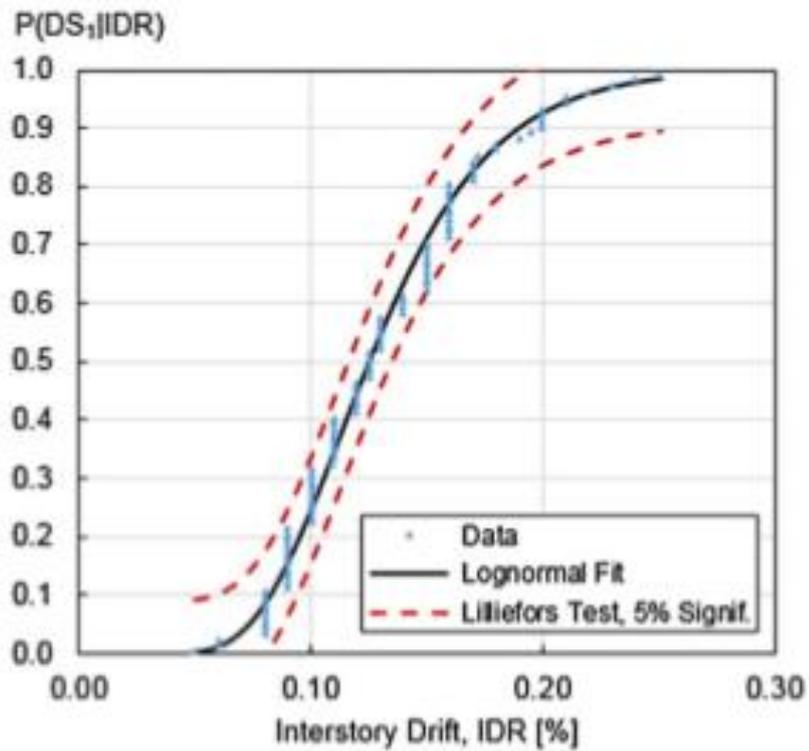


Ilustración 116 IDR Vs estado de daño 1.
 (Fuente: Chiozzi & Miranda, 2017)

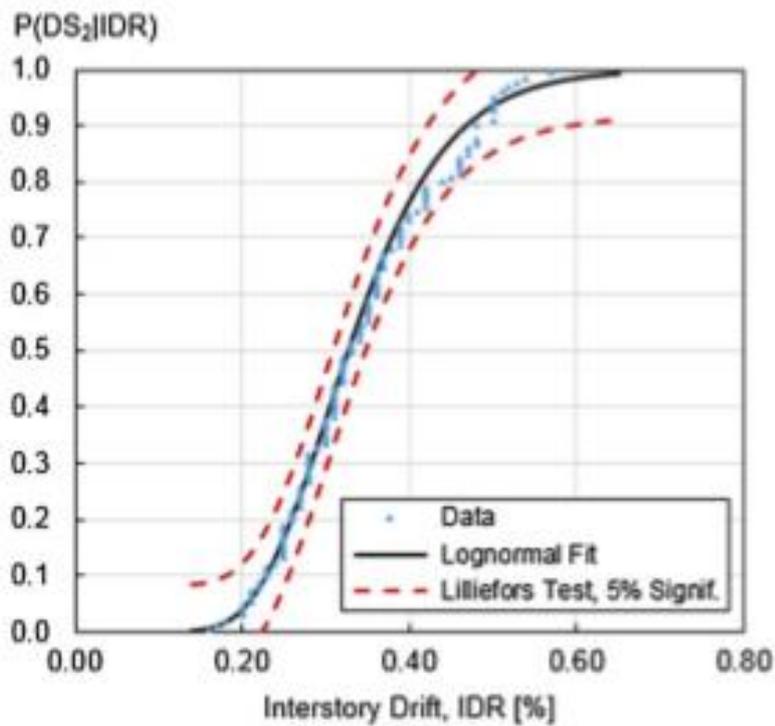


Ilustración 117 IDR Vs estado de daño 2.
 (Fuente: Chiozzi & Miranda, 2017)

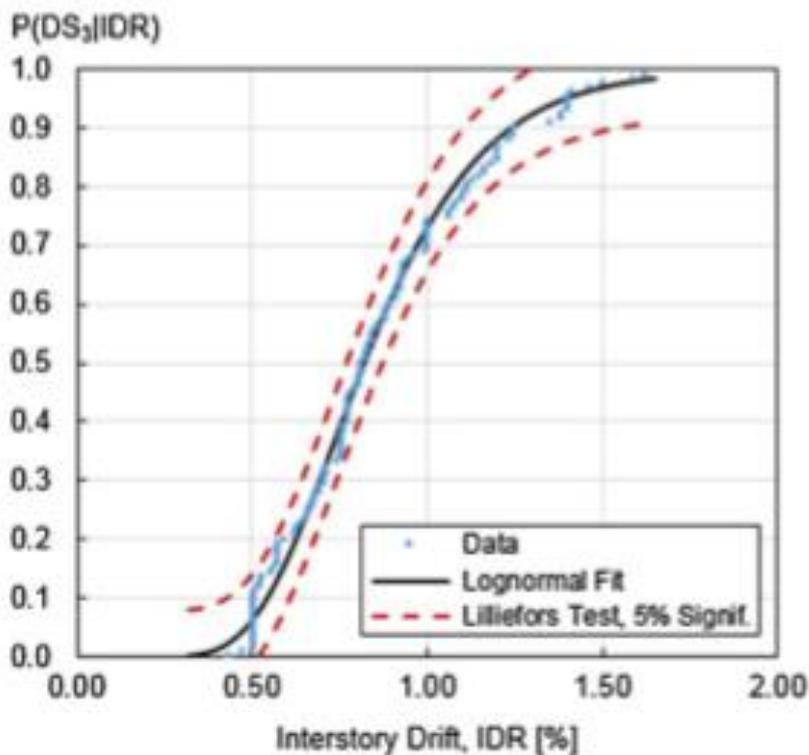


Ilustración 118 IDR Vs estado de daño 3.
(Fuente: Chiozzi & Miranda, 2017)

5.2 Cálculo aproximado de las deformaciones laterales máximas propuesto por Miranda 1999.

Se procederá a calcular los desplazamientos inelásticos aplicando el método propuesto por Miranda 1999, en los edificios de interés para el presente trabajo de investigación. Se observará las fotografías tomadas por las consultorías Soleico y Plan Procons, para saber cómo quedaron los edificios después del sismo del 16 de abril, en donde se produjo el mayor daño y clasificar en nivel de daño en paredes según el capítulo 5.1.

5.2.1 Edificio La Fragata.

En la ilustración 44 se puede observar que el mayor daño ocurrió en los primeros 4 pisos. Se concluye que tuvo un comportamiento a corte, entrando a un comportamiento a flexión. Por lo tanto, se utilizará un α igual a 8.0.

En dónde:

- $H= 33.38\text{m}$
- $Z= 13.94\text{m}$
- La relación de z/H da un valor de 0.42.

Al obtener la relación z/H y el α , se observa la ilustración 112 y se obtiene un factor para calcular la deriva de entrepiso.

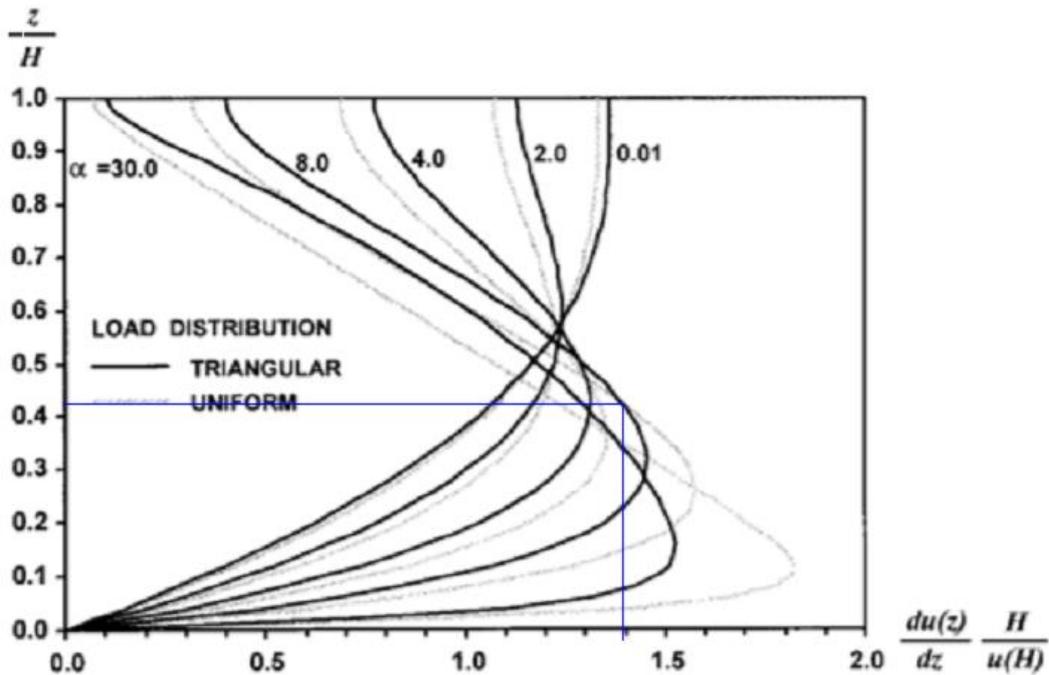


Ilustración 119 Factor para calcular la deriva de entrepiso.
(Fuente: La Autora)

Según la ilustración 119, se obtiene un IDR igual a 1.4. Dicho valor se lo multiplicará por la deriva promedio, calculada en el capítulo 4 con la ecuación 11, para obtener el desplazamiento inelástico del edificio.

- Desplazamiento Inelástico = $(0.33\%) \times (1.4) = 0.46\%$

Según se observa en las ilustraciones 43 y 51 el nivel de daño que tuvo las paredes, de acuerdo con la clasificación de Chiozzi y Miranda, fue estado de daño 3 y la deriva obtenida fue de 0.46%. Con estas dos conclusiones se va a la ilustración 118 para comprobar que la deriva de entrepiso esté dentro del rango para un estado de daño 3 en paredes.

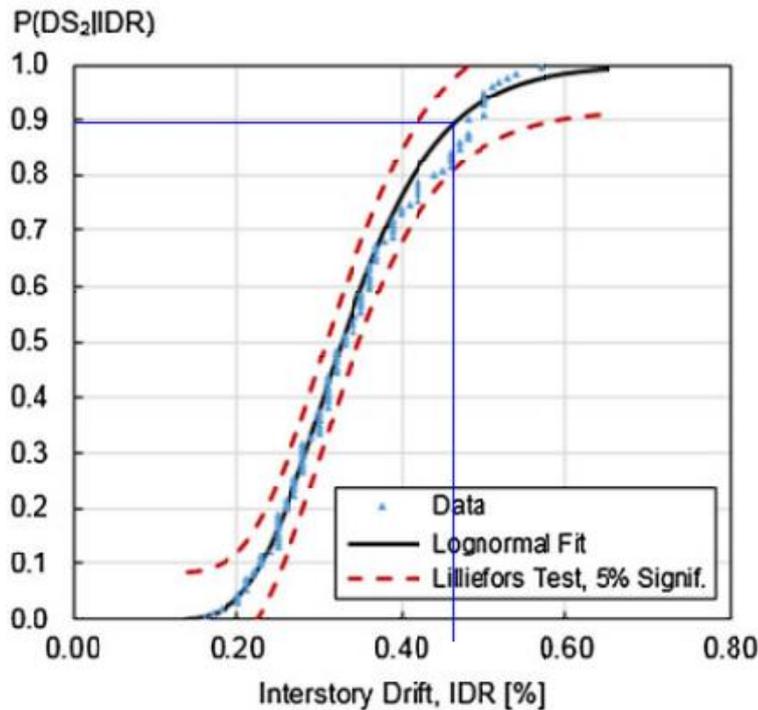


Ilustración 120 Comprobación del IDR con el estado de daño de las paredes.
(Fuente: La Autora)

De acuerdo con la ilustración 120 se obtendrá un 90% de probabilidad de daño en paredes tipo 2.

5.2.2 Edificio CNT

En la ilustración 52 se puede observar que el mayor daño ocurrió en los primeros pisos. Como es un edificio rígido se puede decir que tuvo una deformación a corte, pero como también hubo un gran daño en la planta algo se concluye que también se deformó a flexión. Por lo tanto, se utilizará un α igual a 4.0.

Dónde:

- $H= 10.02m$
- $Z= 3.34m$
- La relación de z/H da un valor de 0.33.

Al obtener la relación z/H y el α , se observa la ilustración 112 y se obtiene un factor para calcular la deriva de entrepiso.

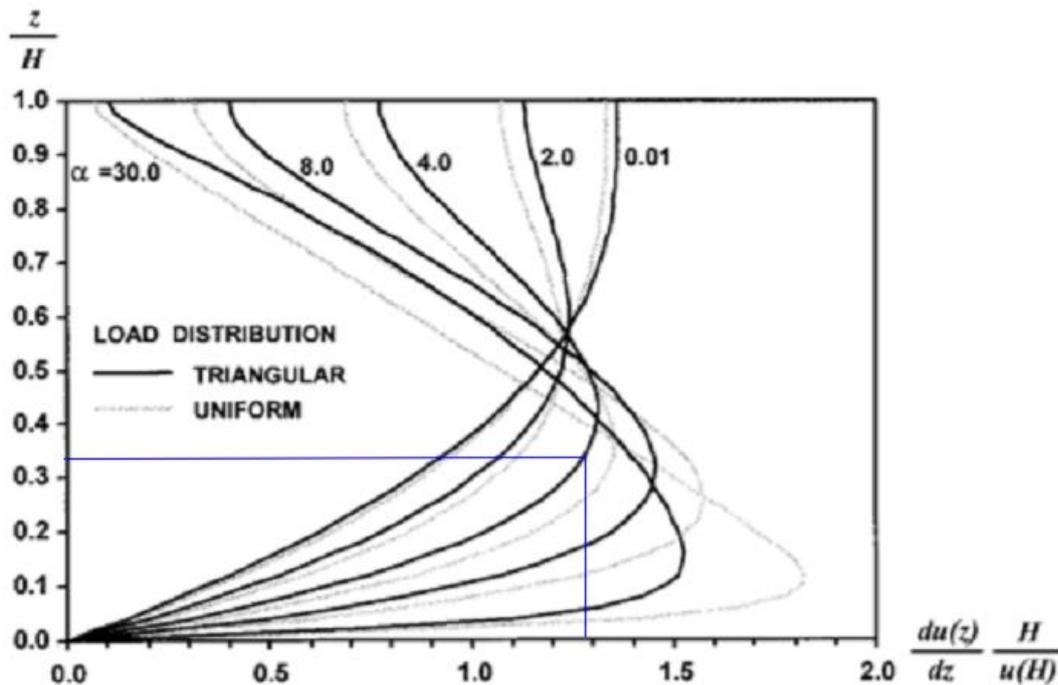


Ilustración 121 Factor para calcular la deriva de entresuelo.
(Fuente: La Autora)

Según la ilustración 121, se obtiene un IDR igual a 1.29. Dicho valor se lo multiplicará por la deriva promedio, calculada en el capítulo 4 con la ecuación 11, para obtener el desplazamiento inelástico del edificio.

- Desplazamiento Inelástico = $(0.33\%) \times (1.29) = 0.43\%$

Según se observa en las ilustraciones 52, 53, 54, y 61 el nivel de daño que tuvo las paredes, de acuerdo con la clasificación de Chiozzi y Miranda, fue estado de daño 3 y la deriva obtenida fue de 0.43%. Con estas dos conclusiones se va a la ilustración 118 para comprobar que la deriva de entresuelo esté dentro del rango para un estado de daño 3 en paredes.

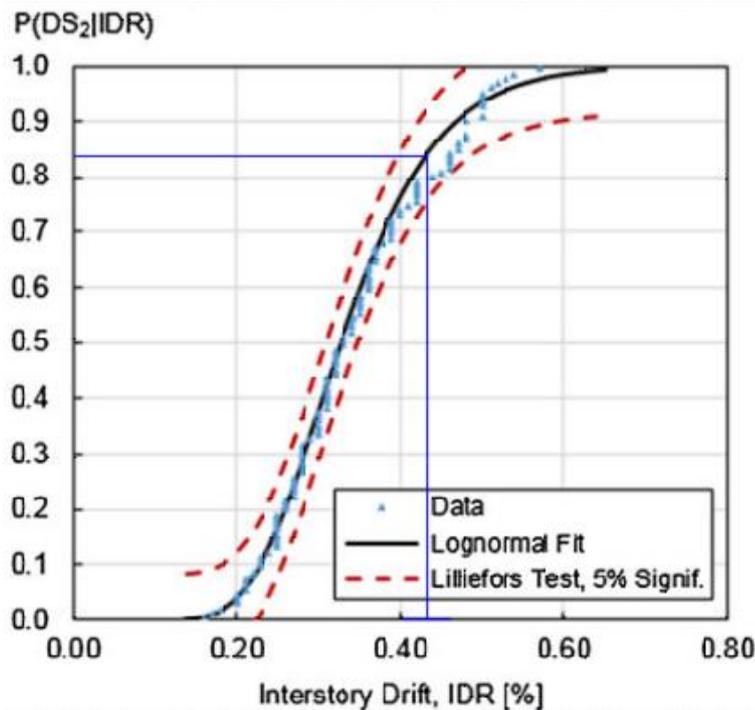


Ilustración 122 Comprobación del IDR con el estado de daño de las paredes.
(Fuente: La Autora)

De acuerdo con la ilustración 122 se obtendrá un 84% de probabilidad de daño en paredes tipo 2.

5.2.3 Edificio Jalil.

En las ilustraciones 62 y 63 se puede observar que el mayor daño ocurrió en los pisos del medio por lo cual se hará el análisis en el 3er piso. Se concluye que tuvo un comportamiento a corte y flexión. Por lo tanto, se utilizará un α igual a 4.0.

En dónde:

- $H= 21.42m$
- $Z= 12.24m$
- La relación de z/H da un valor de 0.58.

Al obtener la relación z/H y el α , se observa la ilustración 112 y se obtiene un factor para calcular la deriva de entrepiso.

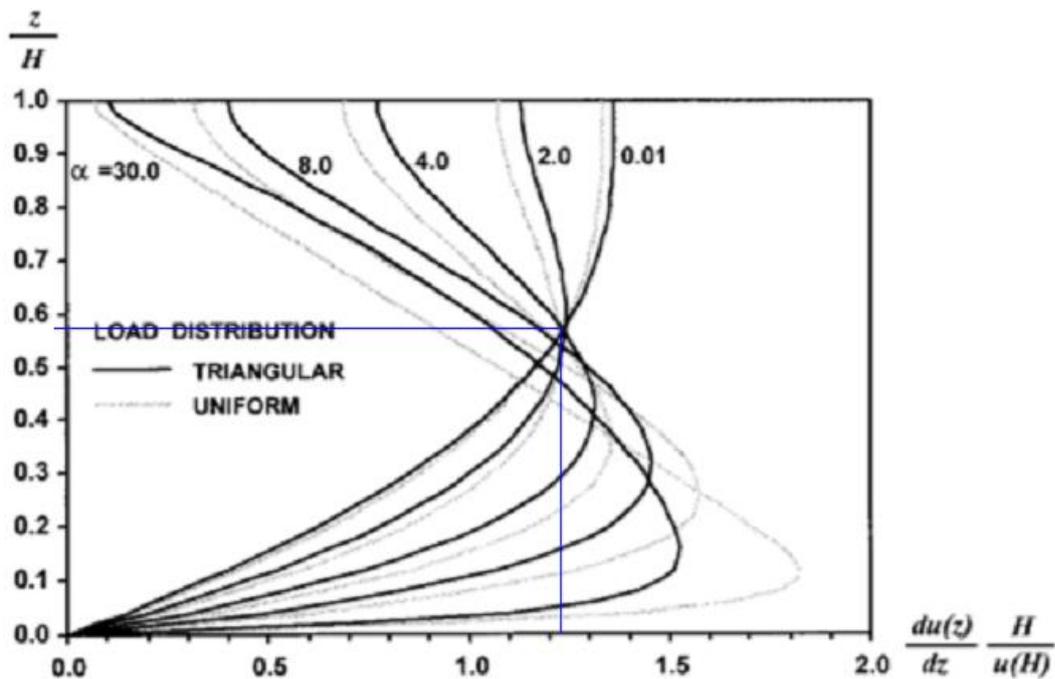


Ilustración 123 Cálculo de la deriva de entresuelo.
(Fuente: La Autora)

Según la ilustración 123, se obtiene un IDR igual a 1.23. Dicho valor se lo multiplicará por la deriva promedio, calculada en el capítulo 4 con la ecuación 11, para obtener el desplazamiento inelástico del edificio.

- Desplazamiento Inelástico = $(0.58\%) \times (1.23) = 0.71\%$

Según se observa en las ilustraciones 64 y 65 el nivel de daño que tuvo las paredes, de acuerdo con la clasificación de Chiozzi y Miranda, fue estado de daño 3 y la deriva obtenida fue de 0.71%. Con estas dos conclusiones se va a la ilustración 118 para comprobar que la deriva de entresuelo esté dentro del rango para un estado de daño 3 en paredes.

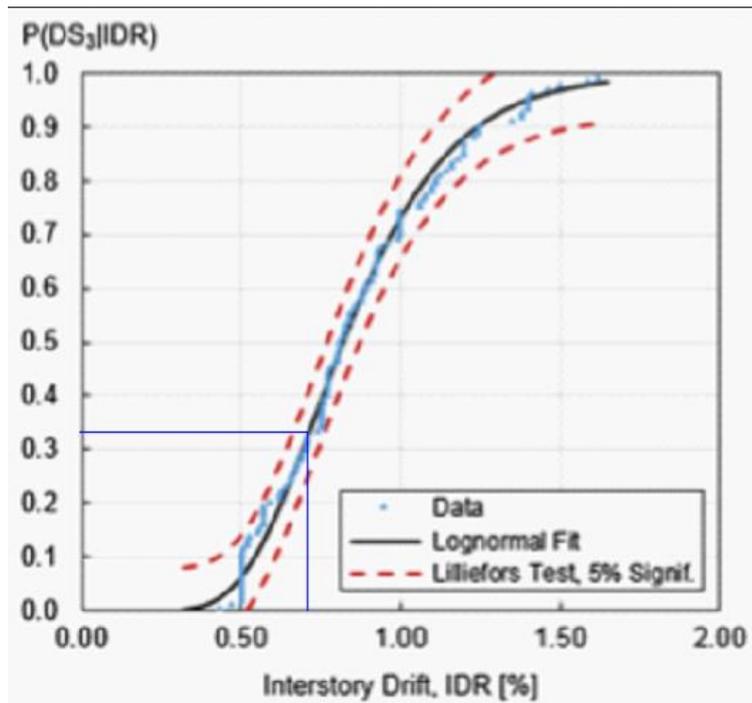


Ilustración 124 Comprobación del IDR con el estado de daño de las paredes.
(Fuente: La Autora)

De acuerdo con la ilustración 124 se obtendrá un 33% de probabilidad de daño en paredes tipo 3.

5.2.4 Hospital Miguel H. Alcívar

En la ilustración 4 se puede observar que el mayor daño ocurrió en la planta baja y se observa la ilustración 4 ya que en la ilustración 5 no se observan daños significativos. Se concluye que tuvo un comportamiento a corte. Por lo tanto, se utilizará un α igual a 30.0.

Dónde:

- $H = 17.64\text{m}$
- $Z = 4.14\text{m}$
- La relación de z/H da un valor de 0.24.

Al obtener la relación z/H y el α , se observa la ilustración 112 y se obtiene un factor para calcular la deriva de entrepiso.

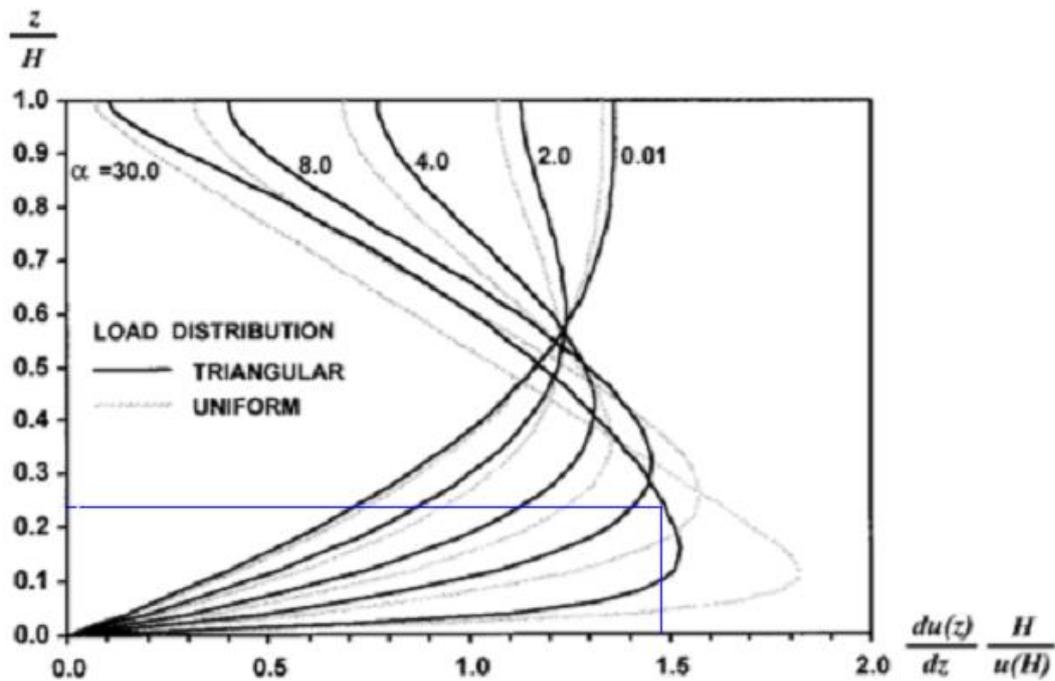


Ilustración 125 Cálculo de la deriva de entresuelo.
(Fuente: La Autora)

Según la ilustración 125, se obtiene un IDR igual a 1.49. Dicho valor se lo multiplicará por la deriva promedio, calculada en el capítulo 4 con la ecuación 11, para obtener el desplazamiento inelástico del edificio.

- Desplazamiento Inelástico = $(0.18\%) \times (1.49) = 0.27\%$

Según se observa en las ilustraciones 66, 67, 71, 72, 76, 78, 80, 83, 91, 94 y 95 el nivel de daño que tuvo las paredes, de acuerdo con la clasificación de Chiozzi y Miranda, fue estado de daño 2 y la deriva obtenida fue de 0.27%. Con estas dos conclusiones se va a la ilustración 118 para comprobar que la deriva de entresuelo esté dentro del rango para un estado de daño 2 en paredes.

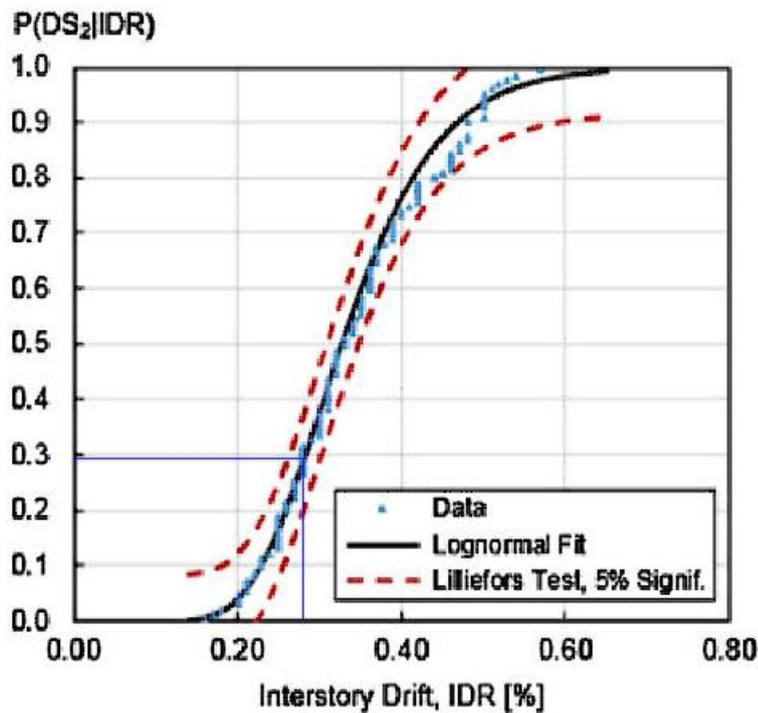


Ilustración 126 Comparación de IDR con el estado de daño de las paredes.
(Fuente: La Autora)

De acuerdo con la ilustración 126 se obtendrá un 30% de probabilidad de daño en paredes tipo 2.

5.2.5 Edificio El Almirante

En la ilustración 6 se puede observar que el mayor daño ocurrió en los primeros 3 pisos. Se concluye que tuvo un comportamiento más cercano a corte. Por lo tanto, se utilizará un α igual a 2.0.

Dónde:

- $H= 30m$
- $Z= 12m$
- La relación de z/H da un valor de 0.40.

Al obtener la relación z/H y el α , se observa la ilustración 112 y se obtiene un factor para calcular la deriva de entrepiso.

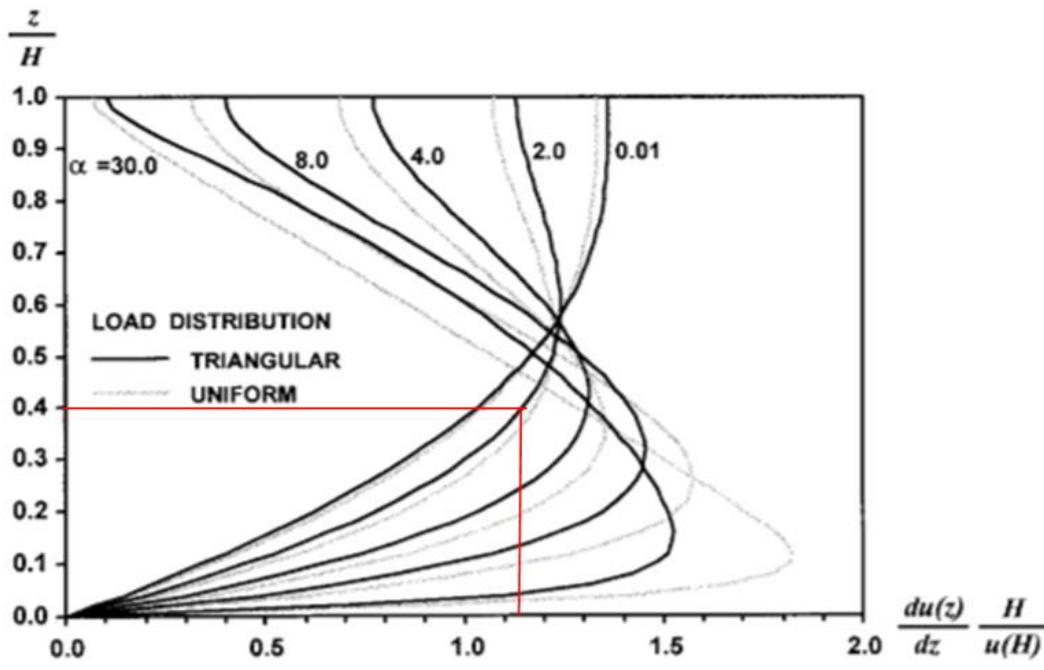


Ilustración 127 Cálculo de la deriva de entrepiso.
(Fuente: La Autora)

Según la ilustración 127, se obtiene un IDR igual a 1.12. Dicho valor se lo multiplicará por la deriva promedio, calculada en el capítulo 4 con la ecuación 11, para obtener el desplazamiento inelástico del edificio.

- Desplazamiento Inelástico = $(0.56\%) \times (1.12) = 0.63\%$

Según se observa en las ilustraciones 99 y 101 el nivel de daño que tuvo las paredes, de acuerdo con la clasificación de Chiozzi y Miranda, fue estado de daño 3 y la deriva obtenida fue de 0.63%. Con estas dos conclusiones se va a la ilustración 118 para comprobar que la deriva de entrepiso esté dentro del rango para un estado de daño 3 en paredes.

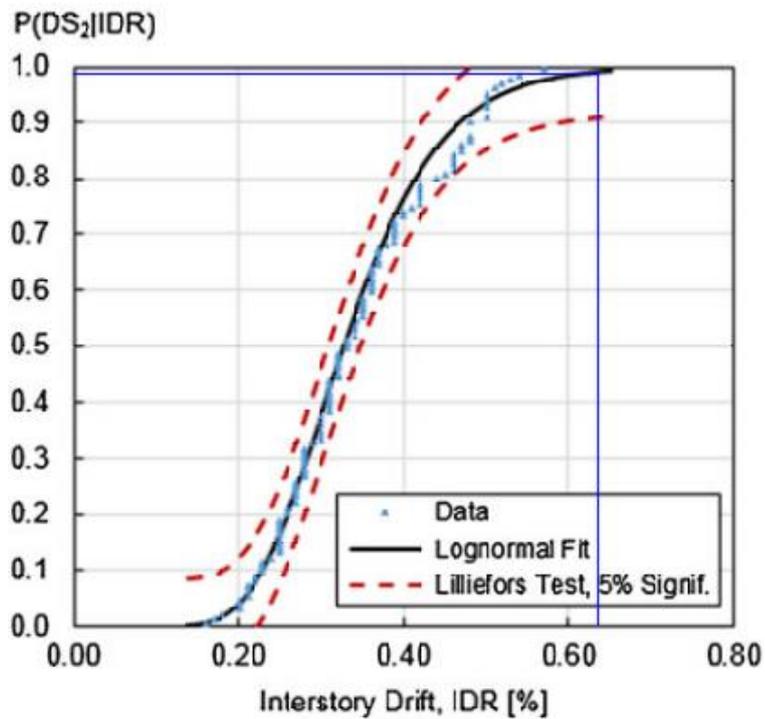


Ilustración 128 Comparación del IDR con el estado de las paredes.
 (Fuente: La Autora)

De acuerdo con la ilustración 128 se obtendrá un 99% de probabilidad de daño en paredes tipo 2.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Cuatro de los cinco edificios analizados en el presente trabajo de titulación fueron afectados por el sismo del 4 de agosto del 1998, los cuales fueron reforzados, pero aun así no sobrevivieron al sismo del 16 de abril del 2016. Según las fotografías mostradas en el capítulo 4, los edificios tuvieron daños no estructurales graves y daños estructurales leves. Se concluye que los edificios podían ser rehabilitados y no demolidos; sin olvidar que los reforzamientos hechos después del sismo del 98 no fueron de mucha ayuda esto podría ser porque no se aplicó bien el método de reforzamiento o no se realizó un estudio adecuado de reforzamiento para la estructura.

Tabla 28 Método de reforzamiento aplicados a los edificios afectados por el sismo del 98 en Bahía de Caráquez.

Edificios afectados por sismo del 98	Nivel de daño	Reforzamiento	Edificios afectados por sismo del 2016	Nivel de daño	R (efectivo)
EL Almirante	Severo	Epóxico en vigas y columnas.	EL Almirante	Severo	5,48
Jalil	Colapso Parcial	Reforzaron las columnas y adicionaron vigas en la zona afectada.	Jalil	Severo	6,8
Hosp. Miguel H. Alcívar	Severo	Encamisado de columnas del primer piso y la integración de muros de corte, ubicados en los ejes C e I.	Hosp. Miguel H. Alcívar	Severo	3,64
Pacifictel - CNT	Muy Severo	Aligeramiento de fachadas.	Pacifictel - CNT	Severo	7,2

Elaborado por: La Autora

En la tabla 29 se muestran los resultados de los desplazamientos inelásticos calculados con la NEC-15 y con el método del Dr. Miranda en 1999. En donde se puede concluir que el método del Dr. Miranda es más preciso sin olvidar que también es una aproximación. Lo que hace la NEC-15 es calcular una relación de deriva en el techo del edificio (como un drift promedio), y el Dr. Miranda obtiene un porcentaje de la relación de deriva entre piso lo cual multiplica por el valor obtenido por la NEC-15.

Se puede observar que la diferencia entre estos dos métodos no es mayor a un 50%. Se encuentra entre un rango de 30 a 50% más. Pero esta diferencia nos acerca más a una realidad, ya que los edificios con una deriva pequeña de 0.18% a 0.58% presentaría daños menores, en los elementos estructurales y no estructurales, a los mostrados en las figuras del Capítulo 4.

Tabla 29 Resultados de las derivas inelásticas con la Nec-15 y Miranda 1999.

Estructura	Deriva inelástica (NEC-15)	Deriva entrepiso (Miranda 1999)
La Fragata	0,33%	0,46%
CNT	0,33%	0,43%
Jalil	0,58%	0,71%
Miguel H. Alcívar	0,18%	0,27%
El Almirante	0,56%	0,63%

Elaborado por: La Autora

En la tabla 30 se encuentran los criterios aplicados por los consultores para concluir que la estructura debía ser demolida. Cabe recalcar que la consultoría de los edificios de la tabla 30 la realizó la consultoría Soleico. El Hosp. Miguel H. Alcívar, consultoría realizada por Plan Procons, y el edificio El Almirante, consultoría realizada por Soleico, no se encuentran incluidos porque su conclusión fue que se podían reparar y reforzar.

Tabla 30 Criterios aplicados por los consultores para recomendar demolición.

Criterios aplicados por los consultores para recomendar demolición		
Parámetros considerados en la evaluación	Estructuras de estudio	
	Edif. La Fragata	Edif. Jalil
¿Baja resistencia del hormigón?	✓	✓
¿Corrosión del acero de refuerzo?	x	X
¿Pérdida de la verticalidad?	✓	✓
¿Antigüedad?	x	X
Daños observados	✓	✓

Elaborado por: La Autora

Como se puede observar en la tabla 30, uno de los criterios para la demolición fue que el hormigón de las estructuras, La Fragata y Jalil, tenían una baja resistencia a compresión, de 14MPa y 10MPa respectivamente, para la de diseño que era mínimo de 21MPa.

Otro criterio fue el de la pérdida de verticalidad en la cual el edificio La Fragata tenía desplome en su verticalidad de 0,596% (Fachada frontal), asentamiento (deflexiones permanentes) de 0,70% y las losas superiores se habían deformado verticalmente. En el edificio Jalil, en la fachada frontal tuvo una inclinación negativa de -44mm en una diferencia de altura de 11,10m, en la fachada lateral derecha tuvo una inclinación positiva de -94mm en una diferencia de altura de 11m y deformaciones permanentes con derivas de 1%.

No especificaban si tenían daños irreparables solo concluían que existían daños significativos en elementos no estructurales y estructurales, en el caso de La Fragata y en el caso del edificio Jalil decían que existían daños significativos en elementos no estructurales y algunos estructurales.

Tabla 31 Criterios aplicados por los consultores en el cual recomiendan la rehabilitación.

Criterios aplicados por los consultores en el cual recomiendan la rehabilitación		
Parámetros considerados en la evaluación.	Estructuras de estudio	
	Edif. Almirante	Hosp. Miguel H. Alcívar
¿Baja resistencia del hormigón?	✓	✓
¿Corrosión del acero de refuerzo?	x	✓
¿Pérdida de la verticalidad?	x	x
¿Antigüedad?	x	x
Daños observados	✓	✓

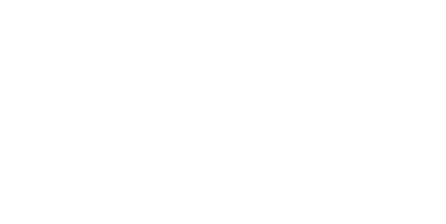
Elaborado por: La Autora

En la tabla 31 se muestra los parámetros evaluados de los edificios que se recomendaban rehabilitar, pero igual fueron demolidos. En el edificio el Almirante se obtuvo la resistencia del hormigón por el método de núcleos y con velocidades ultrasónica. El promedio fue de $f'c = 21\text{Mpa}$, lo cual cumplía con la norma mínimo de diseño; no presentaba corrosión en sus elementos estructurales; no sufrió desplome en ninguna de sus fachadas; no se lo

considera antiguo e informa que tiene fuertes daños en los primeros 5 pisos en mampostería y elementos estructurales.

El Hospital Miguel H. Alcívar obtuvo la resistencia del hormigón de las estructuras por medio de la esclerometría, en el cual su resistencia promedio fue de $f'c = 30\text{Mpa}$; la prueba de corrosión confirmó que existía oxidación en las barras de acero; no existe desplome; el edificio es antiguo pero no había culminado su tiempo de vida; la planta baja fue la más afectada, en las columnas existe un nivel de daño entre fuerte y moderado, el acero de refuerzo estaba descubierto, presentaban grietas diagonales. El nivel 1 estaba afectado en menos porcentaje hay fallas, pero no severas y la afectación disminuye en los niveles 2, 3 y 4 cuyas fallas son desde leves a insignificantes. El estrato mostraba una densidad variada desde suelta hasta densa, este tipo de suelo no saturado pueden presentar asentamientos bruscos al saturarse bajo carga, por lo que se concluye que el suelo falló por efecto de saturación y no de licuefacción.

Tabla 32 Resumen de análisis de cálculo.

Estructura	Características	Fotografía	Fuente
La Fragata	Tipo de suelo	D	 Ing. Roberto Aguiar
	Año de diseño o construcción	2010	
	Sa-Respuesta	1,003	
	Sa-Diseño CEC-02	0,1236	
	Deriva inelástica Máx. NEC-15	0,33%	
	Deriva inelástica de entrepiso. Miranda 1999	0,46%	
	R (efectivo)	8,15	
CNT	Tipo de suelo	D	 Google Maps
	Año de diseño o construcción	Antes del 98	
	Sa-Respuesta	1,008	

	Sa-Diseño CEC-02 0,140 Deriva inelástica Máx. NEC-15 0,33% Deriva inelástica de entrepiso. Miranda 1999 0,43% R (efectivo) 7,20		
Jalil	Tipo de suelo D Año de diseño o construcción 1971 Sa-Respuesta 0,884 Sa-Diseño CEC-02 0,130 Deriva inelástica Máx. NEC-15 0,58% Deriva inelástica de entrepiso. Miranda 1999 0,71% R (efectivo) 6,80		Plan Procons
Miguel H. Alcívar	Tipo de suelo E Año de diseño o construcción 1987 Sa-Respuesta 0,765 Sa-Diseño CEC-02 0,210 Deriva inelástica Máx. NEC-15 0,18% Deriva inelástica de entrepiso. Miranda 1999 0,27% R (efectivo) 3,64		El Universo
El Almirante	Tipo de suelo D Año de diseño o construcción 1991 Sa-Respuesta 0,657 Sa-Diseño CEC-02 0,120 Deriva inelástica Máx. NEC-15 0,56%		Plan Procons

	Deriva inelástica de entrepiso.		
	Miranda 1999	0,63%	
	R (efectivo)	5,48	

Elaborado por: La Autora

Los edificios analizados no alcanzaron desplazamientos inelásticos mayores al 2% durante el sismo del 16 de abril del 2016, valor límite establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el 2015 (NEC-15) para estructuras de hormigón, norma que aún sigue vigente en la actualidad. Las derivas inelásticas calculadas fueron menores a 1% encontrándose en un rango de 0.27% a 0.71%. Según el criterio del Ing. Alex Villacrés MSc., al tener una deriva inelástica mayor o igual al 0.20% la edificación sufrirá daños no estructurales y al llegar al 0.75% o más, la edificación ya tendría daños estructurales. Como ninguno de los edificios analizados tiene una deriva mayor o igual al 0.75% no deberían tener daños estructurales, lo cual se evidencia en los archivos fotográficos entregados por las consultorías y presentados en el capítulo 4 del presente trabajo de titulación.

Otro factor que se considera importante en el estudio es el factor de reducción efectivo de la respuesta elástica de cada edificio. Valores que se encontraban en un rango de 3.64 a 8.15. Dichos valores cumplen con la restricción de $R \leq 8$ establecidos en la NEC-15, a excepción del 8.15 perteneciente al edificio La Fragata. Dicho valor salió muy alto ya que fue diseñado con el Código Ecuatoriano de la Construcción del 2002 (CEC-02), en donde consideraban un valor de R igual a 10.

En el trabajo de titulación del Ing. Jefferson Ronald Loaiza (Los métodos de rehabilitación en los edificios afectados por el sismo del 16 de abril del 2016 en el Ecuador) se puede observar que edificios con derivas iguales o cercanas a las obtenidas en el presente trabajo de titulación, fueron rehabilitados. Cabe recalcar que en el trabajo del Ing. Loaiza se calcularon las derivas con la NEC-15 por lo cual es lógico que se las compare con las derivas de la NEC-15, del presente trabajo de titulación, y no con las derivas obtenidas por el método del Dr. Miranda. Por ejemplo, el Hotel Centinela se encuentra sobre un suelo tipo D, construido en 1991, con una deriva inelástica de 0.56% y fue

rehabilitado; a diferencia del edificio El Almirante que se encontraba en un suelo tipo C, construido en 1991, con una deriva inelástica de 0.56% (Igual a la del hotel Centinela) fue demolido.

El Hospital Miguel H. Alcívar, después del sismo del 16 de abril del 2016, tuvo daños no estructurales severos y daños estructurales leves (según las fotografías del capítulo 4). Al ser un hospital, es considerado como una estructura esencial de mayor importancia (según la NEC-15, vigente), el cual tuvo que seguir funcionando después del sismo, pero no fue así. Como se había mencionado antes el hospital fue afectado por el sismo del 98 pero la estructura fue reforzada con un método propuesto por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Ecuatoriano otra razón por la cual el hospital tuvo que seguir funcionando. Incluso en la consultoría hecha por Soleico se propone un método de rehabilitación. A pesar de lo mencionado anteriormente si la zona les seguía pareciendo insegura por las malas condiciones del suelo, la edificación la pudieron destinar a otro uso.

Si la decisión de demoler los edificios se basara en el factor de reducción efectivo (Refectivo) y en el cálculo de las derivas inelásticas, ninguno debió ser demolido porque no superaron los valores límites establecidos por la norma (NEC - 15). Pero, existen factores como la resistencia del hormigón, la presencia de corrosión en el acero de refuerzo o la pérdida de verticalidad; si encontramos al menos dos factores se podría concluir que si hubo una justificación técnica para la demolición.

En el edificio Fragata se observó daños significativos no estructurales y estructurales, la resistencia del hormigón fue baja y había perdido verticalidad. Por lo tanto si hubo una justificación técnica para su demolición.

En el edificio Jalil se observó daños no estructurales, resistencia del hormigón baja y pérdida de la verticalidad. Por lo tanto si hubo una justificación técnica para su demolición.

En el edificio El Almirante se observó daños no estructurales severos y una baja resistencia del hormigón. Por lo tanto no hubo una justificación técnica para su demolición.

6.2 Recomendaciones

De acuerdo con los cálculos obtenidos de los edificios analizados, se concluye que el valor permisible de la deriva inelástica, establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015, del 2% es muy alto. Ya que con valores de derivas de 0.18% a 0.58% (calculadas por la NEC-15) se observaron daños muy severos en elementos no estructurales y leves daños estructurales por lo que se recomienda reducir el porcentaje como máximo al 1%, para que en las futuras construcciones no presenten grandes daños no estructurales, como los observados en el presente trabajo de titulación, ante la ocurrencia de otro sismo de magnitud similar o mayor. En la ilustración 129 se observa que normas de construcción sismorresistente en otros países como Perú, Colombia, México y Chile tienen restricciones de límites de derivas inelásticas más bajas que las de Ecuador.

País	Código	Criterio	
Perú	NTE E-030 2003	Material Predominante	
		Concreto Armado	Δ_i/h_i 0.007
		Aceros	0.010
		Albañilería	0.005
		Madera	0.010
Colombia	NSR-98	Material Predominante	Δ_i/h_i
		Concreto reforzado, metálicas y de madera	0.010
		Mampostería	0.005
México	MOC-93	Los desplazamientos laterales de pisos consecutivos producidos por las acciones sísmicas, no excederán 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, salvo que no haya elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables, como muros de mampostería, o éstos estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones. En tal caso, el límite en cuestión será de 0.012.	
	NTCDS-96		
Chile	NCh 433.Of96	<ul style="list-style-type: none"> El desplazamiento relativo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0.002. El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en cualquier punto de la planta en cada una de las direcciones de análisis, no debe exceder en más de 0.001h al desplazamiento relativo correspondiente medido en el centro de masas, en donde h es la altura de entrepiso. 	

Ilustración 129 Límites de la deriva inelástica en diferentes países.

(Fuente: Andrade, 2004)

Otra observación que se realiza a la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015 (NEC-15) es respecto al factor de reducción R que adopta valores muy altos. Esto podría ser perjudicial ya que al diseñar con un factor de reducción más alto se obtendría un coeficiente sísmico más pequeño que el de las normas o códigos anteriores como el CEC-79. Si se diseña con un coeficiente sísmico más pequeño, se tendrá un cortante basal menor y esto

es lo contrario a lo que se busca; la NEC-15 incrementa el peligro sísmico respecto a las normas anteriores. Lo que se recomienda es que verifiquen los valores de R adoptando valores menores, como $R=6$.

Cuatro de los cinco edificios analizados fueron construidos antes de 1998 por lo que se asume que fueron diseñado con el CEC-79, con coeficientes sísmicos iguales o menores a 0.14. Si esos mismos edificios hubieran sido diseñados con la norma NEC-15, $z=0.5$ en Bahía de Caráquez y $R=8$, su coeficiente sísmico hubiese sido igual al de hace 35 años para suelos tipo D y E, lo cual implicaría que la seguridad sísmica no se ha incrementado en el país a pesar de la emisión de las nuevas normas.

La última recomendación para la Norma Ecuatoriana de la Construcción es que dentro de la NEC_SE_RE (Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras), agreguen un capítulo que haga referencia a varios parámetros, estructurales y no estructurales, que se deban evaluar o analizar en una estructura para decidir si puede seguir funcionando o no la estructura después de un terremoto (es decir si debe ser demolida).

REFERENCIAS

- (2002). CEC. En *Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente*. (pág. 4). Ecuador.
- (2015). NEC. En *Peligro sísmico diseño sismo resistente* (pág. 27). Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- (79). CEC. En *Guía popular de construcción Sismo Resistente* (pág. 18). Ecuador: INEN.
- Aguiar, R. (2017). No se acepta el diseño por ductilidad. Caso del edificio Fragata que incursionó en el rango no lineal. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras.*, 336.
- Aguiar, R., Espinosa, A., Carrión, J., & Zambrano, V. (2018). La velocidad de la onda de corte no es suficiente para clasificar el suelo. *CIENCIA*, 14.
- Albán, A. (31 de Julio de 2016). La vida cambió en Bahía. *Expreso*, pág. 4.
- Andrade, L. (2004). *Control de la deriva en las normas de diseño sismoresistentes*. Perú.
- Anónimo. (26 de Mayo de 2016). *Edificio de la Capitanía con días contados*. Obtenido de El Diario: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/392880-edificio-de-la-capitania-con-dias-contados/>
- Anónimo. (30 de Marzo de 2017). *El Diario*. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/427939-luz-verde-para-la-demolicion-del-hospital/>
- Anónimo. (7 de Abril de 2017). *El Universo*. Recuperado el 18 de Mayo de 2018, de <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/04/07/nota/6126686/30-dias-demoler-hospital>
- Argudo, J. (1998). *Jaime Argudo*. Obtenido de Evaluación de los daños del Hospital Miguel H. Alcivar de la ciudad de Bahía de Caráquez, Ecuador durante el terremoto del 4 de agosto del 1998.:

http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/hospital_bahia.pdf

Argudo, J. (mayo de 2011). *jaimeargudo.com*. Obtenido de <http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/05/2011-SISMICA-Cap-1.pdf>

Chiozzi, A., & Miranda, E. (2017). Fragility functions for masonry infill walls with in-plane loading. *Wiley*, 3-5.

García, A. (14 de Julio de 2016). *El Comercio*. Obtenido de La demolición de un edificio genera curiosidad y precaución en Bahía: <http://www.elcomercio.com/actualidad/demolicion-edificio-terremoto-bahiacaraquez-estructuras.html>

González, J. (26 de Septiembre de 2016). *Bahía de Caráquez decidirá el futuro de 31 edificios afectados en el terremoto*. Obtenido de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/actualidad/bahiadecaraquez-terremoto-demolicion-ecuador-edificios.html>

Miranda, E. (1999). Approximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings. *Journal of structural engineering*.

Olmos, J. (18 de Septiembre de 2016). El tiempo se ha detenido en una parte de Bahía. *El Universo*, pág. 5.

Ortiz, S. (15 de octubre de 2016). *Presidente Correa advirtió que los edificios que no sean reparados en Bahía serán derribados*. Obtenido de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/actualidad/edificios-bahia-reparacion-propietarios-demolicion.html>

Palma, N. (18 de Junio de 2016). IGM registró en cartografía las edificaciones dañadas por sismo. *El Universo*, pág. 5.

PlanProcons. (2016). *Análisis, estudio y planteamiento de soluciones estructurales de edificaciones afectadas por el terremoto del 16 de abril del 2016 en la provincia de Manabí, cantón Sucre, identificadas como de alto riesgo*. Manabí: MIDUVI.

Rivero, L. (20 de Diciembre de 2017). *El Telegrafo*. Obtenido de En tres segundos cayó edificio El Almirante de Bahía: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/en-tres-segundos-cayo-edificio-el-almirante-de-bahia>

Soleico. (2016). *Archivo fotográfico del hospital Miguel H. Alcívar de Bahía de Caráquez de la ciudad Bahía de Caráquez, cantón Sucre, provincia de Manabí, luego del terremoto de 7.8 en la escala Ritcher del 16 de abril del 2016*. Ecuador: MIDUVI.

Velasco, B. (20 de Diciembre de 2017). *El Comercio*. Obtenido de La implosión de un edificio afectado por el terremoto reanuda las demoliciones en Manabí: <http://www.elcomercio.com/actualidad/implosion-edificio-elalmirante-terremoto-bahia.html>

ANEXOS

Señora Arquitecta
Katherine Viteri Mendoza
DIRECTOR PROVINCIAL (E)
En su despacho



Guayaquil, 19 de Junio de 2018

De mis consideraciones:

Yo, Srta. María Gabriela Chucuyán Pérez, con CI 0925371064 me encuentro realizando un Trabajo de Titulación sobre el tema **"Estudio de las Causas de Demolición de Edificios Afectados por el Sismo del 16 de Abril de 2016 en Bahía de Caráquez"**, para lo cual requiere copia de la información técnica existente en el **Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda**, sobre la demolición de los siguientes edificios en esa ciudad:

- Hospital Miguel Hilario Alcívar, que estuvo ubicado en la calle **Rocafuerte entre Virgilio Stopper y Río Amazonas**.
- Edificio de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), que estuvo ubicado en las calles **Malecón Alberto F. Santos y Arenas**.
- Edificio La Fragata, que estuvo ubicado en la **Av. Virgilio Ratti y Daniel Hidalgo**.
- Edificio Jalil, que estuvo ubicado en las calles **Ciudad de Bahía y Av. Virgilio Ratti**.
- Edificio Nautilus, que estuvo ubicado en la **Av. Virgilio Ratti y Calle Estrada**.
- Edificio El Almirante, que estuvo ubicado en las calles **Ciudad de Bahía y Av. Virgilio Ratti**, Playa Paseo Roberto.

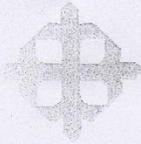
Este trabajo de investigación busca identificar los criterios técnicos aplicables a la toma de decisiones sobre demoliciones de edificios afectados por sismos en nuestro país, con el propósito de realizar un aporte sobre el tema a las Normas Ecuatorianas de la Construcción.

Quedo muy agradecida por la colaboración que el **MIDUVI** pueda prestar al tema explicado.

Muy atentamente,

[Firma]

Srta. María Gabriela Chucuyán Pérez
Estudiante de la Facultad de Ingeniería, UCSG
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO



Ranificación

1 de Junio del 2018

**CANTÓN SUCRE
RECIBIDO**
FECHA: 14 JUN 2018 HORA: 11:23

Campes
SECRETARÍA GENERAL

Ingeniero
Manuel Gilces Mero
Alcalde del Cantón Sucre
Bahía de Caráquez
Ciudad

De nuestras consideraciones:

Nuestra estudiante de la Facultad de Ingeniería, Srta. María Gabriela Chucuyán Pérez, se encuentra realizando un Trabajo de Titulación sobre el tema "Estudio de las Causas de Demolición de Edificios Afectados por el Sismo del 16 de Abril de 2016 en Bahía de Caráquez", para lo cual requiere copia de la información técnica existente en el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón de Sucre, sobre la demolición de los siguientes edificios en esa ciudad:

Hospital Miguel Hilario Alcívar, que estuvo ubicado en la calle Rocafuerte entre Virgilio Stopper y Río Amazonas.

Edificio de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), que estuvo ubicado en las calles Malecón Alberto F. Santos y Arenas.

Edificio La Fragata, que estuvo ubicado en la Av. Virgilio Ratti y Daniel Hidalgo.

Edificio Jalil, que estuvo ubicado en las calles Ciudad de Bahía y Av. Virgilio Ratti.

Edificio Nautilus, que estuvo ubicado en la Av. Virgilio Ratti y Calle Estrada.

Edificio El Almirante, que estuvo ubicado en las calles Ciudad de Bahía y Av. Virgilio Ratti, Playa Paseo Roberto.

Este trabajo de investigación busca identificar los criterios técnicos aplicables a la toma de decisiones sobre demoliciones de edificios afectados por sismos en nuestro país, con el propósito de realizar un aporte sobre el tema a las Normas Ecuatorianas de la Construcción.

Quedamos agradecidos por la colaboración que el GAD de su digna Alcaldía pueda prestar a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en el tema explicado.

Muy atentamente,

Lilia Valarezo de Pareja

Ing. Lilia Valarezo de Pareja, M.S.
DECANA

c.c. Ing. Walter Mera Ortiz, Ph.D.
Srta. María Gabriela Chucuyan
Ing. Clara Glas

Vicerrector de Investigación y Desarrollo, UCSG
Estudiante de Ingeniería Civil, UCSG



**G.A.D.M.
CANTÓN SUCRE
RECIBIDO**

FECHA:

HORA:

14 JUN 2018

ALCALDE
DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEL
DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

ACTA DE ENTREGA – RECEPCIÓN

El suscrito Ing. Ciro Murillo Barreto en su calidad de Director de Planificación Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Sucre Encargado en atención al oficio S/N de fecha 01 de junio de 2018, suscrito por la Ing. Lilia Valarezo de Pareja, Decana de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, hace la entrega a la Srta. María Gabriela Chucuyán Pérez, previa constatación y verificación la información referente a estudios de evaluación técnica post terremoto de las siguientes infraestructuras:

- Hospital Miguel Hilario Alcivar
- Edificio La Fragata
- Edificio Jall
- Edificio El Almirante
- Edificio EL Nautilus

Para constancia de lo anteriormente manifestado, las partes firman el presente documento en la ciudad de Bahía de Caráquez a los diecinueve días del mes de junio del año dos mil dieciocho.



Srta. María Gabriela Chucuyán Pérez*
RECIBÍ CONFORME



Ing. Ciro Murillo Barreto
DIRECTOR DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL ENCARGADO
ENTREGUÉ CONFORME

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Chucuyán Pérez, María Gabriela**, con C.C: # 0925371064 autor/a del trabajo de titulación: **Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez** 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: **Chucuyan Pérez, María Gabriela**

C.C: **0925371064**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Estudio de las causas de demolición de edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en Bahía de Caráquez.		
AUTOR(ES)	María Gabriela, Chucuyán Pérez		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Alex Raúl, Villacrés Sánchez		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	7 de septiembre de 2018	No. DE PÁGINAS:	165
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estructura y Sísmica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Bahía de Caráquez, sismo del 16 de abril del 2016, desplazamientos, coeficiente sísmico, derivas inelásticas, demolición.		
RESUMEN/ABSTRACT:			
<p>En el presente trabajo de investigación, por medio de recolección de información, se estudia todos los edificios que se vieron afectados por el sismo del 16 de abril del 2016 en la ciudad de Bahía de Caráquez, seleccionando cinco edificaciones específicas que no mostraban causas evidentes para su demolición. La recolección de información fue por medio de periódicos, artículos técnicos, cambio de información verbal con profesionales, fotografías y las evaluaciones de los edificios realizados por las consultorías Soleico y Plan Procons. Obtenida la suficiente información de las edificaciones seleccionadas se procedió a realizar la memoria de cálculo de la aceleración y el desplazamiento elásticos correspondientes a un sistema de 1 GDL con período de vibración igual al de los edificios, la deriva inelástica máxima, la deriva inelástica entrepiso por el método de Miranda 1999 y el R (efectivo) relacionando la norma vigente (NEC-15) con los códigos de los años de diseño de los edificios (CEC-79 y CEC-02). Con los resultados de los cálculos se procedió a concluir si tuvieron motivos técnicos suficientes para demoler las edificaciones, se revisaron los criterios aplicados por los consultores para recomendar demolición, se contrastaron los resultados de las deformaciones laterales máximas según el método propuesto por el Dr. Miranda en 1999 con los resultados obtenidos usando la NEC-15 y se dieron algunas recomendaciones sobre la NEC-15 para un mejor diseño sismorresistente.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2364536	E-mail: mgchp94@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):			