



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**DAÑOS QUE SE PRESENTAN EN EDIFICACIONES DE
HORMIGON ARMADO DESPUES DE UN EVENTO SISMICO.
(TERREMOTO DE BAHIA DE CARAQUEZ). AISLACIÓN SISMICA
CON AISLADORES ELASTOMERICOS CON NUCLEO DE PLOMO**

Autor: Edison Jairo Narváez Changuan.

Director: Msc. Ing. Civil Jorge Vásquez Narváez.

Quito, julio del 2015.

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ingeniero Jorge Vásquez Narváez, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: **"DAÑOS QUE SE PRESENTAN EN EDIFICACIONES DE HORMIGON ARMADO DESPUES DE UN EVENTO SISMICO (TERREMOTO DE BAHIA DE CARAQUEZ). AISLACIÓN SISMICA CON AISLADORES ELASTOMERICOS CON NUCLEO DE PLOMO"**. Certifico que conozco al autor del presente trabajo el estudiante Edison Jairo Narváez Changuan alumno de Ingeniería Civil; siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad, autenticidad, como en su contenido y considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, julio del 2015.

EL TUTOR



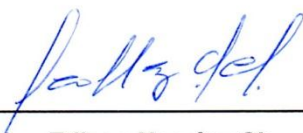
Msc. Ing. Jorge Vásquez Narváez

AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

Yo, Edison Jairo Narváez Changuan, declaro que el trabajo de investigación denominado: **"DAÑOS QUE SE PRESENTAN EN EDIFICACIONES DE HORMIGON ARMADO DESPUES DE UN EVENTO SISMICO (TERREMOTO DE BAHIA DE CARAQUEZ). AISLACIÓN SISMICA CON AISLADORES ELASTOMERICOS CON NUCLEO DE PLOMO"** es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción de ningún género o especial.

Quito, julio del 2015.



Edison Narváez Ch.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haber guiado mi camino a lo largo de mi vida, por darme salud y fortaleza para enfrentar los duros momentos.

A mi familia por su comprensión y apoyo incondicional en las metas que me he trazado, muchas gracias.

Al Ing. Jorge Vásquez, Director de Tesis por su valioso apoyo en el desarrollo de este trabajo, al Dr. Roberto Aguiar Falconi por haberme invitado a su aula de clase a compartir sus conocimientos, al Ing. Juan Castillo y a todos mis amigos y compañeros que de una u otra manera colaboraron en la realización del presente trabajo.

Edison Jairo Narváez Changuan

DEDICATORIA

A mi madre María Esther.

Edison Jairo Narváez Changuan

ÍNDICE

PRELIMINARES

APROBACIÓN DEL TUTOR	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	iii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE CUADROS	ixiv
ÍNDICE DE FOTOS.....	ixvi
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xviii
CAPITULO I	1
1.1.- PROBLEMA.	1
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3.- FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
1.4.- SISTEMATIZACION.	2
1.5.- OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECIFICOS.	2
1.5.1.- Objetivo General.....	2
1.5.2.- Objetivos Específicos.	3
1.6.- JUSTIFICACIÓN.....	3
1.6.1.- Justificación Teórica.	4
1.6.2.- Justificación Práctica.	4
1.6.3.- Justificación Relevancia Social.....	4
1.7.- IDEA A DEFENDER.	5
1.7.1.- Idea a defender.....	5
1.7.2.- Variable Independiente.....	5
1.7.3.- Variable Dependiente.	5
CAPITULO II	
2.- MARCO TEORICO.	6

2.1.- Eventos Sísmicos.	6
2.1.1.- Definición de eventos sísmicos.....	6
2.2.- Origen de los sismos.	7
2.2.1- Sismos originados en las fallas geológicas.	7
2.2.1.1- Falla Pallatanga Pisayambo.	8
2.2.1.2.- Falla Chingual.....	8
2.2.1.3.- Sistema de Falla Subandino.....	8
2.2.1.4.- Falla Quito.	9
2.2.1.5.- Falla Pastocalle – Saquisilí.	9
2.2.1.6.- Falla El Ángel – San Gabriel.....	9
2.2.1.7.- Definición de Falla Geológica.	9
2.2.1.8.- Partes de una Falla Geológica.....	9
a.- Plano de Falla.....	10
b.- Labios de la Falla.....	10
c.- Salto de Falla.	10
d.- Dirección y orientación de falla.....	11
e.- Buzamiento de Falla.....	11
2.2.1.9.- Tipos de Falla Geológica.	11
a.- Falla Normal.	11
b.- Falla Inversa.	12
c.- Falla Cizalle.	12
2.2.2.- Sismos Originados por Subducción.....	13
2.2.3.- Sismos de Origen Volcánico.....	15
2.3.- Partes de un terremoto.	16
2.3.1.- Foco, fuente sísmica o hipocentro.	16
2.3.2.- Epicentro.	16
2.3.3.- Profundidad focal.....	16
2.4.- Ondas Sísmicas.....	17
2.4.1.- Ondas Longitudinales, primarias, compresionales o P.	17
2.4.2.- Ondas Secundarias, Transversales o de Cizalla o S.....	17
2.4.3.- Ondas Superficiales.....	17

2.5.- Medición de los Terremotos.....	
2.5.1.- La Sismología.....	
2.5.2.- Sismógrafo.....	18
2.6.- Eventos Anteriores y Posteriores al Sismo.....	
2.7.- Intensidad y Magnitud de los Terremotos.....	20
2.7.1.- Escala de Intensidad, Escala de Mercalli Modificada.....	20
2.7.2.- Escala de Magnitud Richter.....	23
2.8.- Factores que determinan la capacidad de destrucción de un sismo.....	25
2.9.- Frecuencia de los terremotos en el mundo.....	25
2.10.- Seguridad ante los terremotos.....	25
2.10.1- La Predicción.....	26
2.10.2.- La Prevención.....	26
2.11.- Fenómenos Asociados al Sismo.....	26
2.11.1.- Fenómenos Primarios.....	26
2.11.2.- Fenómenos Secundarios.....	26
CAPITULO III	27
3.1.- Historia Sísmica del Ecuador.....	27
3.2.- Evolución Histórica del Monitoreo Sísmico en el Ecuador.....	43
3.3.- Tsunamis en el Ecuador.....	46
3.4.- Sismicidad en el Ecuador.....	49
3.5.- Geodinámica de la Peligrosidad Sísmica del Ecuador.....	52
3.6.- Peligro Sísmico del Ecuador y efectos sísmicos locales.....	54
CAPITULO IV	
4.- Daños más frecuentes durante los terremotos.....	55
4.1.- Daños Estructurales.....	55
4.1.1.- Daño por Armadura de Confinamiento.....	55
4.1.2.- Daño por Piso Blando.....	56
4.1.3.- Daño por Corte Cizalle en muros.....	57
4.1.4.- Daño por Voladizos.....	57
4.1.5.- Daño por Columna Corta.....	58
4.1.6.- Daño por Edificio Abierto.....	59

4.1.7.- Daño por Pocas Líneas Resistentes.....	60
4.1.8.- Daño por Irregularidad en elevación.....	61
4.1.9.- Daño por Nudos.	62
4.1.10.- Daño por Golpeteo de Edificios.	63
4.1.11.- Daño por Irregularidad en Planta.....	64
4.1.12.- Daño por Pesos en Cubierta.....	65
4.1.13.- Daño por Calidad de Materiales.	66
4.1.14. Daño por Torres de Iglesias	
4.1.15.- Daño Por Mampostería No Confinada.....	67
4.1.16.- Daño Por Péndulo Invertido.....	68
4.1.17.- Daño por Gradadas.	69
4.1.18.- Daño por Ampliaciones No Previstas.	69
4.1.19.- Daño por Menor Resistencia de Columnas que Vigas.	70
4.2.- Daños No Estructurales.	71
4.2.1.- Efectos inerciales.....	71
4.2.2.- Deformación del edificio.	74
4.2.3.- Separación entre edificios.	76
4.3.- Daños que se presentaron en las edificaciones de Hormigón Armado,después del sismo de Bahía de Caraquez.....	78
4.3.1.- Aspectos estructurales.	78
4.3.1.1.- Observaciones sobre el desempeño de edificios de concreto.....	78
4.3.2.- Aspectos Arquitectónicos.	81
4.3.2.1.- Criterios Arquitectónicos Sismo – Resistente.	81
4.3.3.- Intensidad de los daños en las edificaciones.....	85
4.3.4. – Edificaciones Evaluadas, Anexo Documental No. 1	86
4.3.4.1.- Edificio 1- EL VIGIA.....	88
4.3.4.2.- Edificio 2- LAS BRISAS.	89
4.3.4.3.- Edificio 3- HORIZONTE.	89
4.3.4.4.- Edificio 4- DOS HEMISFERIOS.....	89
4.3.4.5.- Edificio 5- CALIPSO.	90
4.3.4.6.- Edificio 6- CABO CORAL.	92

4.3.4.7.- Edificio 7- IGLESIA MARIA AUXILIADORA.	94
4.3.4.8.- Edificio 8- EXTENSION UNIVERSIDAD ELOY ALFARO.	95
4.3.4.9.- Edificio 9- MARUN JALIL.....	97
4.3.4.10.- Edificio 10- TORRE MAR.	97
4.3.4.11.- Edificio 11- EL DELFIN.....	98
4.3.4.12.- Edificio 12- EL ALMIRANTE.	100
4.3.4.13.- Edificio 13- PUNTA NORTE.	100
4.3.4.14.- Edificio 14- NEPTUNO.	101
4.3.4.15.- Edificio 15- MIKONOS.	103
4.3.4.16.- Edificio 16- VISTA MAR.....	104
4.3.4.17.- Edificio 17- EL PIRATA.....	104
4.3.4.18.- Edificio 18- SALANGO.....	105
4.3.4.19.- Edificio 19- NAUTILUS.	107
4.3.4.20.- Edificio 20- BANCO NACIONAL DE FOMENTO.	108
4.3.4.21.- Edificio 21- ILUSTRE MUNICIPALIDAD – CANTON SUCRE.	109
4.3.4.26.- Edificio 26- EL CENTINELA.....	110
4.3.4.27.- Edificio 27- HOTEL ITALIA.	110
4.3.4.28.- Edificio 28- HOTEL EL PORTAL.	111
4.3.4.32.- Edificio 32- KARINA.....	112
4.3.4.33.- Edificio 33- LAS GAVIOTAS.....	113
4.3.4.34.- Edificio 34- LOS CORALES.....	114
4.3.4.35.- Edificio 35- COLEGIO LA INMACULADA.....	115
4.3.4.38.- Edificio 38- CUERPO DE BOMBEROS.....	116
4.3.4.39.- Edificio 39- SPONDILUS.	117
4.3.4.40.- Edificio 40- EN ESQUINA.....	118
4.3.5. – Lecciones y recomendaciones de diseño del sismo de Bahía.	119
4.3.5.1.- Pesos Excesivos.....	120
4.3.5.2.- Falta de Arriostramiento en las Paredes.....	121
4.3.5.3.- Flexibilidad de los Edificios.....	121
4.3.5.4.- Irregularidades en Planta y Elevación.	123
4.3.5.5.- Losas Armadas en una Dirección.....	124

4.3.5.6.- Mampostería muy rígida y frágil.....	126
4.3.5.7.- Volados Extremadamente Grandes.....	127
4.3.5.8.- Concentraciones de Esfuerzo en Losas Alrededor a los Extremos de Muros de Corte.	127
4.3.5.9.- Flexibilidad de la Losa de Cimentación.	128
4.3.5.10.- Cisternas en la Losa de Tapagrada.....	129
CAPITULO V	130
5.- Sistemas de Protección Sísmica.....	130
5.1.- Definición de Protección Sísmica.....	131
5.2.- Aislación Sísmica.....	131
5.2.1.- Espectro General de Diseño. (Reducción de aceleración mediante aislación sísmica).	134
5.2.2.- Características que poseen los aisladores sísmicos:	134
5.2.3.- Tipos de Aisladores Sísmicos.....	135
5.2.3.1.- Aislador Elastomérico de Bajo Amortiguamiento (LDRB).	135
5.2.3.2.- Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento (HDRB).	136
5.2.3.3.- Aislador Elastomérico de Núcleo de Plomo (LRB).....	137
5.2.3.4.- Los aisladores de base Péndulo Friccional (FPS).	138
5.3.- Disipación Sísmica.....	139
5.3.1.- Espectro General de Diseño. (Reducción de aceleración mediante disipación sísmica).	140
5.3.2.- Tipos de Disipadores.	140
5.3.2.1.- Disipadores RESTON SA.	140
5.3.2.2.- Disipadores RESTON STU.....	141
5.3.2.3.- Disipadores RESTON PSD.	141
5.3.2.4.- Disipadores ADAS Y TADAS.....	141
5.4.- Aisladores Sísmicos utilizados en obras civiles en Ecuador.....	143
5.4.1.- Puente 1- LOS CARAS.....	144
5.4.2.- Puente 2- NORTE 1.....	145
5.4.3.- Puente 3- NORTE.....	146
5.4.4.- Puente 4- SUR.....	147
5.4.5.- Puente 5- PRINCIPAL.	148

5.4.6.- Puente 6- SAN PEDRO.	148
5.4.7.- Puente 7- CICHE.	149
5.4.8.- Edificio 1- SKY BUILDING.	151
CAPITULO VI	154
6.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.	154
6.1.- DISEÑO DE UN EDIFICIO CON SISTEMA CONVENCIONAL.	154
6.1.1.- Disposición geométrica del edificio.	154
6.1.2.- Análisis de cargas.	158
6.1.2.1.- Carga muerta.	158
6.1.2.2.- Carga viva.	158
6.1.3.- Espectro de diseño.	158
6.1.3.1.- Zona sísmica y tipo de suelo.	158
6.1.3.2.- Coeficientes de amplificación dinámica F_a , F_d y F_s	160
6.1.3.3.- Factores dependientes de la tipología estructural.	162
6.1.3.4.- Cálculo del espectro.	163
6.1.4.- Combinaciones de carga.	165
6.1.5.1.- Cálculo de derivas.	166
6.1.5.2.- Fuerzas Sísmicas actuantes.	168
6.1.5.3.- Cálculo de cantidades de hormigón y acero.	169
6.2.- DISEÑO DEL EDIFICIO CON AISLADORES ELASTOMERICOS LA BASE..	171
6.2.1.- Disposición geométrica del edificio con aisladores elastomericos base. ..	171
6.2.- Análisis del edificio en CEINCI-LAB.	172
6.2.2.1.- Programación para la superestructura.	172
6.2.2.2.- Programación para el sistema de aislación.	176
6.2.2.3.- Programación estructura completa.	177
6.2.2.4.- Matriz de rigidez de la superestructura.	178
6.2.25.- Matriz de masas de la superestructura.	178
6.2.2.6.- Matriz de amortiguamiento de la superestructura.	179
6.2.2.7.- Matriz de rigidez del sistema de aislación.	179
6.2.2.8.- Matriz de masas del sistema de aislación.	180
6.2.2.9.- Matriz de amortiguamiento del sistema de aislación.	180

6.2.3.- Características del sistema de aislación.	180
6.2.3.1.- Geometría del aislador.	180
6.2.3.2.- Propiedades de los materiales del aislador.	181
6.2.3.3.- Propiedades dinámicas del aislador.	181
6.2.4.- Fuerzas sísmicas actuantes sobre la estructura con sistema aislación.	182
6.2.5.- Derivas de piso de la estructura con sistema de aislación.....	183
CAPITULO VII	195
7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	196
7.1.- CONCLUSIONES.	196
7.2.- RECOMENDACIONES.....	200
BIBLIOGRAFIA.	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fallas geológicas	7
Figura 2- Partes de una falla geológica.....	10
Figura 3- Falla Normal.....	11
Figura 4- Falla Inversa	12
Figura 5- Falla de desgarre	13
Figura 6- Sismos originados por subducción	13
Figura 7- Eventos localizados Enero 2002.....	15
Figura 8- Partes de un terremoto	16
Figura 9- Ondas sísmicas	18
Figura 10- Sismógrafo.....	19
Figura 11- Sismograma.....	20
Figura 12 - Estimación de máximos niveles de sismicidad para el Litoral ecuatoriano. Escalas de intensidades esperadas MSK-1956, ESI-2007 y su relación con los momentos de magnitudes (Mw). Datos de sismos desde 1541 – 2008. Las flechas indican la dirección del gradiente del campo de intensidad	24
Figura 13- Mapa sísmico del Ecuador.....	27
Figura 14- Distribución actual de la Red Sismógrafos (RENSING)	43
Figura 15- Comportamiento de un Tsunami.....	46
Figura 16- Tsunami zonas costeras	47
Figura 17- Epicentros con magnitud mayor a 4 registrados en 1995 y 1998 (I.G.EPN)	50
Figura 18 -Sismos superficiales con magnitud mayor a 6.0 registrados entre 1997 y 2007	51
Figura 19- Principales terremotos registrados entre 1641 y 1880 con intensidad mayor a 6.	52
Figura 20 -Geodinámica de la Peligrosidad Sísmica del Ecuador.....	53
Figura 21- Daños por armadura de Confinamiento	55
Figura 22- Daños por piso Blando. Sismo de Chile de 2010.....	56
Figura 23- Daño por corte Cizalle en muros. Sismo de Chile de 2010.....	57
Figura 24- Daños por voladizos. Sismo de Chile de 2010.....	57

Figura 25- Daño por columna corta. Sismo de Perú de 2007	58
Figura 26 - Daños por edificio abierto. Sismo de Perú 2007	59
Figura 27- Daños por Pocas Líneas Resistentes	60
Figura 28- Daños por Pocas Líneas Resistentes. Sismo de Ecuador de 1998	61
Figura 29 Daño por Irregularidad en elevación. Sismo de Ecuador de 1998	61
Figura 30- Daños por irregularidad en elevación.....	62
Figura 31- Daños por nudos. Sismo de Haití de 2010.....	62
Figura 32- Daños por Golpeteo de Edificios.....	63
Figura 33 Daños por Irregularidad en Planta. Sismo de Haití de 2010	64
Figura 34- Daños por Pesos en Cubierta. Sismo de Haití de 2010	65
Figura 35- Daño por calidad de materiales	66
Figura 36- Daños por Torres de Iglesias	67
Figura 37- Daños por Mampostería No Confinada. Sismo de Perú de 2007	67
Figura 38- Daños por Péndulo Invertido. Sismo de Perú de 2007	68
Figura 39- Daños por gradas. Sismo de Perú de 2007	69
Figura 40- Daños por ampliaciones No Previstas:Sismo de Perú de 2007	69
Figura 41- Daño por Menor Resistencia de Columnas que Vigas.....	70
Figura 42- Traza de falla	72
Figura 43- Terremoto	72
Figura 44- Efecto de las fuerzas inerciales	73
Figura 45- Ejemplo de caída de estantes con libros pesados durante el terremoto del 22 de Abril de 1991	73
Figura 46- Ejemplo de objetos pesados que pueden volcarse obstaculizando las salidas de emergencia	74
Figura 47- Efecto de la deformación del edificio que produce rompimientos de vidrios	74
Figura 48- Ejemplo de rompimiento de ventanas durante el terremoto de Christchurch en Nueva Zelanda en Febrero de 2011.....	75
Figura 49- Ejemplo de daño no estructural en una pared en Alajuela durante el terremoto del 22 de Diciembre de 1990	75

Figura 50- Ejemplo de caída de ladrillos que se desprenden de una pared en un piso superior y causan daños durante el terremoto de Lorca, España. 11 de Mayo de 2011	75
Figura 51- Ejemplo de caída de cielo raso durante el movimiento del sismo del 13 de Mayo de 2011 en Turrúcares de Alajuela.....	76
Figura 52- Efecto del choque entre edificios	77
Figura 53- Edificios de diferentes niveles.....	77
Figura 54- Mapa de las evidencias evaluada	87
Figura 55- Sección Columna Tipo 1	90
Figura 56- Sección columna tipo 2	91
Figura 57- Edificio sin aislación basal	132
Figura 58- Edificio con aislación basal	133
Figura 59- Espectro General de Diseño	134
Figura 60- Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento	136
Figura 61- Aislador elastomérico de alto amortiguamiento	137
Figura 62- Aislador elastomérico de núcleo de plomo (LBR).	137
Figura 63- Los aisladores de base péndulo friccional (FPS)	139
Figura 64 – Espectro general de diseño.....	140
Figura 65- Disipadores RESTON SA.	140
Figura 66- Disipadores RESTON STU.....	141
Figura 67- Disipadores RESTON PSD.....	141
Figura 68- Disipadores diagonales.....	142
Figura 69- Disipadores Tadas y Adas	143
Figura 70- Sección transversal del Puente de Bahía de Caráquez	144
Figura 71- Puente de Bahía de Caráquez	145
Figura 72- Vista longitudinal del Puente Norte 1	146
Figura 73- Esmeraldas, Puente Norte	147
Figura 74- Esmeraldas, Puente Sur	148
Figura 75- Tumbaco, Provincia de Pichincha, puente sobre el río San Pedro	149
Figura 76- Puembo Provincia de Pichincha, puente sobre el Río Chiche	150
Figura 77- El edificio SkyBuilding en Guayaquil	152

Figura 78- Aislador Sísmico LASTO LRB.....	153
Figura 79- Aislador Sísmico LASTO LRB vista frontal	153
Figura 80- Planta N+3.00.	155
Figura 81- Planta N+6.00	155
Figura 82- Planta N+ 9.00.	156
Figura 83- Planta N+12.00.	156
Figura 84- Planta N+15.00.	157
Figura 85- Elevación 4	157
Figura 86- Elevación 3.	158
Figura 87- Zonas sísmicas del Ecuador y valores de Z.....	159
Figura 88- Modelo en 3D del edificio convencional en ETABS-2013	166
Figura 89- Derivas de piso del programa ETABS-3013	168
Figura 90- Fuerzas cortantes por piso del programa ETABS-3013.....	169
Figura 91- Disposición geométrica del edificio con 3 grados de libertad por planta	171
Figura 92- Geometría del aislador.....	181
Figura 93- Diagrama de histéresis, con núcleo de plomo.	182
Figura 94- Derivas de piso del programa ETABS-2013	184
Figura 95- PPlanta n+3.00	185
Figura 96- Planta N+6.00	186
Figura 97- Planta N+9.00	187
Figura 98- Planta N+12.00.	188
Figura 99- Planta N+15.00.	189
Figura 100- Elevación A.	190
Figura 101- Elevación B	191

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 - Escala de intensidad de Mercalli	21
Cuadro 2-Escala de magnitud Richter.....	23
Cuadro 3 -Frecuencia de los terremotos en el mundo	25
Cuadro 4- Efectos causados por los terremotos con intensidad VIII o superior	29
Cuadro 5- Resumen de ocurrencia de terremotos destructivos	40
Cuadro 6-Tsunamis que afectaron al Ecuador, relacionados con los terremotos de subducción cercanos al Ecuador.....	48
Cuadro 7- Distribución de edificaciones por niveles y zonas urbanas de Bahía	78
Cuadro 8- Sistemas y subsistemas en las edificaciones.....	83
Cuadro 9- Listado de edificios y grados de afectación	88
Cuadro 10- Derivas calculadas y períodos de vibración	122
Cuadro 11- Derivas permisibles en diversos códigos.....	122
Cuadro 12- Clasificación de los perfiles del suelo	160
Cuadro 13- Tipos de suelo y factores de sitio Fa	161
Cuadro 14- Tipos de suelo y factores de sitio Fd	161
Cuadro 15- Tipos de suelo y factores de sitio Fs	162
Cuadro 16- Resumen de parámetros de diseño.....	162
Cuadro 17- Factores por tipo de estructura.....	162
Cuadro 18- Factores η por región y tipo de suelo.	163
Cuadro 19- Factores r por región y tipo de suelo	163
Cuadro 20- Límites para períodos de vibración.....	163
Cuadro 21- Vibración distinta a la fundamental.....	164
Cuadro 22- Espectro de aceleraciones	164
Cuadro 23- Derivas elásticas calculadas en el programa ETABS-2013.....	166
Cuadro 24- Derivas calculadas manualmente.....	167
Cuadro 25- Fuerzas sísmicas actuantes	168
Cuadro 26- Resumen de cantidades de hormigón y acero	170
Cuadro 27- Programación de la superestructura en CEINCI-LAB.....	172
Cuadro 28- Programación para el sistema de aislación en CEINCI-LAB	176
Cuadro 29- Programación estructura completa en CEINCI-LAB.....	177

Cuadro 30- Matriz de rigidez de la superestructura en CEINCI-LAB.....	178
Cuadro 31- Matriz de masas de la superestructura en CEINCI-LAB.....	178
Cuadro 32- Matriz de amortiguamiento de la superestructura en CEINCI-LAB.....	179
Cuadro 33- Matriz de rigidez de aislación en CEINCI-LAB	179
Cuadro 34- Matriz de masas del sistema de aislación en CEINCI- LAB	180
Cuadro 35- Matriz de amortiguamiento del sistema de aislación en CEINCI-LAB ..	180
Cuadro 36- Dimensiones del aislador	180
Cuadro 37- Propiedades de los amateriales del aislador	181
Cuadro 38- Propiedades dinámicas del aislador	181
Cuadro 39- Fuerzas sísmicas actuantes en el sistema de aislación.	182
Cuadro 40- Derivas de piso de la estructura con sistema de aislación.	183
Cuadro 41- Derivas de pico calculadas manualmente	183
Cuadro 42- Cálculo de cantidades de materiales.....	192
Cuadro 43- Porcentajes de reducción en desplazamiento.	193
Cuadro 44- porcentajes de reducción en desplazamiento	193
Cuadro 45- Porcentajes de reducción de las derivas de piso.....	194
Cuadro 46- Porcentjes de reducción de hormigón	194
Cuadro 47- Porcentajes de reducción de acero.	195

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1- Distribución de edificaciones por niveles y zonas urbanas de Bahía	80
Foto 2- Intensidad de los daños en las edificaciones	86
Foto 3- Edificio Calipso	92
Foto 4- Edificio Cabo Coral	94
Foto 5- Edificio Iglesia María Auxiliadora	95
Foto 6- Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro.....	96
Foto 7- Edificio Marun Jalil	97
Foto 8- Edificio Torre Mar.....	98
Foto 9- Edificio El Delfín	99
Foto 10- Edificio El Almirante	100
Foto 11- Edificio Punta Norte	101
Foto 12- Edificio Neptuno	102
Foto 13- Edificio Mikonos	103
Foto 14- Edificio Vista Mar	104
Foto 15- Edificio El Pirata.....	105
Foto 16- Edificio Salango	106
Foto 17- Edificio Nautilus	107
Foto 18- Edificio Banco Nacional de Fomento	108
Foto 19- Edificio Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre	109
Foto 20- Edificio Hotel Italia.....	111
Foto 21- Edificio Hotel El Portal.....	112
Foto 22- Edificio Karina	113
Foto 23- Edificio Los Corales	114
Foto 24- Colegio La Inmaculada	116
Foto 25- Edificio Cuerpo de Bomberos	117
Foto 26- Edificio Spondilus.....	118
Foto 27- Edificio en Esquina.....	119
Foto 28- Pesos excesivos	120

Foto 29- Irregularidades en planta	124
--	-----

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se inicia, haciendo una recopilación de los daños estructurales y no estructurales más frecuentes durante un evento sísmico.

Se propone la utilización de Aisladores Elastoméricos de Núcleo de Plomo (LRB). El concepto de aislamiento basal consiste en desacoplar el edificio de los movimientos del suelo, ubicando elementos entre los cimientos y la estructura; para lograr que la estructura trabaje en el rango elástico, ganando flexibilidad horizontal, alta rigidez vertical, amortiguamiento, disipación de energía y resistencia para cargas de servicio; de este modo se logra alargar el período fundamental de vibración disminuyendo las cargas sísmicas, reduciendo las demandas de deformaciones en la estructura; causante principal de los daños.

En el presente trabajo se demuestra, que utilizando aisladores sísmicos con núcleo de plomo en un edificio de hormigón armado, se tienen altos niveles de amortiguamiento por tanto se logra una reducción importante en: las fuerzas sísmicas, las derivas de piso y en las secciones de acero y hormigón respecto a la estructura convencional.

SUMMARY

In the present investigation is initiated, making a more frequent collection of structural and nonstructural damage during a seismic event.

Propose the use of Elastomeric Isolators Lead Core (LRB). The concept is to decouple basal isolation building ground movement, locating elements between the foundation and the structure; to ensure that the structure works in the elastic range, winning horizontal flexibility, high vertical stiffness, damping, energy dissipation and resistance to service loads; Thus is achieved lengthen the fundamental period of vibration decreasing seismic loads, reducing the demands on the main deformation; structure causing damage.

In this paper it is demonstrated that using seismic isolators with lead core in a building of reinforced concrete has high levels of damping therefore an important reduction is achieved: the seismic forces, story drifts and sections steel and concrete over the conventional structure.

CAPITULO I

1.1.- PROBLEMA.

El Ecuador al situarse en una de las zonas de peligrosidad sísmica más alta de mundo, ha sido afectado por eventos sísmicos devastadores como son los terremotos de: Ibarra, Ambato, Riobamba, Esmeraldas y Manabí; por esta razón debemos estar preparados, porque existe la posibilidad de que pueda ocurrir un evento de iguales características.

Después de haber ocurrido estos acontecimientos que han causado daños y destrucción en las edificaciones de hormigón armado y en la infraestructura de las ciudades afectadas; nace la necesidad de construir edificaciones sismo resistentes e incorporar sistemas de protección sísmica.

Por esta razón se propone la alternativa de colocar aislación sísmica de base en la construcción de edificios de hormigón armado; específicamente los Aisladores Elastoméricos de Núcleo de Plomo, para atenuar los daños provocados por las fuerzas laterales introducidas por los sismos a la estructura.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En Ecuador de acuerdo a la investigación bibliográfica, hasta la fecha no existen edificios construidos con sistemas de control sísmico.

Se ha utilizado sistemas de aislación sísmica en la construcción de puentes entre ellos el de Bahía de Caraquez (Los Caras), en Esmeraldas (Norte 1, Norte, Sur y Principal), en Pichincha (Sobre el Rio Chiche y sobre el Rio San Pedro). En la ciudad de Guayaquil para el año 2014 y 2015, se está planificando y se va a construir el Edificio Sky Building (Consta de 15 plantas. 4 pisos de estacionamiento y 11 pisos para oficinas). En la construcción de este edificio se

van a utilizar Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo, por todas las ventajas que este sistema de protección sísmica ofrece.

1.3.- FORMULACION DEL PROBLEMA.

Posibles causas que originaron el problema.

Las posibles causas que originaron este problema son: las construcciones sin soporte técnico, los diseños deficientes, el factor económico, el desconocimiento sobre los otros sistemas de construcción, las obras civiles con poca supervisión, y la mano de obra no calificada.

1.4.- SISTEMATIZACION.

El interés en realizar este trabajo, nace a raíz de las investigaciones y noticias que leímos sobre terremoto de Bahía De Caraquez del 4 de agosto de 1998, en donde los daños que se registraron fueron devastadores e incalculables, desde cuateamientos en la mampostería y enlucidos, hasta pérdidas totales de las estructuras de hormigón armado de las edificaciones. Por estas razones es necesario incursionar en el campo de los sistemas de protección sísmica en la construcción de edificios de hormigón armado, un sistema que atenúe estos daños, ya que en el Ecuador no se ha implementado ningún tipo de dispositivos de control sísmico en edificaciones.

1.5.- OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECIFICOS.

1.5.1.- Objetivo General.

Analizar el comportamiento estructural de un edificio de hormigón armado (cinco pisos), con el sistema convencional y con el sistema de aislación sísmica (aisladores sísmicos de base con núcleo de plomo); y demostrar mediante los resultados obtenidos; que con altos niveles de amortiguamiento, se logra una

disminución importante en las fuerzas sísmicas, derivas de piso, secciones de acero y hormigón.

1.5.2.- Objetivos Específicos.

1. Determinar mediante la recopilación de información, cuáles son los daños más frecuentes registrados después de un evento sísmico y los daños que se presentaron en un sismo ocurrido en Ecuador (Terremoto de Bahía de Caraquez).
2. Modelar Matemáticamente una estructura convencional, según los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11, en el programa computacional ETAPS 2013.
3. Modelar Matemáticamente una estructura con aislación sísmica, según los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11, en el programa computacional biblioteca de CEINCI-LAB.
4. Tabular y analizar los resultados de la estructura convencional versus la estructura aislada.

1.6.- JUSTIFICACIÓN.

Nuestro país al estar ubicado en la costa oriental del Océano Pacífico, lo hace parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, a esta zona se la ha denominado así por ser susceptible a experimentar terremotos y erupciones volcánicas; es decir es un país con alto riesgo sísmico. Los ecuatorianos hemos sido testigos de estos eventos, los mismos que han ocasionado destrucción en las ciudades afectadas, como es el caso del terremoto de Bahía de Caraquez; en el que se constató que existe una gran cantidad de estructuras vulnerables, pese a que algunas de ellas se construyeron cumpliendo las normas, otras se la hizo de manera empírica, sin ninguna técnica ni el control adecuado.

Estas son razones suficientes, para empezar a utilizar otras alternativas que permitan disminuir el impacto de los sismos en las estructuras. Es responsabilidad

de todos los sectores involucrados en la industria de la construcción de nuestro país, en incursionar y apoyar el uso de sistemas de control sísmico en las edificaciones por las ventajas que ofrece.

1.6.1.- Justificación Teórica.

¿Por qué se efectuará esta investigación?

Busca aportar con los conocimientos científicos y técnicos para garantizar el uso de los sistemas de aislación sísmica y dar seguridad a la población en caso de un evento sísmico; en nuestro país existen estudios acerca de este tema, pero es necesario desarrollarlos y llevarlos a la práctica en obra.

1.6.2.- Justificación Práctica.

¿Por qué es importante ejecutarla?

La utilización de aisladores sísmicos con núcleo de plomo garantizan estructuras seguras, ya que su comportamiento referido esencialmente a los elementos estructurales, será óptimo en caso de sismos moderados y muy eficiente durante sismos severos.

1.6.3.- Justificación Relevancia Social.

Los sismos son eventos naturales potencialmente devastadores que dan origen a movimientos de suelo, la causa principal es la ruptura de las capas exteriores de la corteza terrestre; producto de un proceso gradual de acumulación de energía. Este fenómeno amenaza las vidas de las personas, destruye edificaciones e infraestructura de las ciudades.

Tomando como referencia el sismo de Chile del 2010 y los daños que ocasionó y se los compara con el sismo de Haití del mismo año, se puede ver la diferencia entre prepararse para enfrentar un evento de estas características y no hacerlo. Al revisar los acontecimientos, se encuentra que el sismo de Haití tenía una

magnitud más baja que el sismo de Chile, sin embargo fue suficiente para devastarlo y dejar grandes pérdidas humanas y económicas en este país. Chile no quedó en las mismas condiciones que Haití, a pesar de que el sismo fue de mayor magnitud, esto se debe a la incorporación de sistemas de protección sísmica en las estructuras y entre estos sistemas se encuentran la aislación sísmica de base.

1.7.- IDEA A DEFENDER.

1.7.1.- Idea a defender.

- 1) Al utilizar Aisladores Elastoméricos de Núcleo de Plomo se logrará dar mayor supervivencia a las estructuras de hormigón armado.
- 2) La introducción de Aisladores Elastoméricos de Núcleo de Plomo en la construcción de edificaciones de hormigón armado da mayor seguridad a las personas que las habitan.

1.7.2.- Variable Independiente.

Aisladores Elastoméricos de Núcleo de Plomo.

1.7.3.- Variable Dependiente.

- Edificaciones más seguras.
- Menores daños en las edificaciones.

CAPÍTULO II

2.- MARCO TEORICO.

2.1.- Eventos Sísmicos.

2.1.1.- Definición de eventos sísmicos.

Se define como sismo a la vibración del terreno producida por la liberación rápida de energía acumulada durante un largo tiempo en un determinado punto; esta energía se libera en forma de ondas; las mismas que mueven a la tierra en todas las direcciones. También se lo denomina como: el movimiento, sacudón del suelo; producido por lo general por una liberación súbita de energía a causa del desplazamiento de las masas rocosas en una falla tectónica. Cuando hablamos de eventos sísmicos podemos asociar los términos temblor, sismo, movimiento telúrico etc... sin embargo estas denominaciones son sinónimos; se dice que terremoto es cuando un sismo ha causado pérdida de vidas humanas y daños severos en las edificaciones y temblor cuando el sismo no ha ocasionado daños mayores. (Zelaya Jara, 2007, pág. 26)

Los terremotos o sismos, no son otra cosa que movimientos telúricos que se producen cuando ocurren reajustes de la corteza terrestre producidos por los movimientos de las placas tectónicas; estas placas están sometidas a tensiones en la zona de roce o falla, esta tensión es muy alta y a veces supera la fuerza de sujeción entre ellas, las placas se mueven en forma violenta provocando ondulaciones y liberando una enorme cantidad de energía. Estos fenómenos naturales no afectan demasiado al hombre, el movimiento de la superficie de la tierra que provoca un terremoto no representa un riesgo, a excepción de algunos casos; pero si nos afectan sus consecuencias (Rotura de terreno, licuefacción, deslizamiento de taludes, Tsunamis). Todos los días se registran una gran cantidad de terremotos en el mundo, la mayoría son de poca magnitud.

Sin embargo se suelen producir dos o tres terremotos de gran intensidad cada año y sus consecuencias son imprevisibles. Generalmente se asocia el término terremoto con los movimientos sísmicos de dimensión considerable, aunque la definición etimológica significa "movimiento de la Tierra".

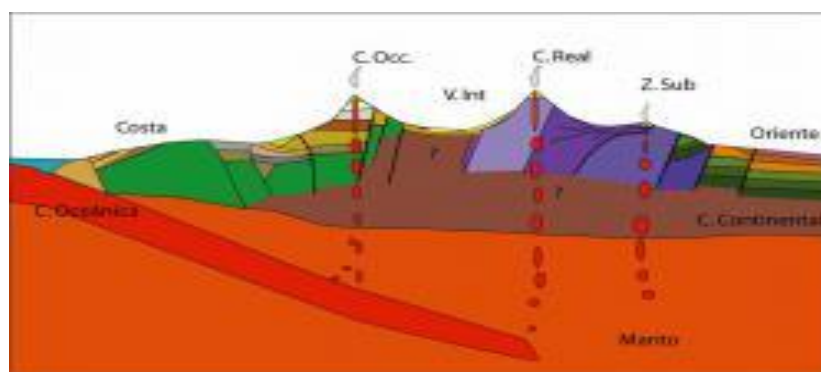
2.2.- Origen de los sismos.

Las principales causas para que se produzca un evento sísmico son: por fallas geológicas, por subducción y de origen volcánico.

2.2.1- Sismos originados en las fallas geológicas.

Si nos referimos al Ecuador debemos manifestar que está surcado en su totalidad por sistemas de fallas geológicas unas más activas que otras, esto significa que la cantidad, frecuencia y magnitud de los eventos sísmicos generados por una determinada falla geológica es variable, por lo cual hay regiones sísmicamente más activas que otras. Las fallas geológicas son el resultado de la interacción de las placas Nazca y sudamericana que producen importantes fuerzas sobre los bordes de ambas placas y a su vez producen fracturas en el interior de ellas.

Figura 1- Fallas geológicas



Fuente: IG - EPN, 2010 – 2013
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La falla de San Andrés es el punto de encuentro de las placas del Pacífico y norteamericana; la primera se desliza hacia el noreste, y la otra hacia el suroeste a un promedio de 13 mm al año.

La fricción entre ellas retrasa temporalmente su movimiento en direcciones opuestas. Se genera así energía de tensión, que deforma la materia subterránea en torno a la falla. En un sismo, esta energía se libera violentamente las placas se mueven. (Martínez Zorrilla, 2011, pág. 2)

En esta zona, se reacomoda el movimiento de las placas tectónicas, es lo que se conoce como fallas geológicas. (Falla de San Andrés). Las profundidades de los sismos originados por fallas tectónicas, varían desde superficiales, hasta profundidad media, que es el rango de profundidad de la gran mayoría de los sismos ecuatorianos.

La identificación de estas fallas es importante para determinar cuáles pueden constituir una amenaza para nuestro país. Las principales fallas geológicas ubicadas en nuestro país son:

2.2.1.1- Falla Pallatanga Pisayambo.

Este sistema de fallas geológicas comienza en el Golfo de Guayaquil, pasa por la Isla Puna, la zona de la troncal, entra a la cordillera por Bucay y continua por Pallatanga con clara identificación; al salir al valle de Riobamba su trazado no es tan claro debido a la presencia de material volcánico. Dirigiéndose al norte se interna en el callejón interandino y continua hasta unirse con la falla Chingual. Se cree que el sismo que destruyó a la ciudad de Riobamba en el año 1997, con una magnitud estimada mayor a 7, se produjo en uno de los ramales de este sistema.

2.2.1.2.- Falla Chingual.

Este sistema de fallas está ubicado al extremo nororiental del Ecuador, en el borde submarino de la cordillera Oriental de los andes; la misma que se inicia al norte del volcán Cayambe en la población de La Sofía y se dirige al sur, pasando por el lado occidental del volcán El Reventador, dirigiéndose hacia Baeza y sigue hacia la zona de Cosanga. Este sistema de fallas está compuesto de fallas transcurrentes e inversas. Se cree que esta falla fue la causante del sismo de magnitud 6,9 de marzo de 1987.

2.2.1.3.- Sistema de Falla Subandino.

Este sistema de fallas es el más largo del Ecuador, se extiende por unos 200 kilómetros en dirección norte – sur en el lado oriental de la Cordillera Real, hacia el oriente del borde submarino además, se identifica el sistema de fallas inversas que limitan la parte oriental de los Andes de la llanura Amazónica y se extiende desde el sur de Colombia, atravesando el Ecuador y dirigiéndose hacia el Perú a lo largo de la zona del austro ecuatoriano pasando por las ciudades de Azogues, Cuenca, Machala y Loja. Este sistema está compuesto por una serie de fallas con diferente tipo de movimiento. Una de estas fallas en el sector de Cutucu fue la causante del sismo de Macas en 1995, con una magnitud de 6,9.

2.2.1.4.- Falla Quito.

El sistema de falla Quito en superficie muestra una serie de colinas alineadas de baja altura que inician en el sector de tambillo y continúan al norte con las Lomas de Puengasi, Lumbisi, El Batán, La bota, Bellavista y Catequilla, en el sector de la Mitad del Mundo; con una longitud aproximada de 45 km. Este sistema de fallas provoco que el sector donde se ubica la actual ciudad de Quito, este elevada sobre el resto del callejón interandino entre 300 y 400 m. Esta falla muestra una actividad, micro sísmica constante con eventos ocasionales de magnitud superior o igual a 4 grados en la Escala de Richter, se estima que el sismo probable que podría generar seria entre 6 y 6,5.

2.2.1.5.- Falla Pastocalle – Saquisilí.

Este sistema de falla es de similares características a las de Quito, siendo más extenso y los bloque levantados no superan los 200 m; una falla asociada a este sistema pudo ser la causante del sismo de Pastocalle de 1976 de 5,1 grados en la Escala de Richter.

2.2.1.6.- Falla El Ángel – San Gabriel.

A este sistema de falla se le atribuye el sismo de Ibarra de 1968.

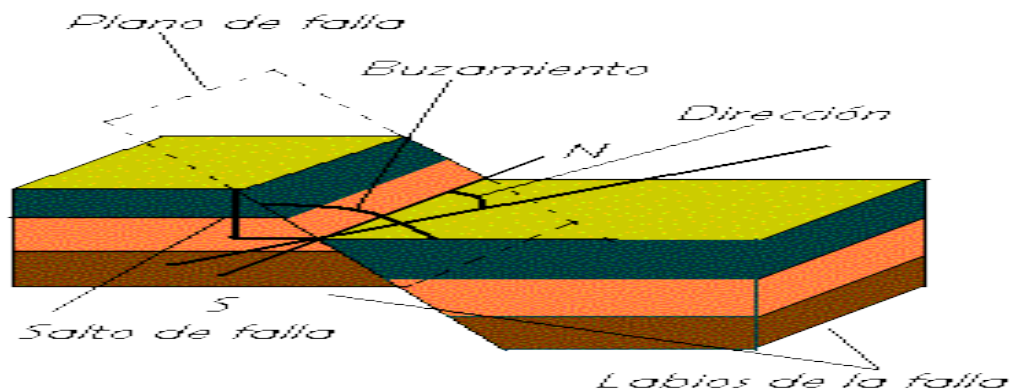
2.2.1.7.- Definición de Falla Geológica.

Las fallas son una clase de deformación de la corteza de la tierra que culmina en ruptura, que da como resultado una variedad de estructuras geológicas; cuando esta se produce de forma brusca y repentina se ocasiona un terremoto. En algunas ocasiones este plano de falla permite que algunos puntos aflore el magma de las capas inferiores y se forme un volcán.

2.2.1.8.- Partes de una Falla Geológica.

En una falla se identifican los siguientes componentes:

Figura 2- Partes de una falla geológica



Fuente: www.artinaid.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

a.- Plano de Falla.

El plano de falla es la superficie sobre la que se ha producido el movimiento, horizontal, vertical u oblicuo. Si las fracturas son frágiles, tienen superficies lisas y pulidas por efecto de la abrasión. Durante el desplazamiento de las rocas fracturadas se pueden desprender fragmentos de diferentes tamaños. (González Noriega, 2012, pág. 6)

b.- Labios de la Falla.

Los labios de falla son los dos bordes o bloques que se han desplazado. Cuando se produce un desplazamiento vertical, los bordes reciben los nombres de labio hundido (o interior) y labio elevado (o superior), dependiendo de la ubicación de cada uno de ellos con respecto a la horizontal relativa. Cuando está inclinado, uno de los bloques se desliza sobre el otro. El bloque que queda por encima del plano de falla se llama "techo" y el que queda por debajo, "muro". (González Noriega, 2012, pág. 6)

c.- Salto de Falla.

El salto de falla es la distancia vertical entre dos estratos que originalmente formaban una unidad, medida entre los bordes del bloque elevado y el hundido. Esta distancia puede ser de tan sólo unos pocos milímetros (cuando se produce la ruptura), hasta varios kilómetros. Éste último caso suele ser resultado de un largo proceso geológico en el tiempo. (González Noriega, 2012, pág. 6)

Como se ha visto las fallas no son otra cosa que, fallas del terreno y tienen diferentes partes, como son el plano de la falla que es la superficie plana, los labios que son los bordes, y el salto que es la distancia vertical que existe entre dos estratos que se han dividido.

d.- Dirección y Orientación de Falla.

La falla geológica puede tener orientación respecto al rumbo con el eje norte o sur y a una línea; que puede ser horizontal, vertical o inclinada.

e.- Buzamiento de Falla.

Se denomina buzamiento al ángulo del plano de falla con respecto al horizonte.

2.2.1.9.- Tipos de Falla Geológica.

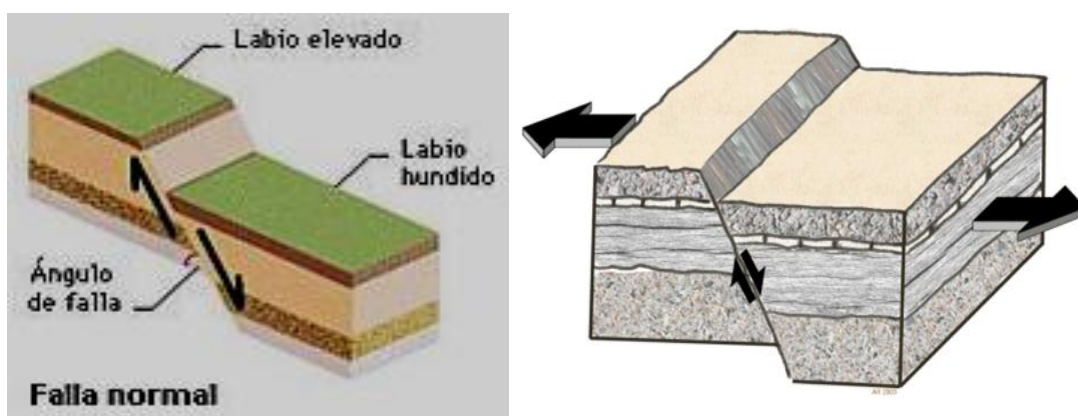
Una de las clasificaciones de las fallas es por la naturaleza del movimiento, así entonces, estas pueden ser:

a.- Falla Normal.

“Esta falla se genera por tracción con movimientos verticales, aunque se generan por tensión horizontal. El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal” (Rojas, 2009, pág. 25)

Este efecto que se produce da lugar a un bloque superior y uno inferior, dando lugar a que una parte de la falla se hunda, respecto al terreno que está del otro lado. Esto es muy común que ocurra en los valles.

Figura 3- Falla Normal



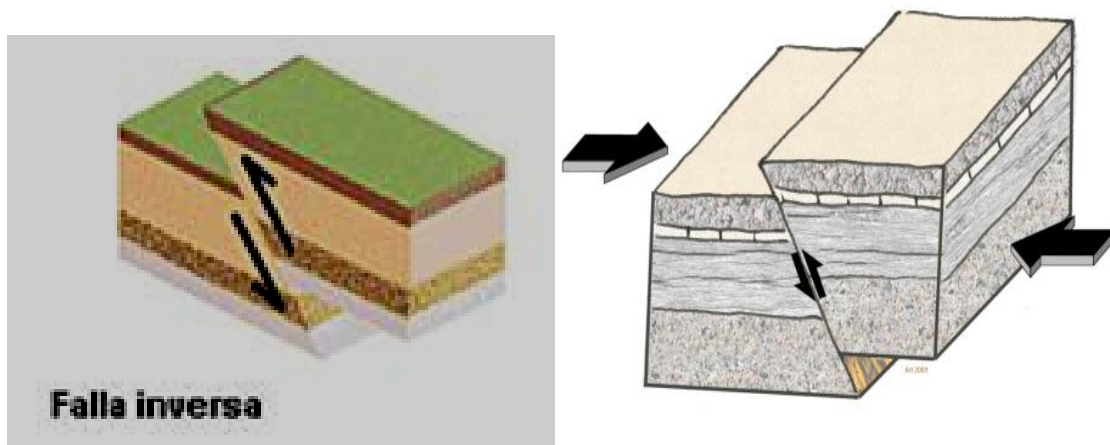
Fuente: www.cec.uchile.cl
Elaborado por Edison Jairo Narváez Changuan

b.- Falla Inversa.

Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento inferior a 45° , estas pasan a tomar el nombre de cabalgamiento. Labio superior ha ascendido respecto al labio inferior. (Rojas, 2009, pág. 25)

Esta falla se produce por compresión, las fuerzas comprimen a la corteza terrestre, el labio hundido de la falla normal asciende sobre el plano de falla. Las rocas de extratos más antiguos aparecen colocados sobre los más moderno; generando un área expuesta de falla llamada saliente. Este tipo de falla se presenta en terrenos montañosos.

Figura 4- Falla Inversa



Fuente: www.cec.uchile.cl

Elaborado por: Edison Jairo Narváz Changuan

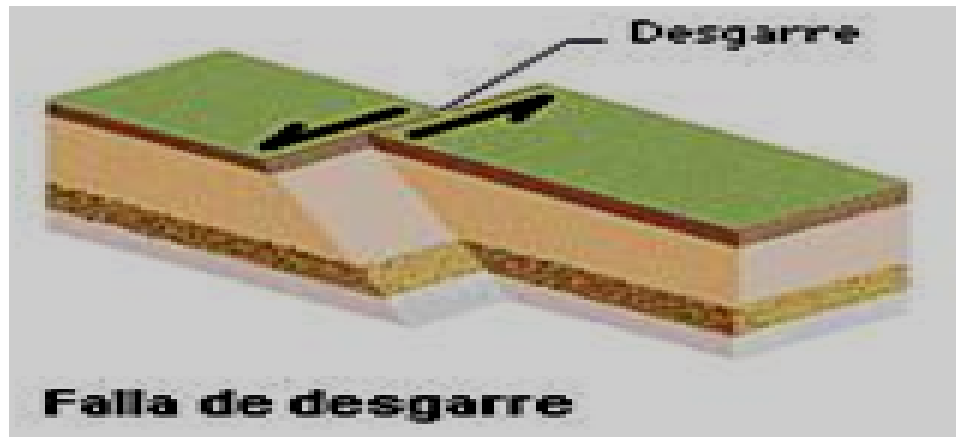
c.- Falla Cizalle.

Esta falla corresponde a una ancha zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles. Digamos además que una zona de cizalla grada hacia arriba hacia una zona de falla. Las rocas son deformadas frágilmente en los niveles superiores de la corteza terrestre y dúctilmente en lo inferiores. (Doblas, 2010, pág. 4)

A esta falla también se le llama falla en dirección, no tiene prácticamente salto vertical, predomina el componente horizontal, por eso es que se mueve hacia arriba y también de forma horizontal, o sea un bloque se mueve en una dirección,

mientras que el opuesto se mueve en dirección contraria. Se identifica al observar la discontinuidad del terreno.

Figura 5- Falla de desgarre



Fuente: www.cec.uchile.cl
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

2.2.2.- Sismos Originados por Subducción.

Figura 6- Sismos originados por subducción



Fuente: www.cec.uchile.cl
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

El Ecuador se localiza en la zona de colisión de la placa oceánica Nazca con la placa continental Sudamericana. La interacción entre estas dos placas hace que se acumulen esfuerzos tanto en la zona de contacto como en la zona interna de

las placas continental y oceánica; cuando se liberan los esfuerzos en la zona de subducción o en las fallas tectónicas, se producen los sismos.

El proceso de subducción es uno de los elementos más importantes para explicar los efectos sismotectónicos. La tectónica asociada a las zonas de subducción está relacionada con la densidad de las placas subducidas, la velocidad de convergencia, y en particular los efectos de resistencia a la subducción. (Alvarado, 2011, pág. 14)

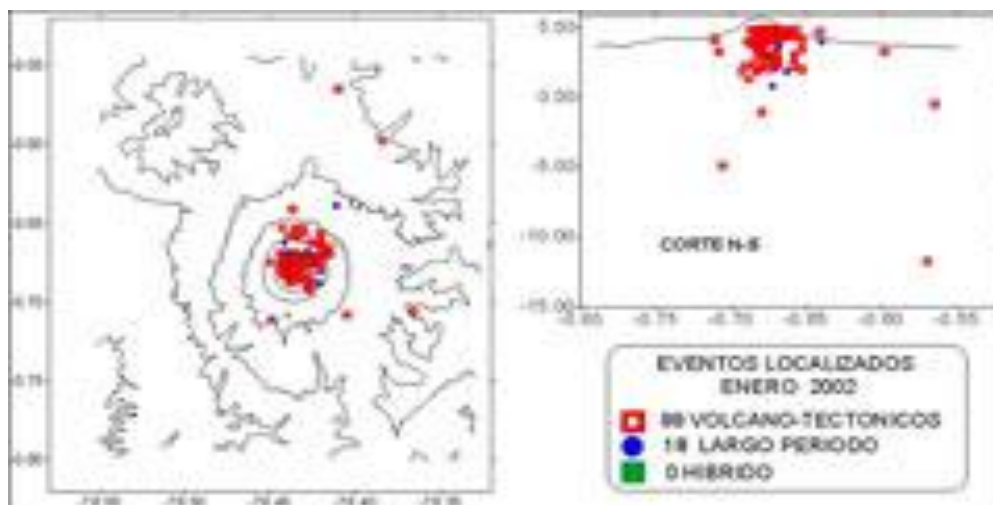
El proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental de Sudamérica, es otra de las fuentes sísmicas en nuestro territorio. La zona de subducción ubicada en la zona sur del Golfo del Guayaquil tiene una fosa de profundidad máxima de 6 km. La fosa ecuatoriana es de poca profundidad comparada con la fosa de Isla Mariana que tiene una profundidad de 11 km. Los sismos originados por subducción son superficiales en la plataforma submarina y en la costa continental y tienen mayores profundidades conforme se adentran en el continente, de acuerdo al ángulo de la subducción. Es decir son superficiales de 0 a 40 km, profundos de 100 a 200 km y muy profundos mayores a 290 km. Los terremotos superficiales son los que producen mayores daños y son los más peligrosos.

Estos sismos se originan por los efectos mecánicos asociados al proceso de subducción: las grandes presiones acumuladas cuya máxima magnitud llega a sobrepasar el límite elástico de las capas rocosas interiores rompen estas últimas, liberando una gran cantidad de energía que es transmitida a través de ondas mecánicas, es decir se generan las ondas sísmicas. (Alvarado, 2011, pág. 14)

Se estima que en las zonas de subducción se libera la mayor cantidad de energía sísmica (alrededor del 80%); la frecuencia con la que se producen terremotos destructores no es alta, pero cuando estos se presentan pueden tener efectos devastadores, en especial en países en desarrollo, retrasan su progreso al afectar la infraestructura, pérdida de viviendas cuya valoración de daños resultan inestimables. Los grandes sismos de Esmeraldas de 1906, 1958 y 1979, así como el sismo de Bahía de Caraquez del año 1998 ocurrieron por subducción entre placas.

2.2.3.- Sismos de Origen Volcánico.

Figura 7- Eventos localizados Enero 2002



Fuente: IG – EPN, 2010 – 2013

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

El Ecuador por estar ubicado en la costa oriental del Océano Pacífico, lo hace parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, a esta zona se la ha llamado así por ser susceptible a experimentar terremotos y erupciones volcánicas.

Siendo el Ecuador un país altamente volcánico, es natural que haya tenido que experimentar sismos asociados con esta actividad geológica; la energía de estos sismos no es suficiente para que se propaguen a grandes distancias ni para que causen daños considerables, por esta razón pasan inadvertidos por las personas. Estos sismos ocurren continuamente en los volcanes activos, antes de una erupción como actividad premonitrice de las erupciones. (Vilema Condo, 2014, pág. 10)

Como estos sismos guardan una estrecha relación con los fenómenos de erupción que se originan en la cámara magmática de los volcanes y por el ascenso de las sustancias por dentro de las chimeneas del volcán, la profundidad de los sismos son muy leves.

Las características de los movimientos sísmicos asociados con la actividad de los volcanes son las siguientes:

La ubicación del epicentro se relaciona con el edificio volcánico. En Ecuador estos sismos son catalogados para cada volcán en base a datos del continuo monitoreo; a estos sismos se los considera superficiales, por su profundidad que va de 1 a 10 km; las magnitudes de este tipo de sismos son generalmente bajas, van entre 1 a

4,5 grados máximo; la magnitud es proporcional a la energía que se libera; por ser sismos de magnitudes bajas y de poca profundidad; las ondas liberadas solamente podrían ser sentidas en las cercanías del volcán y rara vez causar daños en los sitios próximos al epicentro; la recurrencia o frecuencia con la que ocurren estos sismos, los volcanes producen una serie de eventos sísmicos, denominados enjambres de sismos; en cortos periodos de tiempo cuando hay una inyección de material magmatico nuevo en el volcán. (Bartomioli, 2008, pág. 12)

2.3.- Partes de un terremoto.

2.3.1.- Foco, fuente sísmica o hipocentro.

“El punto en donde se produce la máxima liberación de energía, al interior de la tierra se le denomina “foco sísmico” o “hipocentro”. El foco sísmico es definido por dos parámetros: latitud y longitud.” (Pascual, 2012, pág. 3)

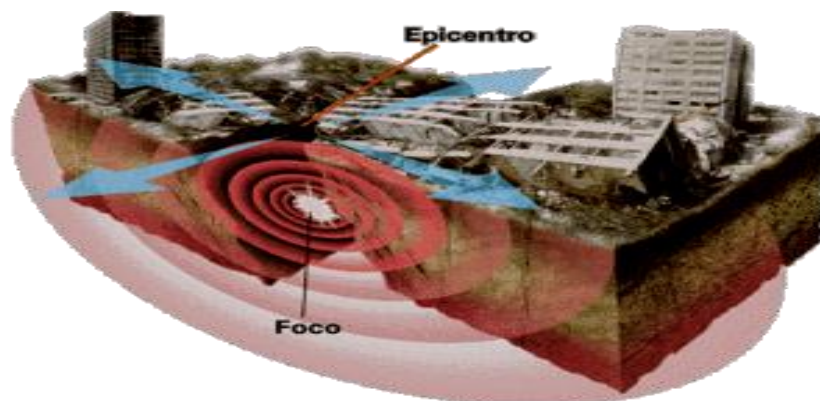
2.3.2.- Epicentro.

“La representación del foco sobre la superficie es llamada “epicentro” y es definido con tres parámetros: latitud, longitud y profundidad”. (Pascual, 2012, pág. 3)

2.3.3.- Profundidad focal.

La profundidad a la cual se produce un sismo, o lo que es lo mismo, la distancia entre el epicentro y el hipocentro se denomina profundidad focal. Con respecto a la profundidad focal se distinguen tres tipos de sismos: Superficiales: Profundidad focal menor a 70 Km. Intermedios: Profundidad focal entre 70 y 300 Km. Profundos: Profundidad focal mayor a 300 Km. (Campusano Osores, 2013, pág. 4)

Figura 8- Partes de un terremoto



Fuente: wordpress.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

2.4.- Ondas Sísmicas.

El evento sísmico se propaga mediante ondas elásticas similares a las ondas que produce el sonido, las ondas sísmicas de propagación producidas por terremotos se presentan principalmente de tres tipos:

2.4.1.- Ondas Longitudinales, Primarias, Compresionales o P.

Ondas internas son las que viajan por el interior y alcanzan la superficie y desplazarse por ella, hay dos tipo basadas en el modo de cómo se trasladan. En las ondas P las partículas de la roca se desplazan hacia adelante y hacia atrás en el sentido de desplazamiento de la onda, la roca sufre una serie de compresiones y descompresiones a lo largo del eje del movimiento de la onda, están ondas viajan en sólidos y líquidos, son rápidas se propagan a una velocidad de entre 8 y 13 km/s en el mismo sentido que la vibración de las partículas y su amplitud es menor. Son las primeras que registran los aparatos sismógrafos, de ahí su nombre P. (Gómez Ortiz, 1989, pág. 124)

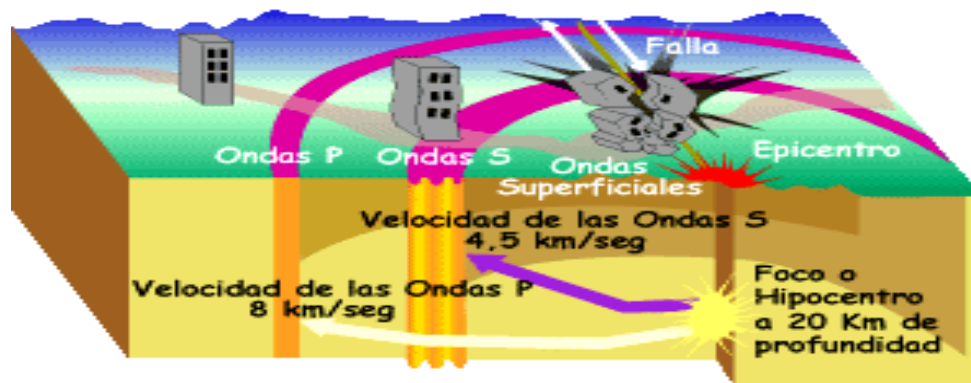
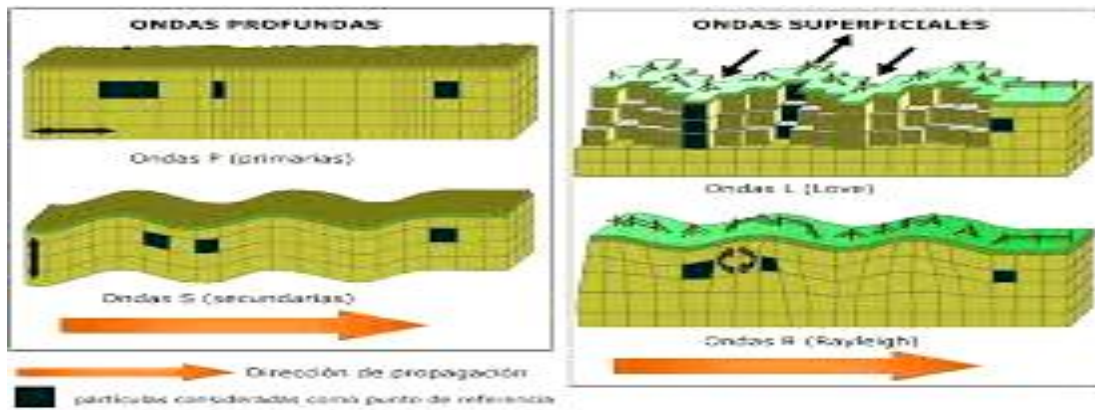
2.4.2.- Ondas Secundarias, Transversales o de Cizalla o S.

Estas ondas tienen como característica que las partículas lo que hacen es moverse de forma transversal de arriba hacia abajo perpendicularmente al eje del movimiento de la onda o rayo sísmico. La onda se propaga en dirección X, pero el movimiento se produce de arriba y hacia abajo de forma perpendicular a la dirección de propagación. Estas ondas solo viajan en sólidos, viajan a una velocidad menor son más lentas que las anteriores entre 4 y 8 km/s y su amplitud es mayor que las ondas P. y se registran en segundo lugar en los aparatos de medida. (Gómez Ortiz, 1989, pág. 124)

2.4.3.- Ondas Superficiales.

Estas ondas solo se transmiten por la superficie, no se pueden transmitir por el interior, causan la mayor destrucción ya que tienen mayor amplitud, el terreno se mueve más hacia arriba y hacia abajo y son además de velocidad más lenta de todas 3,5 km/s; son producto de la interacción entre las ondas P y S a lo largo de la superficie de la Tierra. Se propagan a partir del epicentro y son similares a las ondas que se forman sobre la superficie del mar. Este tipo de ondas son las que se registran en último lugar en los sismógrafos. (Gómez Ortiz, 1989, pág. 124)

Figura 9- Ondas sísmicas



Fuente: wordpress.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

2.5.- Medición de los terremotos

2.5.1.- La Sismología

Es la ciencia que estudia las ondas producidas por los terremotos, ya en China hace 2000 años se inventaron los primeros sismógrafos que solamente podían decir la dirección en la cual se había producido el terremoto pero que para su época era un gran avance. (Ciudad Real Nuñez, 2008, pág. 434)

2.5.2.- Sismógrafo.

Es un instrumento que registra en un papel la vibración de la Tierra producida por el sismo, este registro se denomina sismograma en mismo que nos informa la magnitud y la duración. El sismógrafo registra ondas sísmicas, registra el movimiento de la tierra con respecto a una posición inmóvil, se puede registrar de forma gráfica, mediante sistemas de computación; se refleja el movimiento tanto en la vertical como en la horizontal por lo cual muchas veces nos hace falta varios conjuntos de sismógrafos al menos tres para conocer exactamente como se ha movido el terreno. El esquema de un sismógrafo es muy simple es el tambor

rotatorio y una masa que va a permanecer en el mismo sitio cuando llega el terremoto; se produce el terremoto, las ondas del terremoto llegan al sismógrafo y cuando llegan al sismógrafo se mueve el tambor rotatorio pero la masa tiende a permanecer inmóvil por efecto de la inercia. (Ciudad Real Nuñez, 2008, pág. 434)

Figura 10- Sismógrafo

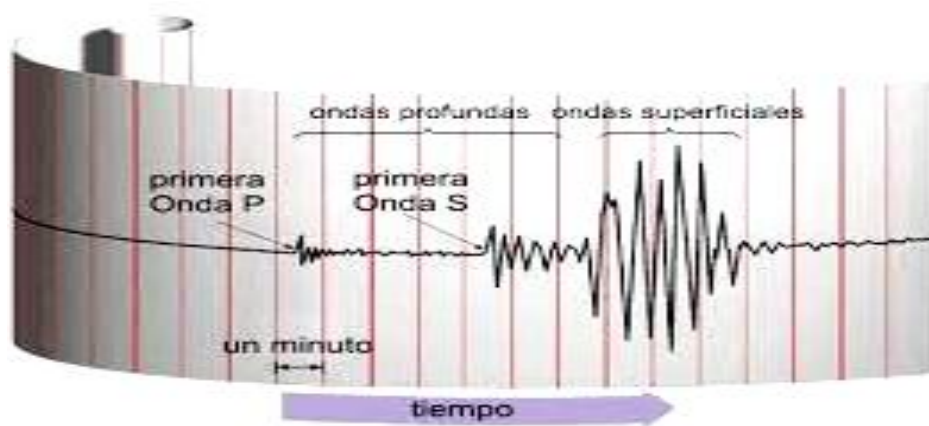


Fuente: queretaro.quadratin.com.mx
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Los sismómetros son instrumentos que registran los movimientos del suelo. Detectan con suma precisión el instante mismo del inicio de un sismo y cuando terminan. El hombre no tiene una percepción tan desarrollada y sólo es capaz de percibir la parte más intensa del movimiento provocado por un sismo.

El registro desenrollado es el movimiento del terreno en función del tiempo; es lo que conocemos por sismograma; cuando se observa un sismograma se identifican varios tipos de ondas, las primeras que llegan son las ondas primarias, después las secundarias con diferentes características a las primarias y después unas ondas más intensas donde el movimiento del terreno es más amplio llamadas ondas superficiales, como se indicó anteriormente.

Figura 11- Sismograma



Fuente: www.natureduca.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

2.6.- Eventos posteriores y anteriores al sismo.

Un terremoto generalmente viene precedido por una gran cantidad de sismos a los que se les denomina premonitores, estos tienen una duración variable, en algunos eventos sísmicos los premonitores se han registrado por varios meses y hasta años de anticipación y en otros casos la actividad de los premonitores ha sido muy baja. Después de que se genera un sismo fuerte o terremoto de magnitud moderada a grande, se detectan sismos de menor magnitud localizados en las zonas cercanas al hipocentro a los que se les llama réplicas, en este tiempo de rotura de las rocas que liberaron energía, vuelven lentamente a buscar una posición de equilibrio, generando que en los primeros días son numerosos y de gran intensidad, con el pasar de los días estas réplicas disminuyen en intensidad y número. (Maji Chauca, 2010, pág. 104)

2.7.- Intensidad y Magnitud de los terremotos.

Se debe aclarar que la definición de intensidad y magnitud no tiene el mismo significado. Para valorar el tamaño de un terremoto existen dos formas completamente diferentes de medir; una es mediante la intensidad que es una escala que mide los daños causados y el otro valor es la magnitud que mide la cantidad de energía liberada en el foco del terremoto. (Maji Chauca, 2010, pág. 110)

2.7.1.- Escala de Intensidad, Escala de Mercalli Modificada.

Esta escala se expresa en números romanos, es proporcional es decir que una intensidad IV es el doble de II, es subjetiva su medición no se basa en los registros sismográficos sino en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Para establecer la Intensidad se recurre a la revisión de registros históricos, entrevistas, noticias de los diarios públicos y personales, etc. La Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto. Mientras que la Magnitud es única para cada evento. (Maji Chauca, 2010, pág. 110)

Esta escala se desarrolló usando edificios de California como estándar; la destrucción parcial o total no representa una medida real de los terremotos; se identifican terremotos desde escala I-III, muy leves se caen objetos, a cada vez más fuertes y más fuertes hasta llegar a las grandes destrucciones con cosas terriblemente trágicas que serían valores de X a XII, esta escala tiene un valor mínimo para un terremoto dado y valor máximo de XII, es de entender que cuando más cerca estamos del hipocentro mayores son los daños.

La Escala de Intensidad fue por Creada en 1902 por el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, que nació en 1850, pero no siempre la rotura de edificios supone una señal clara de la fuerza del terremoto.

Cuadro 1 - Escala de intensidad de Mercalli

GRADO	EFFECTOS
I	IMPERCEPTIBLE. Detectado solo por los sismógrafos.
II	APENAS PERCEPTIBLE. Sentido solo por personas en reposo, especialmente en pisos altos.
III	DEBIL, SENTIDO PARCIALMENTE. Sentido por pocos en interiores. Objetos colgantes oscilan levemente. Oscilaciones mayores en pisos altos.
IV	SENTIDO POR MUCHOS. Sentido por muchas personas pero pocas se asustan. Vibración como el paso de un vehículo pesado. Vibración de puertas y ventanas. Crujido de pisos.
V	PERSONAS SE DESPIERTAN. Sentido por todas las personas. Algunas personas corren hacia el exterior. Objetos inestables se desplazan o se viran. Se riegan líquidos. Algunos péndulos se paran. Posibles daños leves en casas de mala calidad.
VI	PERSONAS SE ASUSTAN. Alarma. Muchos corren al exterior. Algunos pierden el equilibrio. Fisuras en enlucidos y tumbados, pueden desprenderse algunos trozos. En algunos casos pueden aparecer

	grietas hasta de 1 cm, en terrenos flojos.
VII	DAÑOS EN LOS EDIFICIOS. Alarma general. Muchas personas tienen dificultad al caminar. Daños leves en algunos edificios de concreto y en muchos de ladrillo. Efectos serios en construcciones de adobe. Grietas en las paredes de ladrillo o bloque. Deslizamientos pequeños en taludes. Grietas pequeñas en carreteras. Se forman olas en el agua.
VIII	DAÑOS SEVEROS EN EDIFICIOS. Susto general y pánico. Sentido en vehículos en marcha. Se mueven muebles pesados. Daños considerables en mampostería de edificios de ladrillo y de concreto, destrucción parcial de casas de adobe o tapia. Se rompen tuberías. Derrumbes en pendientes y taludes. Grietas de varios centímetros en el terreno.
IX	DAÑO GENERAL EN EDIFICIOS. Pánico general. Los animales se asustan. Muebles destruidos. Destrucción parcial de muchos edificios de ladrillo. Colapso total de construcciones de adobe. Grietas en terreno hasta de 10 cm. Muchas grietas en terreno llano. Muchos derrumbes y deslizamientos importantes. Grandes olas en la superficie del agua.
X	DESTRUCCION GENERAL DE EDIFICIOS. Destrucción parcial de edificios bien contruidos y total en construcciones de menor calidad. Colapso total de la mayoría de construcciones de adobe. Daños severos en represas, diques y puentes. Rieles del tren se deforman. Grietas hasta de un metro en el terreno. Grandes deslizamientos en laderas y orillas de ríos.
XI	CATASTROFE. Daños severos incluso en edificios reforzados. Edificios de buena calidad pueden colapsar totalmente. Destrucción de puentes bien contruidos y represas. Carreteras destruidas. El terreno se fractura considerablemente. Derrumbes de grandes proporciones.
XII	DESTRUCCION TOTAL, CAMBIO EN EL PAISAJE. Graves daños o destrucción total de todas las estructuras ubicadas sobre o bajo el nivel

	del suelo. Cambia radicalmente la superficie del terreno. Amplios movimientos verticales del terreno. Cambio radical en la topografía.
--	--

Fuente: www.locosporlageologia.com.ar

Elaborado por : Edison Jairo Narváez Changuan

2.7.2.- Escala de Magnitud Richter.

Representa la energía sísmica liberada en cada terremoto y se basa en el registro sismográfico. En la actualidad se emplea la escala de magnitud. Dr. Charles F. Richter, sismólogo nacido en el año 1900, esta escala se basa en la amplitud de onda sísmica más grande registrada en un sismógrafo; con este dato y la distancia del terremoto se puede calcular la magnitud. La magnitud de un terremoto no tiene valor o límite hacia arriba, es decir se puede producir un terremoto de cualquier tipo de energía en principio aunque no se ha llegado a alcanzar terremotos de intensidad mayor que 10, pero esto no quiere decir que no puedan existir. (Anda Ruiz, 2009, pág. 194)

Es importante aclarar que un terremoto de escala 2 no tiene la mitad de energía que uno de escala 4 y uno de escala 4 no tiene la mitad de energía que uno de escala 8, pasar de dos a tres supone multiplicar por 32 la energía liberada, los incrementos grandes prácticamente que cuando doblamos el número estamos hablando de una 100 veces más energía, esta escala no es lineal sino logarítmica, crece en forma potencial.

Cuadro 2-Escala de magnitud Richter

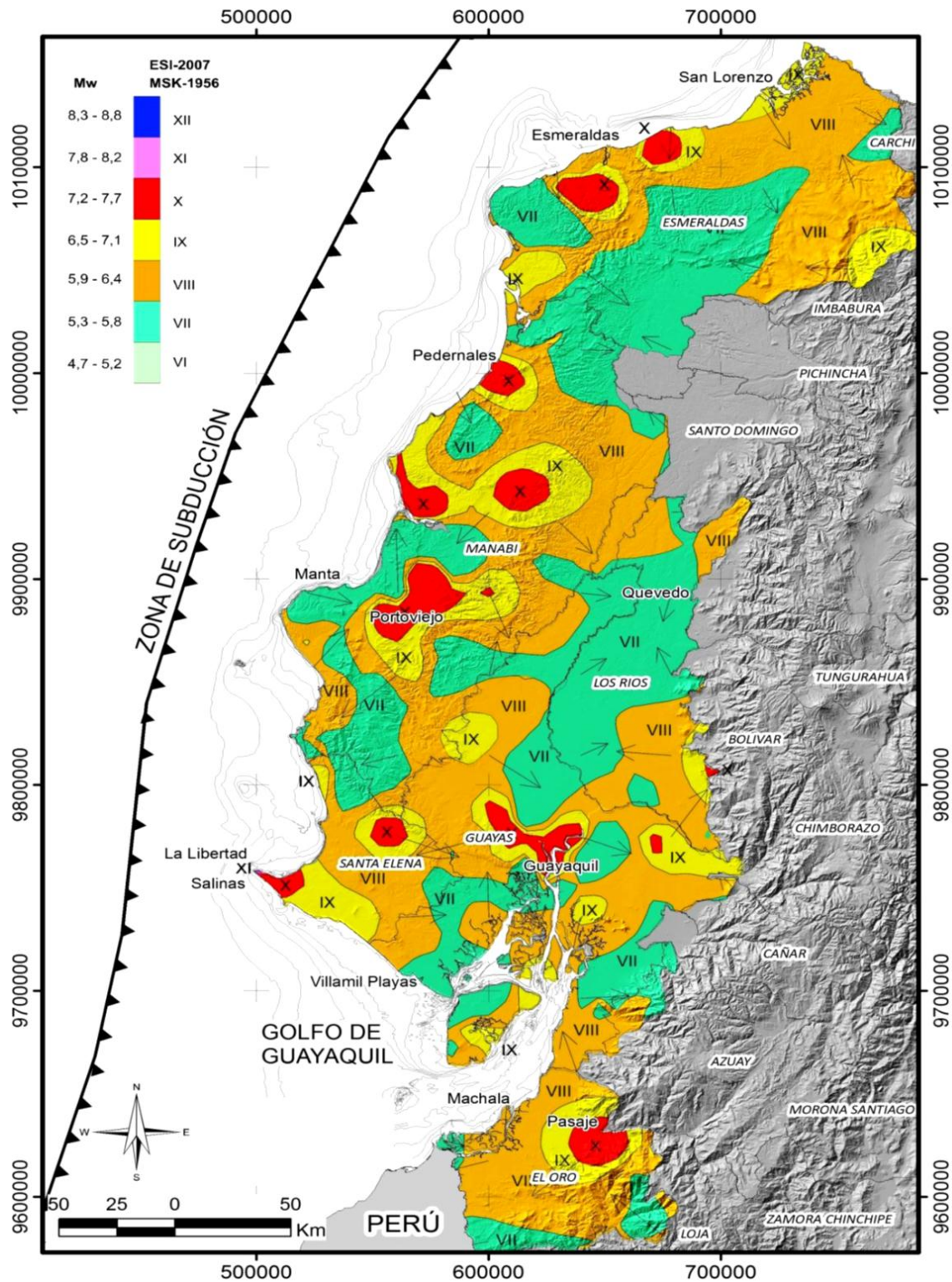
Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Fuente: www.taringa.net

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Esta escala es abierta, de modo que no hay un límite máximo teórico.

Figura 12 - Estimación de máximos niveles de sismicidad para el Litoral ecuatoriano. Escalas de intensidades esperadas MSK-1956, ESI-2007 y su relación con los momentos de magnitudes (M_w). Datos de sismos desde 1541 – 2008. Las flechas indican la dirección del gradiente del campo de intensidad



Fuente: www.taringa.net

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

2.8.- Factores que determinan la capacidad de destrucción de un sismo.

De la combinación de los siguientes factores depende el grado de destrucción que puede producir un sismo:

De la peligrosidad sísmica de la zona; de la magnitud; de la distancia al hipocentro o profundidad; de los efectos de sitio relacionados con las características del suelo y su capacidad para amplificar las ondas del sismo; de la vulnerabilidad de las construcciones cercanas al epicentro o su incapacidad para resistir un sismo; del nivel de preparación que tenga la población y las instituciones para actuar adecuadamente antes, durante y después de un sismo. (Sagripanti, 2007, pág. 87)

2.9.- Frecuencia de los terremotos en el mundo.

Cuando mayor es la magnitud del terremoto más raros son, se aclara en el siguiente detalle:

Cuadro 3- Frecuencia de los terremotos en el mundo

Magnitud	Promedio Anual
Mayor a 8,0	1
7,0 – 7,9	17
6,0 – 6,9	134
5,0 - 5,9	1.319
4,0 – 4,9	13.000
3,0 – 3,9	130.000
2,0 – 2,9	1.300.000

Fuente: www.taringa.net

Elaborado por: Edison Jairo Naváez Changuan

2.10.- Seguridad ante los terremotos.

Para poder luchar contra los terremotos, hay dos parámetros fundamentales a tener en cuenta: Primero, predecir y luego, prevenir.

2.10.1- La Predicción.

Es intentar saber con antelación el lugar y el momento en que va ocurrir el terremoto, para así poder actuar con conocimiento; en la actualidad la predicción espacial es decir el lugar donde puede ocurrir un terremoto es posible ya que son conocidas las zonas en las que se producen terremotos, sin embargo la predicción temporal con el conocimiento actual no es posible; es decir al día de hoy no podemos predecir en qué momento se puede producir un terremoto aunque si el sitio. (Pérez López, 2003, pág. 194)

2.10.2.- La Prevención.

Es asumir que se va a producir un terremoto con una determinada intensidad o magnitud y ante ello lo que se debe hacer es: Un diseño estructural antisísmico para edificaciones, casas, puentes, carreteras, etc. Para que se comporten óptimamente ante la acción de un evento sísmico y una prevención no estructural, que consiste en que la población conozca cuales son las normas mínimas antes, durante y después de un terremoto; para protegerse, tener planes de protección civil y planes de emergencia para minimizar los efectos del terremoto. (Pérez López, 2003, pág. 194)

2.11.- Fenómenos asociados al sismo.

2.11.1.- Fenómenos Primarios.

Los que ocurren antes de un terremoto son las roturas del terreno, la deformación tectónica y la vibración producida por las ondas sísmicas.

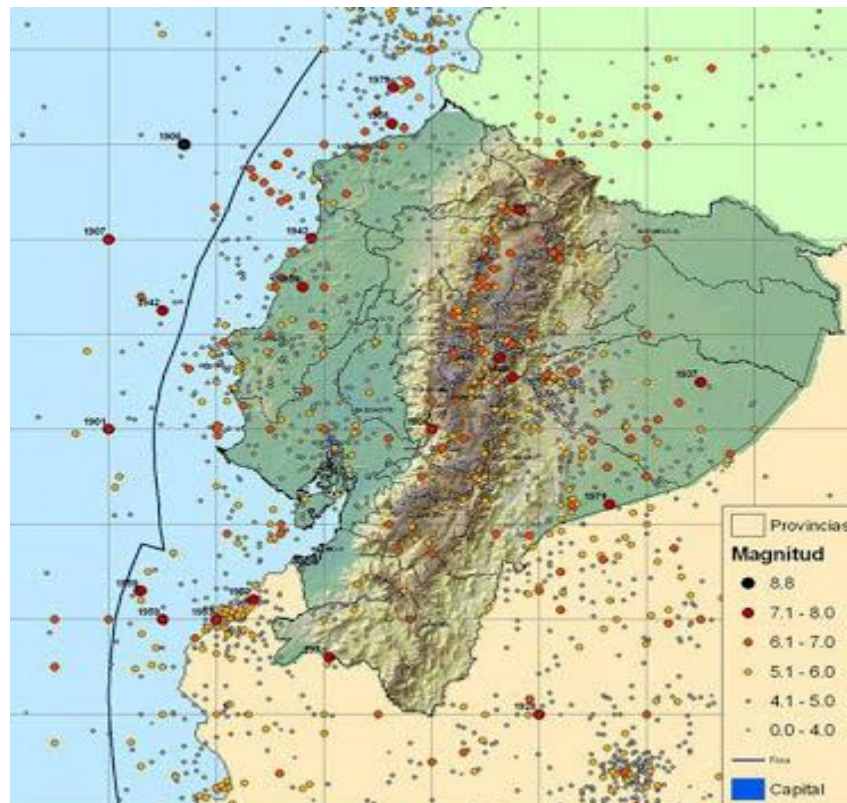
2.11.2.- Fenómenos Secundarios.

Los fenómenos conocidos como secundarios son el asentamiento de cimentaciones, la licuefacción, el movimiento de taludes y los tsunamis.

CAPITULO III

3.1.- Historia Sísmica del Ecuador.

Figura 13- Mapa sísmico del Ecuador



Fuente: <http://jfbblueplanet.blogspot.com/>

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Antes de la aparición de los instrumentos de medida, los sismómetros, se conocía de la ocurrencia de los eventos sísmicos por los efectos que dejaban sobre las personas, las propiedades o el medio-ambiente. En épocas recientes, este tipo de datos se encuentran en archivos históricos, pero para el caso de eventos de mayor antigüedad, solo se tiene información si estos dejaron su huella en el medio-ambiente, este es el caso de eventos sísmicos de gran magnitud ocurridos hace miles de años. La historia sísmica del Ecuador está llena de dolorosas experiencias, producto de grandes catástrofes que dejaron a su paso muerte y destrucción a lo largo y ancho de todo el territorio nacional. (Castro Chang, 2012, pág. 143)

En términos generales, si tomamos en cuenta los sismos de pequeña magnitud que no son sentidos por las personas y son detectados únicamente por los sismógrafos, el número de sismos que se registran en nuestro territorio pueden

sumar varios miles por año. De esta gran cantidad de actividad sísmica, de tiempo en tiempo ocurren grandes terremotos, cuya historia se inicia en 1541. Hasta la actualidad, en un lapso de 458 años, han ocurrido en nuestro territorio 37 terremotos de intensidad igual o mayor a VIII (Escala Internacional de Mercalli), grado a partir del cual, los efectos son de consideración. Y si se toma en cuenta los sismos a partir de la intensidad VI, (que es el grado desde el cual se presentan daños leves), hay que añadir 96 eventos que han causado daños desde leves hasta moderados.

Es imposible cuantificar las pérdidas materiales ocasionadas por estos terremotos, y en lo referente a las pérdidas de vidas, éstas superan las 80.000 muertes. En el Cuadr 4 se muestra las localizaciones de los sismos de magnitud mayor a 4 ocurridos en el Ecuador y como se pueden advertir, los epicentros cubren prácticamente todo el territorio con zonas de mayor y menor concentración de eventos.

Esto muestra que todo el territorio está expuesto a este tipo de fenómenos en cualquier momento. La información que proviene del monitoreo indica que el promedio anual de sismicidad en el país es de 2.600 eventos, de estos alrededor de 300 tienen magnitudes mayores a 4 grados y pudieron ser sentidos por la población. En lo que a la intensidad se refiere, los terremotos de intensidad igual o mayor a VIII (Escala de Mercalli) constituyen aquellos eventos cuyos efectos son considerables o catastróficos, razón por la cual se los considera para los estudios de análisis de peligro sísmico. Se ha extraído del Catálogo de Terremotos del Ecuador aquellos sismos que caen en estas categorías (Cuadro 4) ocurridos entre 1541 y 1999; por haberse constituido en verdaderas catástrofes en nuestra historia. Se debe recordar que el último terremoto de esta categoría ocurrió en la provincia de Manabí en 1998, el cual afectó la ciudad de Bahía de Caráquez (la intensidad máxima de este evento fue de VIII). (Sagñay Novay, 2014, pág. 180)

Cuadro 4- Efectos causados por los terremotos con Intensidad VIII o superior

FECHA	LUGAR DE OCURRENCIA
1541 04 00	Destruído un pueblo de unas 60 casas en la falda oriental de la Cordillera Real. Sentido en Quito (¿?).
1587 08 31	En San Antonio de Pichincha y pueblos vecinos: gran destrucción. Grandes y profundas grietas por las que brotó agua negra y de mal olor. En Guayllabamba: enormes grietas. En Cayambe se desplomaron muchas casas. Desbordamiento e inundaciones en el lago San Pablo. Las crónicas dicen que el sismo "duró como media hora": se deduce que se produjeron gran número de réplicas inmediatas. Continuaron las réplicas por varios días. Más de 160 muertos
1645 03 15	Muchos temblores al comienzo de este año, sentidos en Quito y Riobamba, hasta febrero en que ocurre un terremoto que causó graves estragos en toda la comarca. El terremoto originó desprendimientos internos en el volcán Tungurahua. Innumerables réplicas. Muchos muertos.
1674 08 29	Destrucción de Chimbo y 8 pueblos circundantes. La mayor destrucción ocurrió en Chimbo. Pocos sobrevivientes". A pesar de la magnitud, la zona macrosísmica fue bastante restringida. Grandes deslizamientos en montes y laderas. Agrietamiento del terreno por todas partes. Represado el río.
1687 11 22	Gran terremoto en las provincias centrales. Destrucción de Ambato, Latacunga y muchas poblaciones de la comarca. Deslizamientos de montes y taludes. Muchas réplicas sin interrupción durante varias semanas. Aproximadamente 7200 muertos. (J. De Velasco: 22.000 muertos; dato erróneo).
1698 06 20	Los daños materiales se extendieron desde el Nudo de Tiopullo hasta el Nudo del Azuay. Muertos: Ambato más de 3000; Latacunga aproximadamente 2000; en los pueblos de sus jurisdicciones se estimó unos 1500; en Patate alrededor de 200 y en Riobamba 100.
	Según algunos autores el número de víctimas ascendió a 8000. Gran destrucción de casas e iglesias en Ambato, Latacunga, Riobamba y todos los pueblos de la comarca.
	Grandes deslizamientos en montes, laderas y taludes. Represamientos de ríos y quebradas; desbordamiento y avalancha en el río Ambato. Derrumbes en el Carihuairazo. Grietas de 4 a 5 pies de ancho y 1 legua de longitud, en dirección N-S.
	En vista de la gran destrucción y efectos asociados, se intenta mudar de sitio a las ciudades de Ambato, Latacunga y Riobamba, lo cual no fue permitido por las autoridades de la Real Audiencia.

1736 12 06	Daños graves en casas e iglesias de Pujili, Saquisilí y el resto de pueblos de la comarca. Muchas haciendas afectadas. Estragos menores en Latacunga. En Quito: daños moderados en la iglesia de Sto. Domingo.
1757 02 22	Gran terremoto de Latacunga y su jurisdicción. Destrucción de iglesias y casas en la ciudad y en los pueblos vecinos. Murieron más de 4000 personas. Efectos considerables en Tungurahua. Réplicas continuas de variada intensidad durante los siguientes días.
1786 05 10	Terremoto en Riobamba. Graves daños en la ciudad y pueblos vecinos. Destrucción total de muchas casas de adobe, Se efectuó un inventario detallado de los daños en Riobamba, casa por casa, incluyendo el costo aproximado de las reparaciones.
1797 02 04	Destrucción total de la Villa de Riobamba. El terremoto más destructivo en el territorio ecuatoriano y uno de los de mayor magnitud en toda su historia. Destrucción total de la antigua ciudad de Riobamba, razón por la cual no fue reconstruida en el mismo sitio y se mudó al lugar que actualmente ocupa. Daños muy severos en ciudades, pueblos y caseríos de lo que actualmente son las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi y parte de Bolívar y Pichincha. Las trepidaciones y ondulaciones del suelo duraron aproximadamente 4 minutos. Inmensos deslizamientos de laderas y montes, uno de los cuales, sepultó por completo tres barrios de Riobamba.
	Grietas muy profundas y anchas. Algunas de impresionante longitud. En el valle de Patate, por ejemplo, se dice que las grietas fueron tan grandes, que "desaparecieron haciendas"
	Notable cambio del paisaje por las grietas, destrucción de los montes, levantamientos y hundimientos del terreno, cambio del curso de los ríos, etc.
	Brotan o desaparecen fuentes termales. Licuefacciones en muchos sitios. Represamiento de varios ríos durante varios días y hasta semanas, siendo los principales el Ambato, "Tacunga" y Pachanlica, además de varias quebradas afluentes. Al romperse los diques naturales, se originaron enormes avalanchas que arrasaron lo que quedaba de pueblos y haciendas, como ocurrió en el valle de Patate.
	Brotó agua y lodo de mal olor en varios lugares, como en el cerro Altar. Igual aconteció en cerro Igualata, donde, además: "se abrieron cinco bocas en la cumbre por las que salían llamas de fuego y lodo, que formaban por la falda ríos de mucha extensión... cada borbotón de lodo, un nuevo temblor..."
	Posible volcanismo asociado. Se inflamó el volcán y laguna de Quilotoa.

	En Quito se presentaron graves daños, especialmente en las iglesias.
	Centenares de réplicas, durante varios meses. Algunas fueron tan fuertes que por sí solas pudieron causar daños por sí solas, y lo hicieron más aún en lo que quedó del terremoto principal.
	Muertos contabilizados: 12.833, pero se estima que la cifra debió ser mucho mayor. Hay quienes estiman que fueron 31.000 y otros autores incluso mencionan cifras aún mayores, tomando en consideración que en algunas zonas, la contabilización fue imposible hacerla con precisión y, en otros sitios, no se tomó en cuenta a las a las clases sociales bajas. Los heridos se sumaron igualmente por millares, muchos de los cuales murieron posteriormente, en infinidad de casos por la imposibilidad de rescatarlos
	En muchos otros casos los heridos fallecieron por la inexistencia de ayuda médica y tiempo más tarde, a causa de las epidemias y pestes que se propagaron, como resultado de la contaminación causada por la descomposición de cadáveres de personas y animales.
	Como es obvio suponer, el impacto social y económico y social de este terremoto fue incalculable. Incluso las consecuencias políticas y administrativas para el gobierno de la Real Audiencia de Quito fueron notables.
1834 01 20	Terremoto en la frontera Ecuador-Colombia.
	En Ecuador solo se conoce que los efectos fueron severos en Tulcán y se lo sintió fuertemente hasta Ibarra. Con seguridad se puede deducir que deben haberse producido daños en otras poblaciones fronterizas ecuatorianas. En las ciudades y poblaciones fronterizas colombianas, las consecuencias fueron catastróficas ya que la intensidad máxima alcanzó el grado XI de la escala Mercalli Modificada, lo cual significa que las poblaciones fueron prácticamente arrasadas.
	El hecho de que el epicentro se haya ubicado un tanto hacia el Oriente, en una zona poco poblada en aquella época, permitió que los efectos no hayan sido mayores a los que se experimentaron. Sentido hasta Martinica. Muchos muertos.
1859 03 22	Graves daños en edificios, iglesias y casas de Quito.
	Serios estragos en poblaciones y haciendas del valle de Los Chillos.
	Larga duración (se estimó entre 1 y 2 minutos).
	Sentido prácticamente en todo el país.

	Los efectos se extendieron hasta las provincias de Cotopaxi por el Sur e Imbabura por el Norte.
	Seramente afectada la iglesia de La Merced de Quito.
	Grietas grandes en el valle de Los Chillos.
	Muchos muertos en Machachi, Chillogallo y otras poblaciones del valle.
	Treinta muertos en Imbabura y 1 en Cotopaxi.
1868 08 15	Terremoto en la provincia del Carchi.
	Grandes averías en casas e iglesias.
	Los mayores estragos se localizaron en la zona de El Ángel, Huaca, Tusa y El Chota.
	En Tulcán los efectos fueron de menor proporción.
	Decenas de muertos (solo en las calles de El Ángel se contabilizaron 32 víctimas).
	Los estragos se incrementaron con el terremoto de Imbabura, que tuvo lugar unas horas más tarde.
1868 08 16	Gran terremoto de la Provincia de Imbabura.
	Ruina casi total de varias ciudades y pueblos, especialmente en Cotacachi, Ibarra, Otavalo y pueblos intermedios.
	Muchos deslizamientos de tierra voluminosos. Innumerables derrumbes de mediana y pequeña magnitud.
	Grietas profundas y extensas en toda la región.
	Destrucción de muchas vías de comunicación, en especial los caminos vecinales.
	Los estrago en Ibarra fueron de tal magnitud que se decidió mudar la ciudad a otro sitio, por lo que se fundó la población de La Esperanza, donde la población pretendió radicarse definitivamente, pero tiempo más tarde desistieron del proyecto y retornaron para reconstruir la ciudad en el mismo lugar.
	En Quito sufrieron graves averías muchos edificios y, sobre todo, las iglesias y conventos.
	En la provincia del Carchi también hubo localidades que sufrieron serios estragos, que se sumaron a los resultantes del terremoto que había ocurrido horas antes en esa provincia.
	Los ruidos subterráneos se escucharon hasta Quito.

	Durante un buen tiempo se sintieron réplicas de variada intensidad, algunas muy fuertes.
	Las consecuencias sociales y económicas fueron cuantiosas, en una época que el país afrontaba serias dificultades fiscales.
1896 05 03	Destrucción parcial o casi total de construcciones en Bahía de Caráquez, Portoviejo y Canoa.
	En Portoviejo, Cerro de Hojas y Canoa, se abren grietas muy extensas y profundas: algunas alcanzaron hasta 2 m. de ancho.
	Se forman pequeños cráteres de 2m. de profundidad, que emanaron agua y arena (licuefacciones).
	Se produjeron levantamientos del terreno de entre 10 y 100 pies, formando mesetas de regular extensión.
	Múltiples deslizamientos en cerro y taludes.
	La duración del movimiento fue estimada en unos 80 seg.
	Se sintieron dos sismos premonitores (intensidad II en Quito) y gran número de réplicas.
	1 muerto y varios heridos.
1906 01 31	Gran terremoto con epicentro en el Océano Pacífico, frente a las costas de la frontera Ecuador-Colombia.
	Se generó un tsunami de grandes proporciones.
	Este sismo, por su magnitud, es el quinto más fuerte que se ha registrado en el mundo, desde que existen los sismógrafos.
	Sus efectos fueron muy graves en la provincia de Esmeraldas y en el Sur de Colombia y no fueron mayores por cuanto el epicentro fue en el mar, alejado de la costa y por cuanto en esa época la zona se encontraba muy poco poblada.
	En Limones desaparecieron bajo las aguas cuatro islas.
	Daños en las provincias norteñas de la Sierra.
	30 muertos reportados, pero se estima un número mucho mayor, dada la imposibilidad de imposibilidad realizar un conteo real, por las características geográficas de la zona y las consecuencias del tsunami, como lo ocurrido en Pinguaje.
	Las olas arrojaron a la costa de Tumaco 90 cadáveres. Muchos heridos.
	Decenas de réplicas sentidas, de los centenares que deben haberse producido (en Esmeraldas, solo en los siguientes 8 días posteriores al terremoto, se sintieron por lo menos 25 sismos.

	En Esmeraldas y otras localidades, se abrieron profundas grietas, por donde manó agua y arena (licuefacciones).
	El volcán Cumbal de Nariño "entró en agitación", según lo afirmaron testigos presenciales.
	Muchas poblaciones de las costas quedaron prácticamente destruidas, ya sea por causa del movimiento terráqueo o como resultado del tsunami que inundó sus costas.
	El tsunami se inició a las 10h. 30m. Las aguas bajaron lentamente una hora después.
	El sismo fue sentido incluso en gran parte de Colombia, Costa Rica y Nicaragua, con intensidades entre 2 y 3.
1911 09 23	Violento sismo que causo estragos de consideración en varios cantones de la provincia de Chimborazo, donde el 90% de edificios y casas fueron afectados en mayor o menor cuantía.
	Deslizamientos de laderas y taludes de caminos.
	Según versión de vecinos de la región, en el volcán Sangay, un mes antes del temblor "desapareció el eterno y candente penacho".
	En Quito se reportó una ligera lluvia de ceniza el día 24, sin que se haya podido determinar su procedencia. Según conjeturas de la época, el terremoto se lo atribuyó al volcán Sangay o al Tungurahua.
	Varias réplicas; 3 fueron muy fuertes.
1913 02 23	Terremoto de consideración en el sur del país.
	Los mayores estragos entre Molleturo y Jesús María.
	Destrucción total de algunas viviendas en poblaciones de las provincias de Loja, El Oro y Azuay. Daños graves en muchas casas de la misma zona y en poblaciones del Guayas.
	Grietas en Molleturo y en Jesús María (hacienda Rosario) emanación de cieno negruzco y mal oliente por las grietas.
	Muchas réplicas, algunas muy fuertes, hasta pasado el día 25 del mismo mes.
1914 05 31	Violento movimiento sísmico en la provincia de Pichincha, acompañado de ruidos subterráneos.
	Por el Sur sentido hasta Cuenca y por el Norte hasta Ibarra.
	En el Monte Pullurima y en los alrededores del volcán Antisana hubo eyecciones de lodo, arena y agua (licuefacciones) provenientes de cratercitos o grietas formadas a causa del sismo.

	Deslizamientos en laderas del Pullurima y otros cerros aledaños
	Considerables corrientes de cieno bajaron por cuatro riachuelos del Pullurima.
	El aluvión de greda negra alcanzó 2 m. de alto.
	Muchas casas destruidas en un poblado a 33 km. del Pullurima.
	Réplicas de intensidad III, el mismo día, a las siguientes horas: 14h. 58m., 18h. 26m. y 20h. 29m. Más réplicas fueron registradas hasta el mes de junio.
1923 12 16	Uno de los terremotos con mayores con secuencias en la provincia del Carchi, hasta esa fecha.
	Cayeron muchas casas, en especial en los pueblos y sectores rurales y campesinos. Murieron unas 300 personas, (con exageración se habló de 3000 víctimas).
	Deslizamientos en montes, laderas y taludes, dejan caminos inhabilitados.
	Desperfectos en muchos edificios públicos, escuelas y sobre todo daños serios en viviendas.
	Tulcán, Ipiates, Cumbal, Carlosama, Aldana, Chiles, Túquerres y otros caseríos aledaños fueron los lugares más quebrantados.
	Grandes y numerosas grietas en el área macrosísmica.
	20.000 personas quedaron sin vivienda.
	Testigos presenciales afirmaron haber visto actividad eruptiva en el volcán Chiles, hacia el lado occidental.
	Quedaron borrados los caminos.
	Se sintieron 20 temblores en 6 horas y un total de 55 en el día, de los cuales 12 fueron muy fuertes, en especial uno a las 18h. 25m. (13h. 25m. TU).
	Cerca de Tulcán aumenta el caudal de una fuente termal.
1926 12 18	Terremoto en la frontera Ecuador-Colombia, que nuevamente asoló las poblaciones que resultaron afectadas con el terremoto de 1923.
	En esta ocasión se incrementa la actividad del volcán Galeras (cerca de Pasto) y entra en actividad el volcán Cumbal.
	Se sintieron 30 réplicas hasta el día 21.
	2 muertos y varios heridos.
	Criterios alarmistas sugirieron reubicar a la ciudad de Tulcán.
1929 07	Casas de sectores rurales de la provincia de Pichincha, destruidas

25	total o parcialmente.
	Graves daños en casas de cal y ladrillo. Afectadas seriamente las torres de las iglesias.
	Los mayores quebrantos se presentaron en la población de Murco, donde cayeron por completo 46 casas y las restantes quedaron en muy mal estado.
	Desde Tambillo la carretera sufrió serios efectos, a causa de los derrumbes y deterioro de los puentes.
	Se sintieron varias réplicas.
	8 muertos.
1938 08 10	Terremoto en el Valle de los Chillos.
	El área macrosísmica estuvo circunscrita a un sector relativamente reducido del valle.
	Muchas casas de ladrillo resultaron con
	Daños severos y muchas casas de adobe se destruyeron por completo.
	Al ser una zona prolífera en aguas termales, en algunos lugares brotaron nuevas fuentes, otras aumentaron o disminuyeron su caudal o desaparecieron.
	Grandes y abundantes grietas en el terreno
	Deslizamientos en cerros y taludes.
	Ruidos subterráneos.
	Se produjo un levantamiento vertical del terreno y luego un asentamiento.
	Quedó flotando en el ambiente un olor a azufre, en especial en la zona de El Tingo.
	Se sintieron leves temblores premonitores y un gran número de réplicas, algunas de regular intensidad.
1942 05 14	Terremoto cuyos efectos se extendieron a la mayor parte de las provincias de la Costa y dos de la Sierra.
	Daños en Manabí, Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Bolívar e Imbabura. En otras provincias los efectos fueron de poca magnitud.
	El sismo que tuvo su epicentro en la Costa fue sentido hasta la Región Oriental por el Este y en poblaciones fronterizas de Colombia, por el Norte.

	Dstrucción de edificios y viviendas en la Costa. Cuarteamientos serios en paredes y cubiertas.
	Grietas en el terreno, especialmente en Socote, donde brotó una especie de lava amarilla". En Naranjal, de otra grieta, vertió "un líquido espumoso".
	Más de 200 muertos. Los heridos se contaron por centenares.
	Las pérdidas materiales fueron cuantiosas, en especial en Guayaquil.
	Se registraron muchas réplicas, varias de las cuales fueron sentidas.
	El Observatorio Astronómico reportó haber registrado "más de 1200 sismos en 90 días", en su gran mayoría réplicas de este terremoto.
1949 08 05	Gran terremoto de Pelileo, ciudad que fue totalmente destruida.
	Ambato en escombros.
	Dstrucción casi total de muchas poblaciones de las provincias de Tungurahua y Cotopaxi. Graves daños en localidades de las provincias de Chimborazo y Bolívar.
	Grandes grietas en el terreno y derrumbes y deslizamientos voluminosos en montes y caminos de toda la región.
	Cambio del paisaje en muchos lugares.
	Licuefacciones especialmente en el sector de La Moya de Pelileo, donde tradicionalmente ha ocurrido el mismo fenómeno con otros terremotos, como el de Riobamba de 1797.
	Brotaron nuevas fuentes termales y otras modificaron sus caudales, la temperatura, desaparecieron temporal o definitivamente.
	Millares de muertos y heridos.
	Gran cantidad de réplicas durante los meses subsiguientes.
	Las pérdidas materiales, tanto para el Estado como para la población fueron incalculables y las consecuencias socioeconómicas afectaron al país durante varios años.
	La destrucción de Pelileo fue tal, que se hizo necesario reconstruir la población en otro sitio, aunque con posterioridad se repobló el anterior lugar que en la actualidad lleva el nombre de Pelileo Viejo.
	El movimiento sísmico se sintió prácticamente en todo el país.
	Datos estadísticos reportados:
	Área afectada: 1920 km2. Muertos: 6000 (aproximado). Personas

	sin hogar: 100.000
	Mayor destrucción: Pelileo: 100% Píllaro: 90%
	Guano: 80% Ambato: 75% Carreteras: 407 km.
1953 12 12	Terremoto en la frontera Ecuador-Perú. Los mayores efectos ocurrieron en la provincia ecuatoriana de Loja, especialmente en la ciudad de Gonzanamá. Los demás cantones de la provincia sufrieron efectos en menor proporción, al igual que Guayaquil y otras localidades de la provincia del Guayas y El Oro.
	En la región NW. de Perú, varias ciudades y pueblos afrontaron efectos considerables. A las 16h. 33m. se sintió un sismo premonitor en la zona epicentral.
	Hubo un sismo premonitor en la zona epicentral. Se registraron gran cantidad de réplicas.
1955 07 20	Terremoto en la provincia de Imbabura y Norte de Pichincha. Daños de menor cuantía en poblaciones de la provincia del Carchi. Muchas viviendas (especialmente rurales) resultaron destruidas por completo y gran cantidad de las que quedaron en pie, eran inhabitables. Serios cuarteamientos en muchas otras de diversa calidad de construcción.
	Gran cantidad de deslizamientos de cerros y taludes, especialmente en las carreteras Atuntaqui-Cotacachi, Cotacachi-Intag y Otavalo-Cotacachi. Iguales efectos en todo el recorrido del río Ambuquí y sus quebradas afluentes y en el río Blanco, que quedó represado y cuyo desfogue causó daños en la planta eléctrica de Otavalo.
	En el contorno de la laguna de Cuicocha, se produjeron 65 deslizamientos, siendo los de mayor magnitud, los que se localizaron en el flanco occidental.
	A causa de los deslizamientos subió el nivel del agua en más de 10 m. y se reportaron 6 desaparecidos.
	Grietas de considerable ancho en el terreno en varios puntos de la zona epicentral.
	Aproximadamente 20 muertos y varios heridos.
	Muchas réplicas sentidas, hasta una semana después del evento principal. Fueron especialmente frecuentes en el sector de La Aguada, Apuela y sectores aledaños.
1958 01 19	Terremoto destructor en Esmeraldas. Colapso total de casas antiguas y parciales de construcciones nuevas y edificios.
	CuarTEAMIENTOS en edificios.
	Grietas de alguna consideración en calles de tierra. Derrumbes y deslizamientos en cerros y taludes, interrumpen varios caminos.

	Los efectos se extendieron a la provincia de Imbabura y al departamento de Nariño, Colombia.
	Tsunami arrasa 4 cuadras de la ciudad de Esmeraldas y destruye varios barcos.
	Se reportaron muertos en varias localidades, a causa del terremoto y el tsunami.
1964 05 19	Sismo fuerte con epicentro en la provincia de Manabí, donde varias poblaciones resultaron muy afectadas.
	Sentido con fuerza en toda la Región Costa. También fue fuerte en la parte Norte y centro del valle Interandino.
1970 12 10	Terremoto con epicentro en la costa Norte del Perú, con serios efectos en el Sur del Ecuador, en especial en las provincias de Loja y El Oro, además de los departamentos fronterizos peruanos.
	Varias cabeceras cantonales y parroquias de Loja quedaron destruidas casi completamente. Cayeron casas y templos hasta los cimientos. Edificios de buena calidad semidestruidos o seriamente afectados.
	Grandes grietas y deslizamientos de taludes y laderas, interrumpen muchas carreteras en Loja.
	Pequeñas licuefacciones. Poblaciones costaneras de la provincia de El Oro y el Golfo de Guayaquil, reportaron la generación de un tsunami de poca magnitud.
	Aproximadamente 40 muertos y casi un millar de heridos, sumados entre Ecuador y Perú.
	Las pérdidas materiales fueron cuantiosas y el impacto socioeconómico incalculable.
1987 03 06	Gran terremoto de la provincia de Napo, donde se presentaron los efectos más severos.
	También hubo serios daños en ciudades y poblaciones de las provincias de Sucumbíos, Imbabura, Pichincha y el este del Carchi.
	Destrucción de varios tramos del oleoducto Trans-Ecuatoriano, que obligó a la suspensión del bombeo de petróleo por varios meses, con serios efectos en la economía nacional.
	Destrucción de carreteras y puentes. Muchos pueblos quedaron aislados.
	Colapso total de muchas casas, especialmente en el sector rural. Gran cantidad de casas sufrió destrucción parcial. Daños de consideración en templos coloniales, en Quito y otras ciudades de la provincia de Imbabura.

	Grandes deslizamientos de tierra en taludes de carreteras y laderas de montes en la Región Oriental, destruyendo casas, sembríos, etc.
	Gran cantidad de muertos y desaparecidos.
1995 10 02	Terremoto con epicentro en una zona despoblada de la cordillera de Cutucú. Grietas y deslizamientos de tierra.
	Daños de consideración en Macas, Sucúa, Méndez y aldeas de la región. Colapso del puente del río Upano en Macas.
1998 08 04	Terremoto de severas consecuencias en la provincia de Manabí. Gran destrucción de edificios en Bahía de Caráquez. Daños graves en Canoa, San Vicente y localidades cercanas. En otras ciudades de Manabí los daños fueron de menor proporción.

Fuente: IG – EPN, 2010 – 2013

Elaborado por : Edison Jairo Narváez Changuan

Del cuadro anterior se puede extraer los siguientes datos:

Cuadro 5- Resumen de ocurrencia de terremotos destructivos

Número total de terremotos destructivos	37
Periodo de años (1541 – 1999)	458
Promedio de sismos destructivos por año	0,08
Recurrencia de sismos destructivos (años)	12,37

Fuente: IG – EPN, 2010 – 2013

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

De estos datos se puede concluir que en promedio cada 12 años nuestro país ha tenido que soportar un terremoto destructor, pero en realidad los intervalos entre un sismo destructor y el siguiente han sido muy variables, siendo el mayor intervalo de 68 años (entre 1587 y 1645), y el menor intervalo de un día en agosto de 1868. Son también significativos los intervalos entre 1923 – 1929, en que ocurrieron cuatro terremotos de intensidad VIII, cuatro eventos de intensidad VII y dos de intensidad VI, que totalizan diez sismos importantes en 6 años.

Entre 1953 – 1964 se produjeron cinco terremotos de intensidad VIII, cinco de intensidad VII y cuatro de intensidad VI, con un total de 14 eventos importantes en 11 años. Estos periodos fueron verdaderamente nefastos para el país, especialmente en el año de 1968 y entre 1953 – 1964, ocurrieron en promedio más de un terremoto por año.

En un terremoto de intensidad VII, es difícil permanecer de pie. Los automovilistas sienten cómo se agita el piso. Los objetos colgantes vibran. Se rompen los muebles. Daños a construcciones tipo D, incluyendo grietas. Las chimeneas débiles se parten al nivel del techo. Se produce caída de yeso, de ladrillos sueltos, de piedras, de tejas, de cornisas, de parapetos sin apoyo y de ornamentos arquitectónicos. Se abren algunas grietas en las construcciones tipo C. Se observan olas en los estanques; el agua se enturbia con lodo. Hay derrumbes y aludes en los bancos de arena o grava. Tañen las campanas grandes. Los canales de irrigación quedan dañados. (Flores, 2011, págs. 142-146)

Los macrosismos de intensidad VII que han tenido lugar en nuestro territorio a partir de 1541 totalizan 47. Las pérdidas económicas resultantes de estos terremotos también son cuantiosas, con la particularidad de que para los damnificados es más complicado resarcirse de las pérdidas por cuanto, como se dijo, la gran mayoría es de bajos ingresos. También el daño que causan a los monumentos históricos en ocasiones es irreparable. No ocurre lo mismo con las pérdidas de vidas que con estos eventos solo representan un mínimo porcentaje del gran total.

Un terremoto de intensidad VI, es sentido por todos. Muchas personas se asustan y salen corriendo de sus casas. Se dificulta caminar. Las ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Adornos, libros, etc., caen de los estantes. Los cuadros se desprenden de las paredes. El mobiliario se mueve o cae. Se agrieta el yeso débil y las construcciones tipo D. Suenan las campanas pequeñas (iglesias, escuela). Los árboles y los arbustos se sacuden (visiblemente) o se escucha la agitación de sus ramas y hojas. (Flores, 2011, págs. 142-146)

Desde 1541 a la fecha, han ocurrido 50 sismos de estas características, incluyendo el sismo de Santa Rosa del Tejar de Imbabura del 8 de octubre de 2000, de magnitud 5,4. De todo lo dicho, concluimos que los terremotos pueden ocurrir indistintamente en cualquier momento y en cualquier región, esto fundamentalmente debido a que existen numerosas fuentes que pueden producir sismos, tal como se explicó anteriormente. La distribución de la intensidad de los efectos provocados por un terremoto nos muestra, que la distancia entre un sitio afectado y el sitio donde se ubica el epicentro del sismo; no es el único factor que debe ser tomado en cuenta para observar los efectos similares a los cercanos al epicentro.

Varios estudios que consideran el efecto de sitio permiten entender mejor esta situación. En estos estudios queda claro que en el entorno geológico en el que está asentada una comunidad o una infraestructura, es determinante en el resultado de los efectos de un terremoto, es decir la intensidad. En la historia del Ecuador se han producido varios eventos destructivos, entre los más recientes y que aún permanecen en la memoria de muchos ecuatorianos están los siguientes terremotos:

- a.- De Ambato 1949.
- b.- De Esmeraldas 1976.
- c.- De Reventador 1987.
- d.- De Macas 1995.
- e.- De Pujili 1996.
- f.- De Bahía de Caraquez 1998.

Todos ellos con graves secuelas sociales, psicológicas y económicas para la población de las regiones más afectadas.

Después del gran terremoto de Ambato, en 1951 se emitió el Código Nacional de la Construcción, en el cual se especifica las reglas para las construcciones sismo resistentes, sin embargo por muchas razones estas normas no son aplicadas. El uso del hormigón armado para la construcción de viviendas, en nuestro país tiene un gran desarrollo a partir de la década de los años 70. Este material combinado con otros materiales, presenta buenas características de resistencia a las fuerzas estáticas, sin embargo es un material poco elástico y cuando se sobrepasa su resistencia última; las edificaciones llegan en la mayoría de las veces a la destrucción total.

Este aspecto se pudo verificar claramente, durante los estudios técnicos realizados luego del sismo de Esmeraldas en abril de 1976, los efectos producidos por el sismo originaron que algunos edificios nuevos de hormigón armado sean afectados considerablemente, mientras que en edificaciones más antiguas, construidas con madera y cana guadua no sufrieron daños.

3.2.- Evolución Histórica del Monitoreo Sísmico en el Ecuador.

Figura 14- Distribución actual de la Red Sismógrafos (RENSING)



Fuente: www.EPN.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La historia de los primeros estudios relacionados con la geofísica en el Ecuador, va íntimamente ligada a la de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y en sus inicios, al Observatorio Astronómico de Quito, entidades que nacieron juntas, pero sin lazos de dependencia. En el siglo XIX, EPN fue cuna de las primeras investigaciones geológicas y vulcanológicas, y el Observatorio Astronómico de Quito fue la institución donde se inició el estudio de la sismología a nivel nacional.

Las primeras observaciones geofísicas que se realizaron en el Observatorio Astronómico, estuvieron dedicadas a la declinación magnética, pero también se orientaron a los eventos tectónicos; donde a más de datos meteorológicos, constan noticias sobre sismos sentidos en Quito reportados desde otros lugares de país. En esos primeros años, los instrumentos para las observaciones magnéticas que tenía el observatorio sirvieron para las primeras observaciones de sismos; pues la aguja se alteraba cuando ocurría un sismo local.

En el año 1900 el astrónomo francés Francisco Gonnesiat, gestiona la adquisición del instrumental sismológico para el Ecuador. Como resultado de esta iniciativa se

logró instalar la primera estación sísmica; que consistía de dos sismógrafos horizontales marca BoshOmori. En 1913 fuertes temblores que se sintieron en Azuay, Loja y Guayas, sirvieron de impulso para adquirir dos sismógrafos horizontales Mainka-Bosh, de gran calidad en su época, instalados en 1928.

Desde que entraron en funcionamiento las estaciones Mainka-Bosh se comenzaron en el Observatorio, a hacer determinaciones epicentrales, con la precisión que la técnica de la época permitía. En 1945 se instaló un Acelerógrafo Montana, gracias a un convenio de cooperación entre el OAQ y el COSAT and GeodeticSurvey de los Estados Unidos (USCGS).

En el año de 1988 el CODIGEM (Corporación de Desarrollo Geológico y Minero), con la cooperación italiana instalaron una red de 10 sensores para el volcán Guagua Pichincha. En el año 1983 se fundó el Instituto Geofísico de la EPN (IG-EPN), con la intención de concentrar los esfuerzos por estudiar los volcanes y paralelamente la actividad sísmica en el Ecuador.

La idea fue impulsada por el Dr. Minard Hall y varios estudiantes voluntarios de geología y electrónica que llegaron a ser parte de esta iniciativa, contando inicialmente con dos estaciones.

A partir de 1988, se instalan las primeras estaciones sísmicas con recepción en Quito; con doble propósito de vigilar la actividad tanto volcánica como tectónica en el país, por esta razón el valle interandino fue la primera zona en ser vigilada. Hasta 1992 se completaron pequeñas redes en los volcanes Guagua Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua. En el Cotacachi, Chimborazo, Cayambe y Antisana se instalaron una estación por volcán.

En la Costa, la vigilancia sísmica empezó en 1991 y hasta 1998 se completaron 6 estaciones regularmente repartidas a lo largo de la línea costera. En el Oriente han funcionado estaciones en tres sectores Palora, Tena y El Reventador, esta última a raíz de la reactivación de este volcán en el año 2002. Después de que se cerró el CODIGEM los equipos pasaron en comodato al IG-EPN en el año 1998, y sirvieron para reforzar la red ya existente en el volcán Guagua Pichincha.

La red de estaciones se aseguró dentro de lo que se denomina la Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico (RENSIG) y actualmente cubre un 70% del territorio continental del país, con estaciones ubicadas en la Costa, Sierra y Oriente; faltando cubrir la parte sur del Ecuador.

En la figura 14 se muestra la distribución de la RENSIG que actualmente cuenta con 17 estaciones de periodo corto, 6 estaciones de 5 segundos y 8 estaciones de banda ancha. Para la localización de eventos se utilizan también las estaciones sísmicas pertenecientes a los observatorios vulcanólogos.

Todas estas estaciones han sido incorporadas dentro de varios proyectos o convenios que hasta el momento se mantienen, como: La Red Mundial IRIS, Institut de Recherche pour le Développement (IRD de Francia), Servicio Geológico de Canadá, DIPECHO-CRS, USGS, Natural Resources of Canada, Japanese International Cooperation Agency (JICA de Japón) y OEA.

El sector insular de Las Islas Galápagos se encuentra con 5 estaciones sísmicas instaladas en las islas Fernandina (1 estación), Isabela (3 estaciones) y Bartolomé (1 estación). Adicionalmente en Santa Cruz está instalada 1 estación de banda ancha que es parte de la red mundial de estaciones sísmicas IRIS. La RENSIG emite reportes sísmicos para autoridades, medios de comunicación y población a partir de magnitudes iguales o superiores a 4 grados en la Escala de Richter, magnitud sobre la cual la mayoría de eventos son sentidos, o para eventos de magnitud menor que hayan sido percibidos por la población.

Por otro lado se realizan informes sísmicos sobre eventos de importancia ocurridos en el país o en países vecinos; cada año se realiza un informe de la actividad sísmica anual del país. A través de esta red el país cuenta con una base de datos sísmica continua e interrumpida desde 1988. Además, en colaboración con el CERESIS (Centro Regional de Sismología), el IG-EPN recopiló la información instrumental del Ecuador desde 1900 hasta 1990, y efectuó la base sísmica histórica desde 1541.

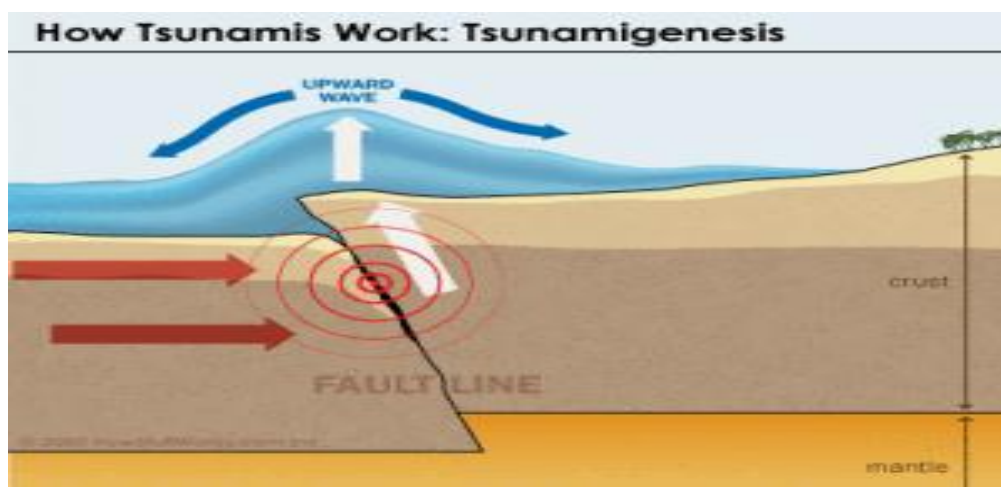
El conocimiento de la sismicidad de una localidad, región o país es necesario para todo cálculo o plan de mitigación de sus efectos y es fundamental para elaborar los códigos de la construcción y los escenarios sísmicos.

3.3.- Tsunamis en el Ecuador.

Los tsunamis son fenómenos marinos, aunque poco frecuentes, causan destrucción y pérdida de vidas humanas en las costas. Los tsunamis consisten en trenes de ondas de período largo que llegan a las costas a intervalos de 10 a 70 minutos. En Sanriku, Japón se tienen aguas profundas cerca de las costas, y batimetría desfavorable, como las bahías en forma de V o U, que concentran la energía hidráulica en sus vértices interiores; como un medio embudo y alcanzan grandes alturas. En cambio en alta mar, la altura de ola es de apenas unos decímetros y la separación entre cresta y cresta, llamado longitud de onda (L), que puede tener desde varias decenas de kilómetros hasta unos 200 km, pasa inadvertida por los navegantes. (H Kuroiwa, 2011, pág. 24)

Como se infiere de esta cita, las ondas marinas no son percibidas a bordo de las embarcaciones que se encuentran mar adentro en aguas profundas, pero mientras más se acercan a las costas aumentan de tamaño, hasta alcanzar alturas que pueden superar los treinta metros (casos excepcionales), causando severos daños en las zonas costeras. En la figura 15 se esquematiza como el tsunami llega a las zonas costeras.

Figura 15- Comportamiento de un Tsunami



Fuente: <http://fbblueplanet.blogspot.com>
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 16- Tsunami zonas costeras



Fuente: <http://jfbblueplanet.blogspot.com>
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La magnitud de un tsunami generado por un sismo, depende de varios factores como: las características de la ruptura del terremoto, la configuración del perfil costero, el relieve de la fosa marina y las características del avance de la onda. Estas ondas no tienen relación con las mareas o con las olas producidas por el viento, que cuando son intensas se llaman marejadas.

Los tsunamis se pueden estimar, tomando en cuenta los factores mencionados, como el epicentro y la magnitud del terremoto y como se conoce la velocidad a la que viajan las ondas, es posible anunciar la intensidad y la hora aproximada con la que puede llegar a la costa. El tiempo que demora en llegar la ola marina a la costa depende de la distancia entre el epicentro y la costa, pudiendo ser desde unos pocos minutos hasta en caso de sismos lejanos.

A veces es fácil anticipar, si luego de un sismo en la costa se va a producir un tsunami; pues suele ocurrir que el mar se retira como si bajara rápidamente la marea, con distancias superiores a mareas bajas normales, a tal punto que en ocasiones han quedado peces en la orilla. A partir del año 1900 han ocurrido más de dos mil tsunamis en las costas del Océano Pacífico, la mayoría de las cuales no han tenido efectos graves, pero unos pocos han causado gran destrucción. Por lo menos un 30% del total han ocurrido en la costa de Japón y un 10% en Sudamérica.

Las costas ecuatorianas no han estado exentas de estos fenómenos naturales. En el siguiente cuadro, se muestra un resumen de los tsunamis registrados en el Ecuador.

Cuadro 6- Tsunamis que afectaron al Ecuador, relacionados con los terremotos de subducción cercanos al Ecuador

No.	FECHA	EPICENTRO		ZONA DE AFECTACION
	Ano/mes día	Lat.	Lon.	
1	1896 05 03	-0,5	80,45	Bahía, Manta
2	1906 01 31	1	81,3	Esmeraldas, Costa de Colombia
3	1933 10 02	-2	-81	Península de Santa Elena
4	1953 12 12	-4	-81	Santa Elena, Costa del Perú
5	1958 01 19	1,22	79,37	Esmeraldas, Salina, El Collao (Perú)
6	1970 12 10	-3,79	80,66	Guayaquil, costa de El Oro
7	1976 04 09	0,85	-79,63	Esmeraldas
8	1979 12 12	2	-78,9	Costas norte del Ecuador y sur de Colombia

Fuente: Tomada del Catálogo de Terremotos del Ecuador- Intensidades, Escuela Politécnica Nacional- Instituto Geofísico.

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Latitud = Lat: + = Norte, - = Sur

Longitud= Lon: + = Este, - = Oeste

Debe recalcar la dificultad de encontrar datos relativos a la ocurrencia de estos fenómenos antes de 1896; debido a la poca población que se encontraba a la zona costera. Sin embargo, es importante aclarar que debieron haberse producido muchos eventos a lo largo de la historia, que lamentablemente no han sido identificados. De los sismos que han producido tsunamis, el que mayor cantidad de daños causó fue el de 1979 con graves afectaciones a la ciudad de Tumaco en el sur de Colombia.

3.4.- Sismicidad en el Ecuador.

Nuestro país está ubicado en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, que es una de las zonas de mayor actividad geológica y sísmica en el mundo, donde se han generado grandes desastres naturales como terremotos y erupciones volcánicas. En el cinturón Nazca, genera una alta sismicidad en su recorrido, *buzamiento*, hacia el circunpácifico y concretamente en el Ecuador, el proceso de subducción de la placa de Este. Por este proceso en la costa ecuatoriana, tienen un hipocentro superficial y en la región oriental los eventos sísmicos asociados con la subducción pueden tener profundidades focales mayores a 200 km. (Silva Estrella, 2005, pág. 1)

Además de la actividad sísmica asociada a la zona de subducción, existen sismos que se generan por la activación de fallas geológicas locales. El sismo que afectó a Bahía de Caráquez el 4 de agosto de 1998, tiene su origen en la *zona de subducción*, en cambio el sismo del 2 de octubre de 1995, que causó el colapso del puente sobre el río Upano tiene su origen en una *zona de fallamiento local*.

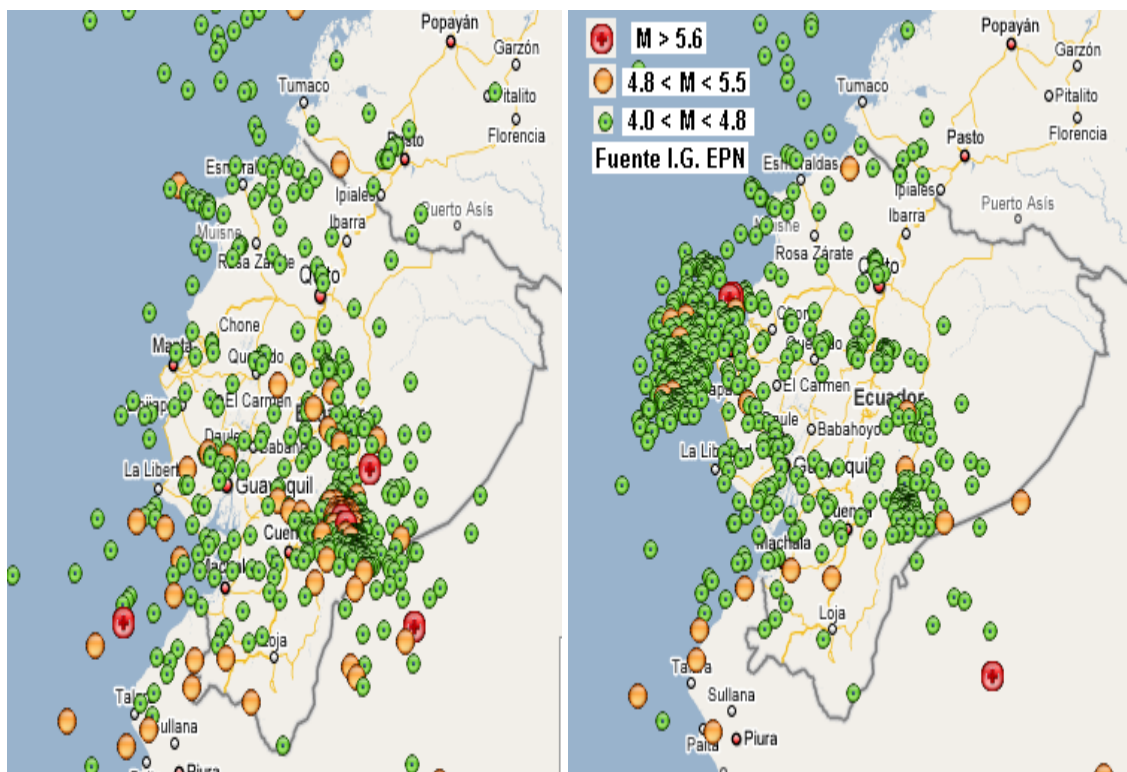
Por otra parte, es importante destacar que el buzamiento de la zona de subducción del sur del Perú, es diferente del buzamiento que se tiene en el centro y sur del Ecuador y a su vez es diferente del que se tiene en Colombia.

Por lo general los sismos superficiales son los que causan mayor daño. Por este motivo, se puede indicar que la Costa Ecuatoriana es la de mayor *peligrosidad sísmica*, seguida por la Sierra y finalmente el Oriente. Por lo tanto, desde el punto de vista sísmico no es lo mismo construir en la ciudad de Esmeraldas, donde la peligrosidad sísmica es muy grande que en el Tena que tiene una menor *amenaza sísmica*.

Al analizar la ubicación de los epicentros e hipocentros de los sismos registrados, se observa que existen zonas en las cuales la actividad sísmica es muy baja, como la región oriental y otras regiones donde existe una alta concentración denominada *nidos sísmicos*.

En el Ecuador, existen dos nidos sísmicos localizados el uno en el sector del Puyo y el otro en Galápagos. El *Nido del Puyo*, ubicado alrededor de las coordenadas 1.7 Latitud Sur y 77.8 Longitud Oeste, se caracteriza principalmente por un predominio de sismos de magnitud entre 4.0 y 4.9 con profundidades focales mayores a 100 kilómetros. El *Nido de Galápagos*, ubicado por las coordenadas 0.30' de Latitud Sur y 91 Longitud Oeste tuvo una gran actividad sísmica entre el 11 y 23 de Junio de 1968. (Pupo Sanabria, 2013, pág. 12)

Figura 17- Epicentros con magnitud mayor a 4 registrados en 1995 y 1998 (I.G.EPN)

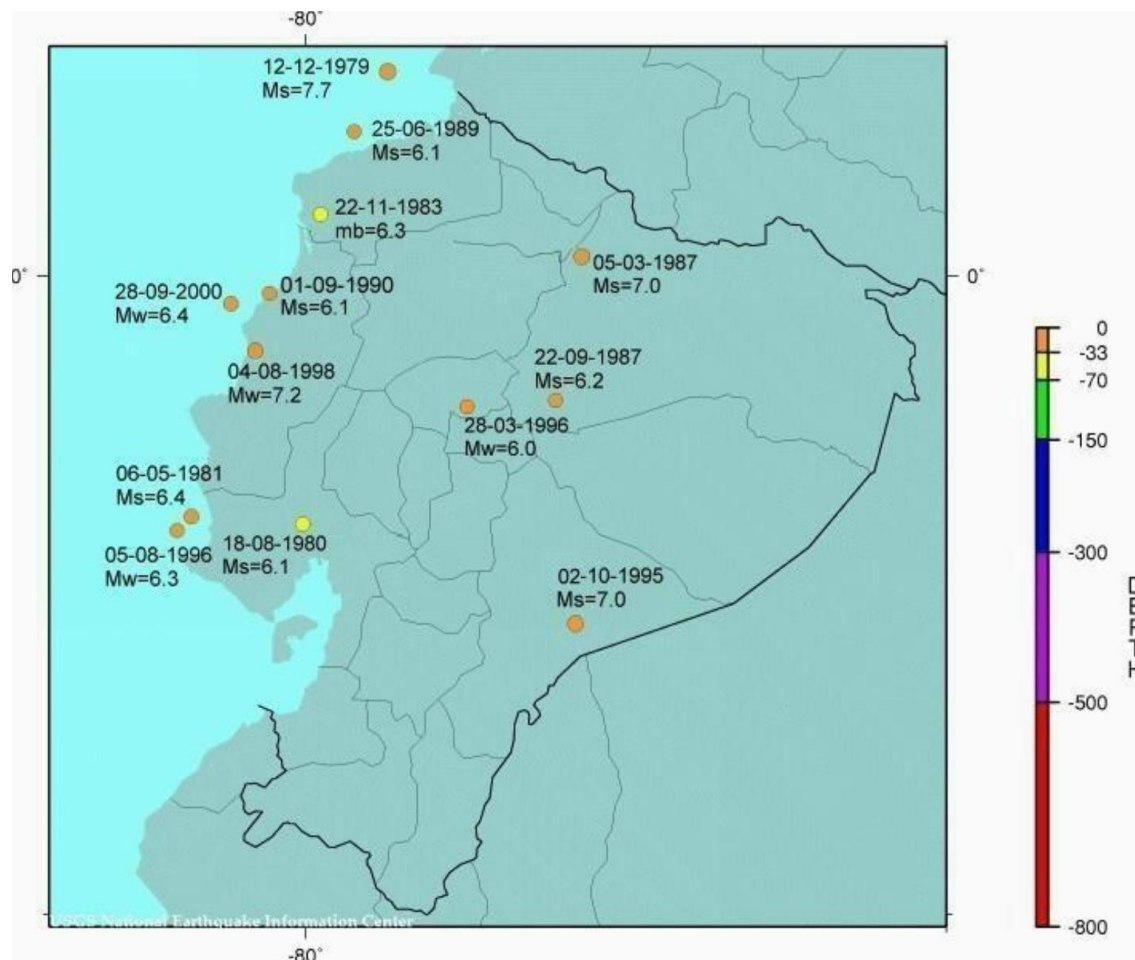


Fuente: www.andes.info.ec

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En la figura 17 Se observa a la izquierda la actividad sísmica en el Ecuador en 1995 y a la derecha en 1998. En 1995, se aprecia una gran actividad en la región sur oriental, donde se dio el sismo de Macas. En cambio en 1998 se tiene una gran actividad frente a la costa de Bahía de Caráquez.

Figura 18 -Sismos superficiales con magnitud mayor a 6.0 registrados entre 1977 y 2007

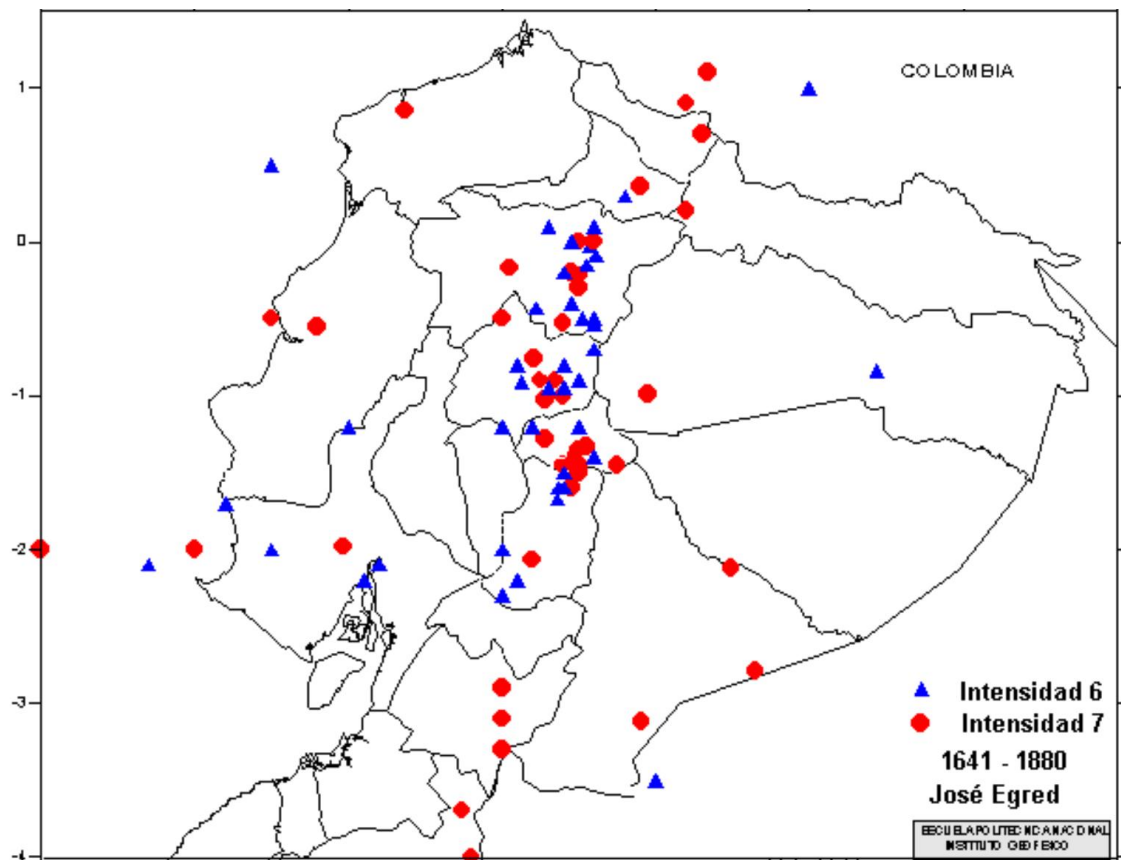


Fuente: www.andes.info.ec

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En la figura 18. Se aprecian los sismos superficiales con magnitud mayor a 6.0 que se han registrado en el Ecuador entre 1977 y el 2007, se aprecia que en las provincias de la sierra ecuatoriana prácticamente no se han registrado sismos fuertes, en estos 30 años. Esto es una alerta que debe llevar a la reflexión de que a lo mejor se está acumulando energía y que probablemente en un futuro cercano se tenga un sismo muy fuerte ya que históricamente la sierra se ha visto afectada por sismos severos como el de 1797 que causó gran daño en la antigua ciudad de Riobamba, el de 1868 que destruyó la ciudad de Ibarra y las ciudades vecinas. Los sismos históricos a los que se hacen referencia y otros terremotos catastróficos se indican en la figura 19, donde se presentan los epicentros de los sismos con Intensidades, en la escala de Mercalli, mayores a VI, registrados entre 1641 y 1880.

Figura 19- Principales terremotos registrados entre 1641 y 1880 con intensidad mayor a 6.



Fuente: www.andes.info.ec

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

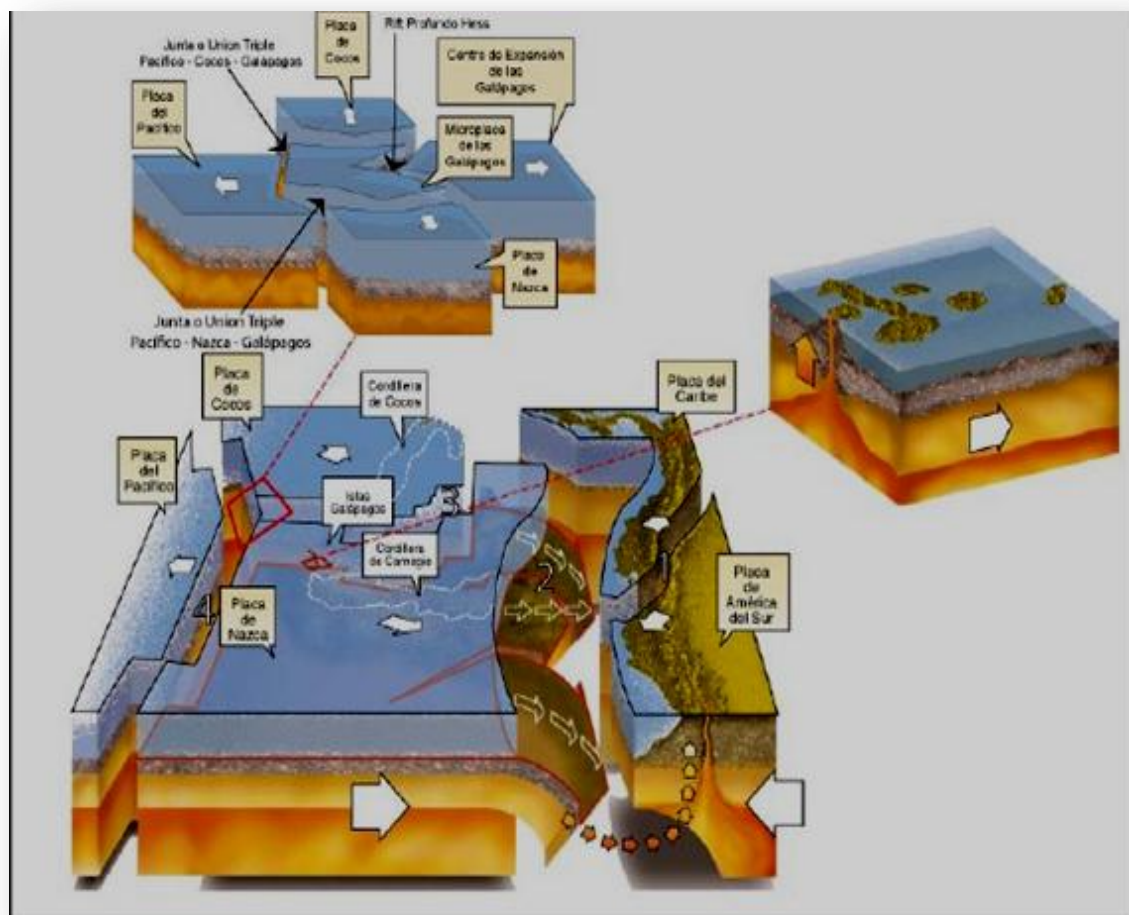
3.5.- Geodinámica de la Peligrosidad Sísmica del Ecuador.

La tectónica de placas que se tiene frente a la costa ecuatoriana, es una de las más complejas del mundo, lo que provoca que la zona de subducción en el Ecuador no sea uniforme como se aprecia en la figura 3. El movimiento de la placa de Nazca contra las placas de América del Sur y la placa del Caribe ha generado la mega falla Guayaquil – Caracas que es una falla transcurrentedextral. Toulkeridis (2009) lo ha identificado con el número 1, en la figura 20. Se estima que el movimiento de esta falla es de 3 a 4.5 mm/año Winter et al. (1993), sin embargo existen otros estudios en que indican que el movimiento es de 15 mm/año para la parte norte de Ecuador y de 13 mm/año para la parte sur de Colombia. (Aguilar, 2009, págs. 6-10)

Con el número 2 en la figura 20, se indica la subducción de la placa oceánica de Nazca con una tasa de 58 ± 2 mm/año. En el siglo XX, se registraron cuatro grandes sismos en este segmento del Ecuador y son los sismos de 1906 ($M_w = 8.8$), 1942 ($M_w = 7.8$), 1958 ($M_w = 7.7$) y del 1979 ($M_w = 8.2$). Más adelante se va a hablar un poco más sobre estos sismos, lo único que se destaca por ahora es que el ángulo de subducción es diferente en la costa ecuatoriana.

En la figura 20 y con el número 3, Toulkeridis (2009) hace referencia a Cresta de Carnegie, que es una cordillera submarina que se originó en el punto caliente de Galápagos y que se está expandiendo hasta llegar a la fosa ecuatoriana. Se supone que debido a este movimiento tectónico hay una reducción de la sismicidad en la región interandina.

Figura 20 -Geodinámica de la Peligrosidad Sísmica del Ecuador



Fuente: bifea.revues.org

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

3.6.- Peligro Sísmico del Ecuador y efectos sísmicos locales.

Se define como Peligrosidad Sísmica la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, movimientos del suelo cuyos parámetros: aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. Para la evaluación se deben analizar los fenómenos que se producen desde el hipocentro hasta el sitio de interés. Para el diseño sísmico de estructuras, fundamentalmente se necesita conocer cuál es la aceleración máxima del suelo que se espera en la zona que se va a implantar el proyecto durante la vida útil de la estructura. Si adicionalmente, se pueden establecer los otros parámetros indicados anteriormente u otros adicionales como el tiempo y contenido de frecuencias, que de alguna forma se está incorporando en los estudios de peligrosidad sísmica. (Aguilar, 2009, págs. 12-14)

CAPÍTULO IV

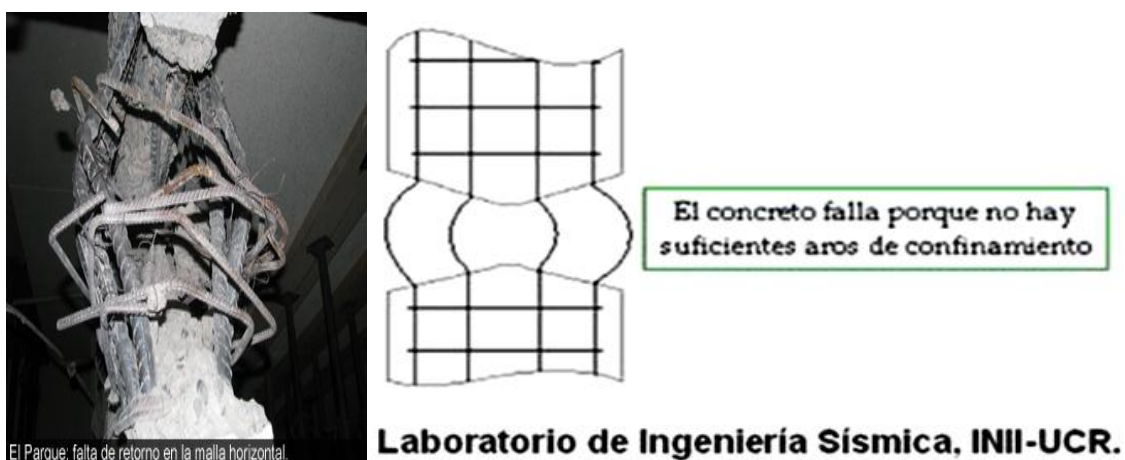
4.- Daños más frecuentes durante los terremotos.

4.1.- Daños Estructurales.

El daño sísmico estructural es el que sufren las vigas, las columnas, las losas o las cimentaciones durante un sismo. Es decir, es el deterioro de aquellos elementos o componentes que forman parte del sistema resistente o estructural de la edificación. El nivel de daño estructural que sufrirá una edificación depende tanto del comportamiento global como del comportamiento local de la estructura. Está relacionado con los tipos y la calidad de los materiales que se utilizan, sus características, su configuración, el esquema resistente y con las cargas que actúan. Algunos problemas en el diseño de edificios tienen que ver con la configuración geométrica y estructural, esta última se refiere al tipo, disposición, fragmentación, resistencia y geometría de la edificación. Es decir, si el edificio se aleja de formas y esquemas estructurales simples hace que estas tengan un comportamiento inestable ante sismos. Además, resultan ser estructuras difíciles de modelar en la etapa de diseño y muchas veces presentan dificultades de construcción.

4.1.1.- Daños por Armadura de Confinamiento.

Figura 21- Daños por armadura de Confinamiento



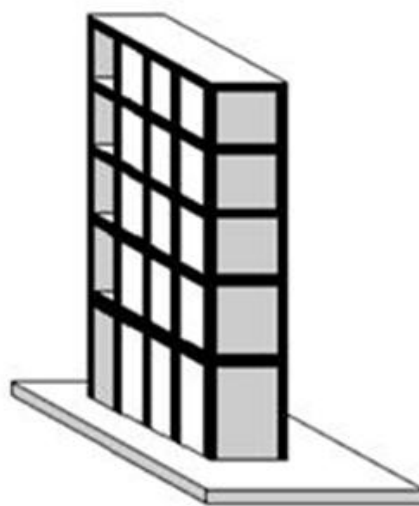
Fuente: ciperchile.cl

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En la figura 21. izquierda se observa un muro de corte en la cual la armadura horizontal está bastante espaciada, como consecuencia de esto se ha presentado el pandeo de las barras longitudinales. Esta es la Falla de Confinamiento. El refuerzo horizontal confina al elemento y eleva la resistencia del hormigón y la capacidad al corte, de ahí que se debe colocar como mínimo la armadura horizontal estipulada en las normativas sísmicas. En la figura 21. derecha se aprecia la falta de confinamiento del hormigón en columnas se produce cuando se utilizan pocos o ningún estribo de confinamiento del hormigón, por lo que el núcleo de los elementos sometidos a flexo compresión fallan en forma explosiva.

4.1.2.- Daños por Piso Blando.

Figura 22- Daños por piso Blando. Sismo de Chile de 2010



© Laboratorio de Ingeniería Sísmica, INII-UCR.

Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En la figura 22. izquierda se muestra una falla en un muro de corte por Piso Blando en un edificio de 21 pisos. Se denomina Piso Blando a aquellos edificios cuya planta baja es parqueadero de tal forma que solo existen los elementos verticales y en los pisos superiores es vivienda con mampostería armada o no pero lo cierto es que la planta baja tiene menor rigidez que las plantas superiores; cuando debe ser lo contrario, las plantas inferiores deben ser más fuertes que las plantas superiores.

Son pisos donde los elementos estructurales verticales son interrumpidos, para ofrecer más espacio en ese piso o por razones arquitectónicas, generalmente en los niveles de acceso (Planta baja). Esto produce un debilitamiento de la rigidez de los elementos verticales en ese piso.

4.1.3.- Daños por Corte Cizalle en muros.

Figura 23- Daño por corte Cizalle en muros. Sismo de Chile de 2010



Fuente: www.lis.ucr.ac.cr

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En figura 23. se presenta la falla por deslizamiento: Corte – Cizalle en muros, que se da por el movimiento horizontal en las dos direcciones del muro, produciéndose la trituración del hormigón y luego el acero longitudinal se cizalla o pandea por el peso propio del muro. Lo más probable en este tipo de fallas es que la estructura fue diseñada con fuerzas sísmicas muy bajas.

4.1.4.- Daños por Voladizos.

Figura 24- Daños por voladizos. Sismo de Chile de 2010



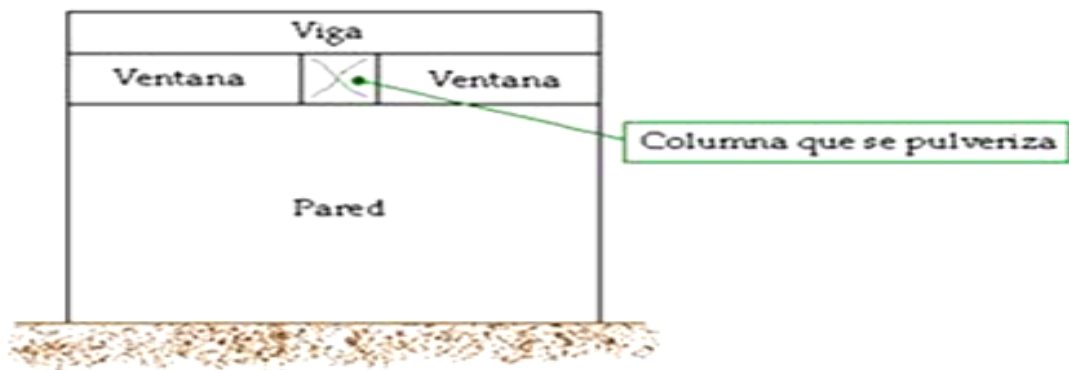
Fuente: a2estudio.es

Elaborado por Edison Jairo Narváez Changuan

Otra falla muy frecuente se da en edificios con grandes voladizos. Los volados flexibilizan a la estructura y el problema es más grave cuando se tienen vigas pérdidas en la losa en la zona donde está el voladizo.

4.1.5.- Daños por Columna Corta.

Figura 25- Daño por columna corta. Sismo de Perú de 2007



© Laboratorio de Ingeniería Sísmica, INII-UCR

Fuente: www.scielo.org.ve

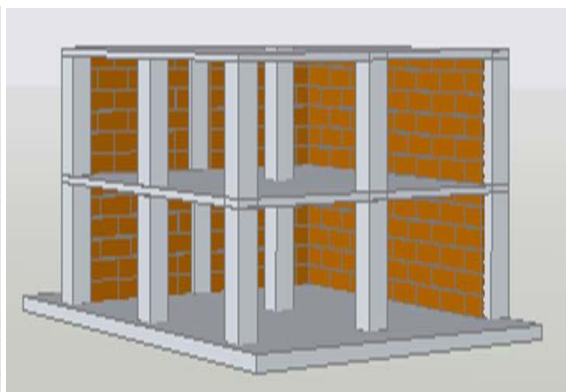
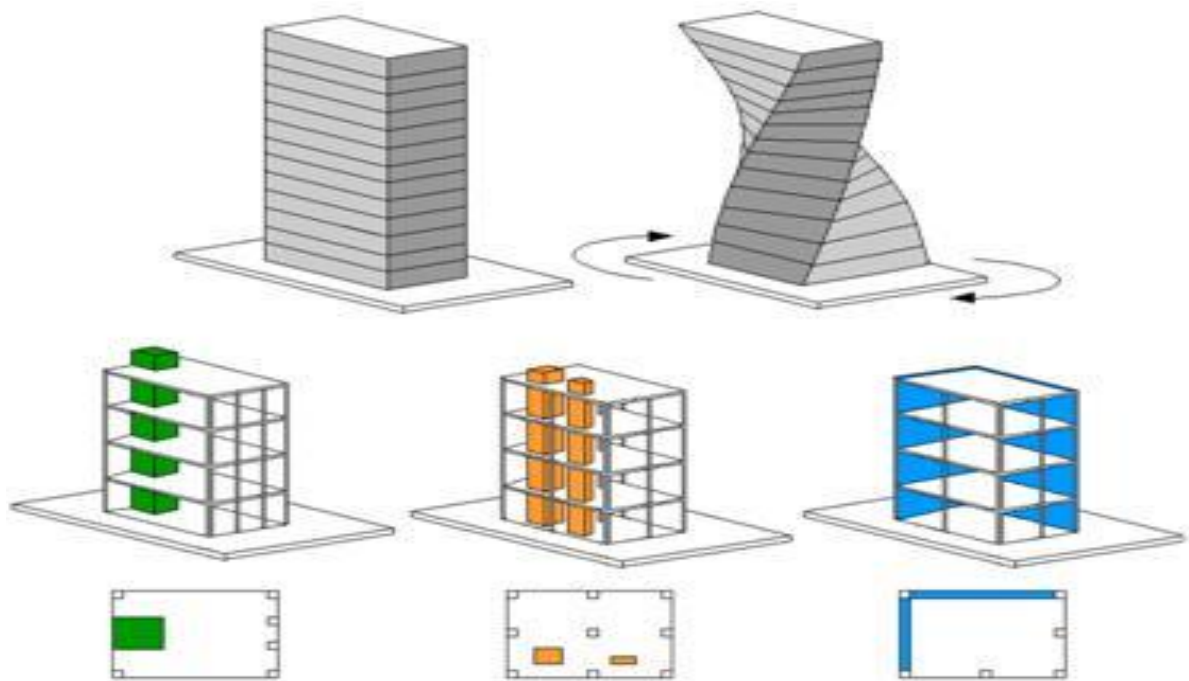
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La falla denominada Columna Corta se presenta en Escuelas o Colegios en los cuales se tienen grandes paredes y una pequeña ventana en la parte superior como se observa a la izquierda de la figura 25. pero en este caso es un Centro de Salud; sea h la altura de la ventana y H la altura total del piso. La estructura es muy vulnerable si $h < H / 4$, como en el caso de la figura 25. derecha en que se aprecia que la viga al moverse en sentido longitudinal rompe a la columna (falla de corte).

Las fuerzas sísmicas se distribuyen proporcionalmente a la rigidez y resistencia de los elementos estructurales verticales. Entonces, si la rigidez de las columnas o paredes que soportan la estructura sufre un cambio brusco ya sea por confinamiento de las paredes hasta cierta altura de los marcos, por desniveles del terreno, por nivel intermedio entre dos pisos, se concentrarán los esfuerzos y se acumulará energía en el piso más débil, dado que el nivel donde se interrumpen los elementos verticales es más flexible que los demás, lo que permite que se produzca un problema de estabilidad.

4.1.6.- Daños por Edificio Abierto.

Figura 26 - Daños por edificio abierto. Sismo de Perú 2007



Fuente: www.mapfre.com

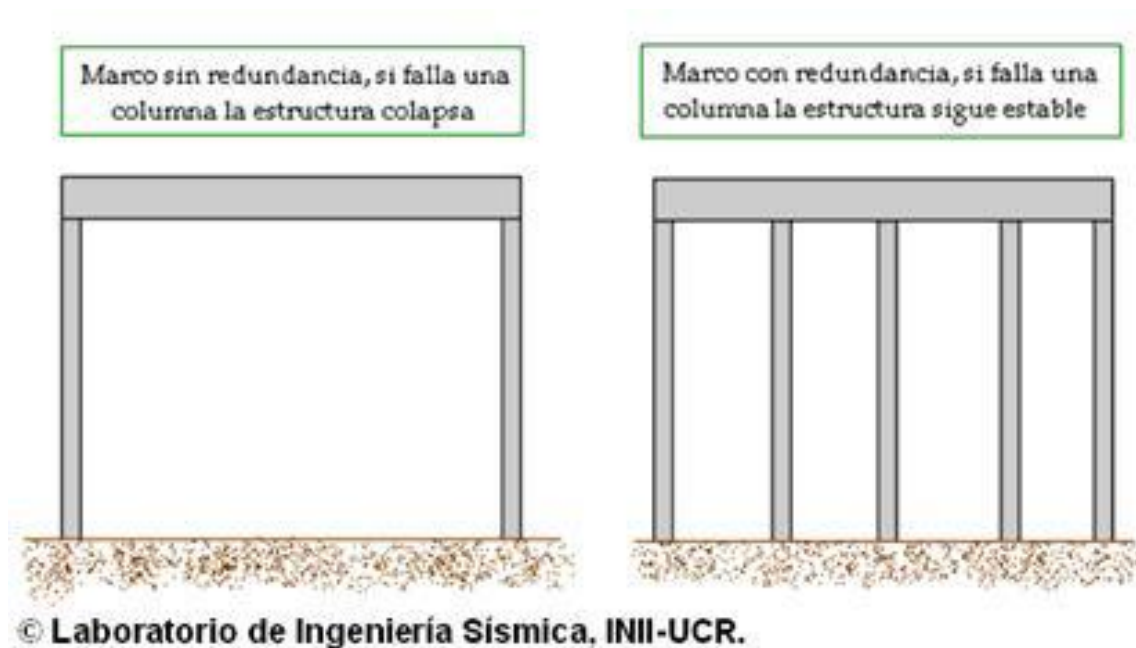
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Abajo a lado izquierdo de la figura 26. se tiene la falla llamada Edificio Abierto. Esta se da en edificios esquineros cuyas paredes laterales se encuentran adosadas a las construcciones medianeras, creándose pórticos muy fuertes en los extremos por la presencia de la mampostería y pórticos muy débiles en las fachadas ya que normalmente tienen solo ventanas. El daño se produce en los pórticos débiles por torsión en planta.

La torsión entre pisos se produce por la excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez en un piso, debido a que los elementos rígidos están colocados de manera asimétrica en un piso (ductos de elevadores), o a la colocación de grandes masas en forma asimétrica respecto al centro de masa. Generalmente se produce en edificios de esquina, debido a la gran rigidez que presentan los muros de colindancia, pero basta con que se excedan ciertos límites de excentricidad (una mala distribución de la rigidez lateral) para que se produzcan efectos negativos de la torsión.

4.1.7.- Daños por Pocas Líneas Resistentes.

Figura 27- Daños por Pocas Líneas Resistentes



Fuente: www.mapfre.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 28- Daños por Pocas Líneas Resistentes. Sismo de Ecuador de 1998



Fuente: www.onlyforyoung.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En el sismo de Bahía de Caráquez dos edificios colapsaron, entre otras cosas, porque tenían muy pocas Líneas Resistentes. El que se muestra en la figura 28. es uno de ellos, tenía en total 9 columnas, menos mal que este quedó en pie luego del sismo y se pudo salvar vidas pero después se derrocó por el alto daño que tuvo. El otro edificio no tuvo la misma suerte y colapsó durante el sismo de 1998. Para que una estructura sea sismo resistente debe tener la mayor cantidad de columnas posibles, debe tener redundancia. Se debe buscar que la resistencia a fuerzas sísmicas dependa de varios elementos, puesto que si se cuenta con pocos elementos resistentes (falta de redundancia), la falla de uno de ellos provocará el colapso total o parcial de la estructura.

4.1.8.- Daños por Irregularidad en Elevación.

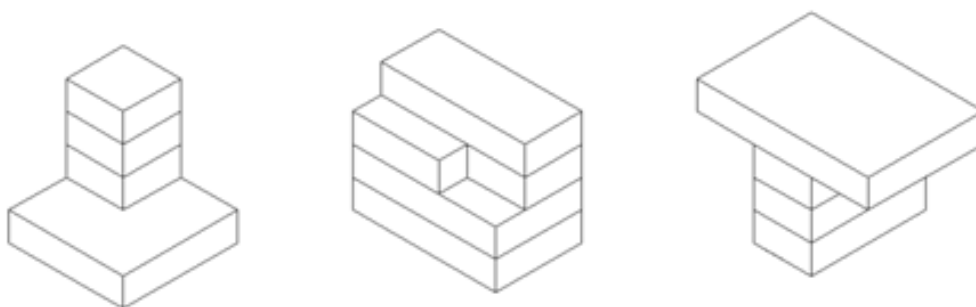
Figura 29 Daño por Irregularidad en elevación. Sismo de Ecuador de 1998



Fuente: www.onlyforyoung.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changua

Figura 30- Daños por irregularidad en elevación



Fuente: www.onlyforyoung.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En la figura 29. aparece un edificio irregular en elevación. Se aprecia que en el cuarto piso el área de construcción es menor a la de los pisos inferiores y la fotografía habla por sí sola. Este edificio también tuvo problemas de torsión en planta ya que era en forma de “L”. Lo mejor es que los edificios en elevación sean rectos, sin entrantes pero si con salientes.

Los escalonamientos en elevación se diseñan con el objetivo de resolver problemas de iluminación y de proporción, pero estos provocan un cambio abrupto en la rigidez y en la masa de los pisos, que propicia la concentración de esfuerzos producto de las acciones sísmicas. Son preferibles las transiciones suaves para evitar este fenómeno.

4.1.9.- Daños por Nudos.

Figura 31- Daños por nudos. Sismo de Haití de 2010



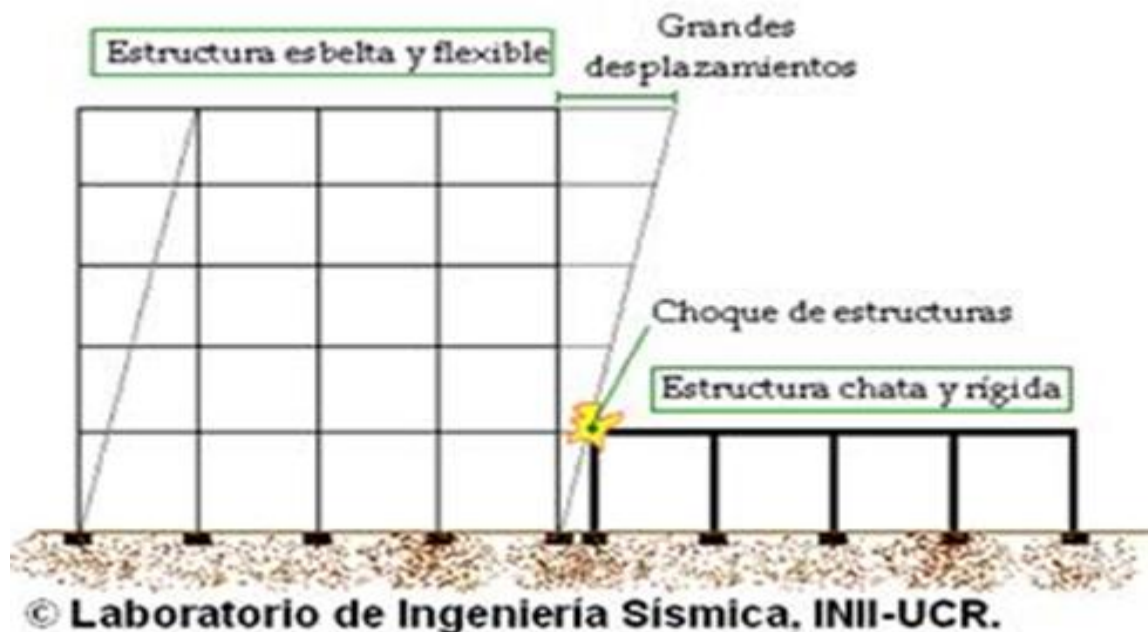
Fuente: ciperchile.cl.

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La falla de Nudos es otra de las frecuentes, en primer lugar porque no tiene las dimensiones adecuadas para que pueda soportar el cortante horizontal y vertical que llega al nudo durante el sismo y en segundo lugar porque les falta armadura de confinamiento en el nudo como se aprecia en la fotografía de la figura 31.

4.1.10.- Daños por Golpeteo de Edificios. Sismo de Haití de 2010

Figura 32- Daños por Golpeteo de Edificios.



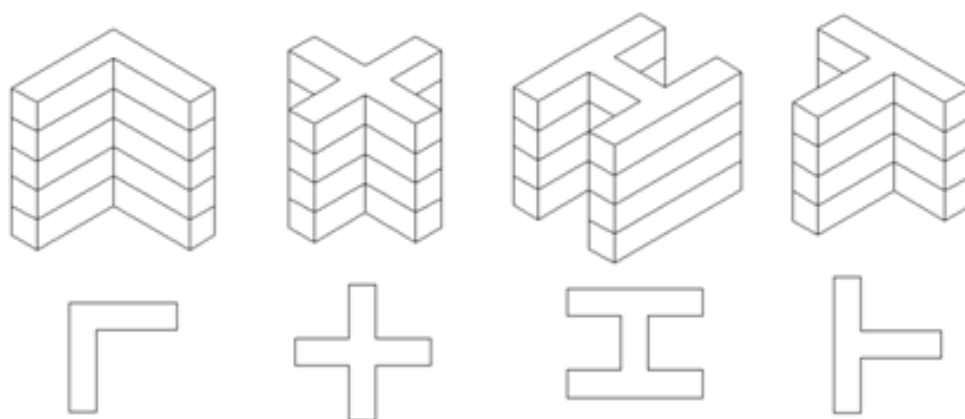
Fuente: web.ua.es
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

El Golpeteo de Edificios es otra falla frecuente que puede llevar al colapso a uno de ellos especialmente si se están golpeando dos estructuras de diferente altura y es más grave el problema si las losas de entrepiso no están a la misma altura.

Arriba de la figura 32. se presenta esta falla. En este caso la separación entre las dos estructuras aparentemente era la adecuada pero el colapso de la una está afectando a la otra. El desplazamiento relativo entre pisos (excesiva flexibilidad de los marcos) y dimensiones de juntas constructivas insuficientes, provoca daños en paredes de cerramiento por la excesiva flexibilidad de los marcos. Los desplazamientos laterales excesivos se deben a las grandes distancias entre los elementos de soporte (claros o luces), las alturas y las rigideces de los mismos. Se pueden tener como problemas: inestabilidad estructural y daños en elementos no estructurales adosados a niveles contiguos.

4.1.11.- Daños por Irregularidad en Planta.

Figura 33- Daños por Irregularidad en Planta. Sismo de Haití de 2010



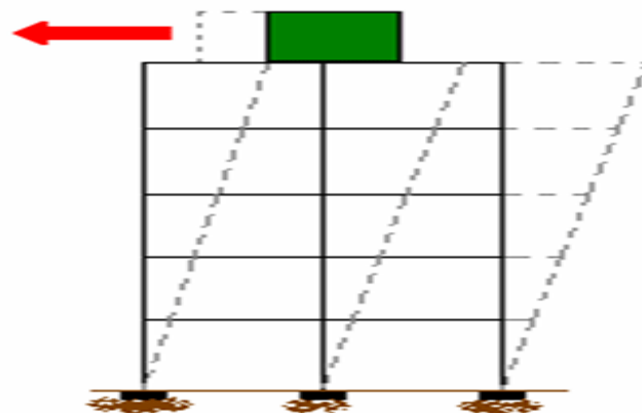
Fuente: www.adnpolitico.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Arriba de la figura 33. se muestra la falla Irregularidad en Planta. Es preferible que la estructura en planta tenga la forma de un cuadrado, si esto no es factible que sea rectangular con una relación de lado mayor a lado menor, que sea menor o igual a 2. Ahora bien si tiene salientes como en el caso de la fotografía es irregular en planta y se deben tomar las precauciones del caso para que esta no sufra daño. Esta configuración es típica de plantas compuestas por alas de significativa distancia que se orientan en distintas direcciones (por ejemplo en forma de X, H, o T). Esto provoca que se concentren esfuerzos entre el cuerpo principal y las alas, ya que estas trabajan como elementos empotrados en un cuerpo más rígido y propenso a sufrir menos deformaciones. La solución suele ser diseñar una junta constructiva entre las alas y el cuerpo central, que permiten que cada cuerpo se mueva sin estar atado al cuerpo principal.

4.1.12.- Daños por Pesos en Cubierta.

Figura 34- Daños por Pesos en Cubierta. Sismo de Haití de 2010



© Laboratorio de Ingeniería Sísmica, INII-UCR

Fuente: sismo24.cl

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Arriba de la figura 34 se observa una estructura en la cual en la cubierta han colocado elementos muy pesados, entre ellos aparece un gran tanque de agua, a esto se denomina Pesos en Cubierta. Un principio de diseño sísmico de estructuras establece que la masa debe ir disminuyendo conforme se sube en altura. En el caso de la fotografía el peso de la sobrecarga del último piso es mayor a la del piso inferior. Muy probablemente el calculista no consideró estas cargas en la cubierta. Las altas concentraciones de masa en niveles superiores, sucede que las fuerzas sísmicas son proporcionales a la masa, entonces si en un piso superior se concentran elementos como tanques de almacenamiento de agua, equipos, bodegas o archivos, las fuerzas sísmicas aumentan en ese nivel. Lo recomendable es colocar estos elementos pesados en el sótano o en sitios aledaños a la estructura principal.

4.1.13.- Daños por Calidad de Materiales.

Figura 35- Daño por calidad de materiales



Fuente: www.scielo.org.ve

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La calidad de los materiales es fundamental en toda estructura; si se tienen varillas lisas como se aprecia en la fotografía de la figura 35. y peor aún si en el agregado grueso se tiene material marino. Los materiales que utilizaron para el “hormigón” de la fotografía, es un caso aislado pero si es frecuente que se utiliza la arena de mar para preparar el hormigón sin un tratamiento previo como es lavar la arena. Entonces se debe velar para que los materiales que se utilicen en la construcción en general sean resistentes y tengan una ductilidad adecuada en el caso de las varillas de acero.

4.1.14.- Daños por Torres de Iglesias.

Figura 36- Daños por Torres de Iglesias



Fuente: skyalertblog.blogspot.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Las Torres de las Iglesias, que tienen algunos años de vida normalmente sufren serio daño o colapsan como se aprecia en la figura 36, lo propio sucede con elementos de la fachada que no están confinados. Pero no solo en las Iglesias existen paredes decorativas que están sueltas en la parte superior de las fachadas, también las hay en conjuntos habitacionales.

4.1.15.- Daños por Mampostería no Confinada.

Figura 37- Daños por Mampostería no Confinada. Sismo de Perú de 2007



Fuente: www.virtual.unal.edu.co

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Otra falla frecuente es la denominada Mampostería no Confinada que se aprecia en la figura 37. se nota que las paredes no están confinadas por columnetas sino que los ladrillos fueron trabados en sus intersecciones con el posterior daño de los mismos. Se recomienda que las paredes de las fachadas se encuentren dentro de los ejes de las columnas para que estén confinadas, caso contrario se debe construir columnetas. (Riostras).

4.1.16.- Daños por Péndulo Invertido.

Figura 38- Daños por Péndulo Invertido. Sismo de Perú de 2007



Fuente: servicios-edificacion.blogspot.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Péndulo Invertido, se da en estructuras conformadas por una sola columna y con una gran masa en su parte superior. El momento de volteo que existe en la parte superior es el que lleva al colapso de la estructura como se mira en la figura 38. Por esta razón cuando se realiza el análisis sísmico de este tipo de estructuras se debe considerar dos grados de libertad: el desplazamiento horizontal y el giro en el nudo.

4.1.17.- Daños por Gradas.

Figura 39- Daños por gradas. Sismo de Perú de 2007



Fuente: servicios-edificacion.blogspot.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La falla en Gradas es también frecuente cuando el espesor de la losa de la grada es menor a 10 cm., como se aprecia en la figura 39. también se aprecia que el volumen de la grada viene dado por los escalones pero no por la losa que los soporta.

4.1.18.- Daños por Ampliaciones no Previstas.

Figura 40- Daños por ampliaciones no Previstas: Sismo de Perú de 2007



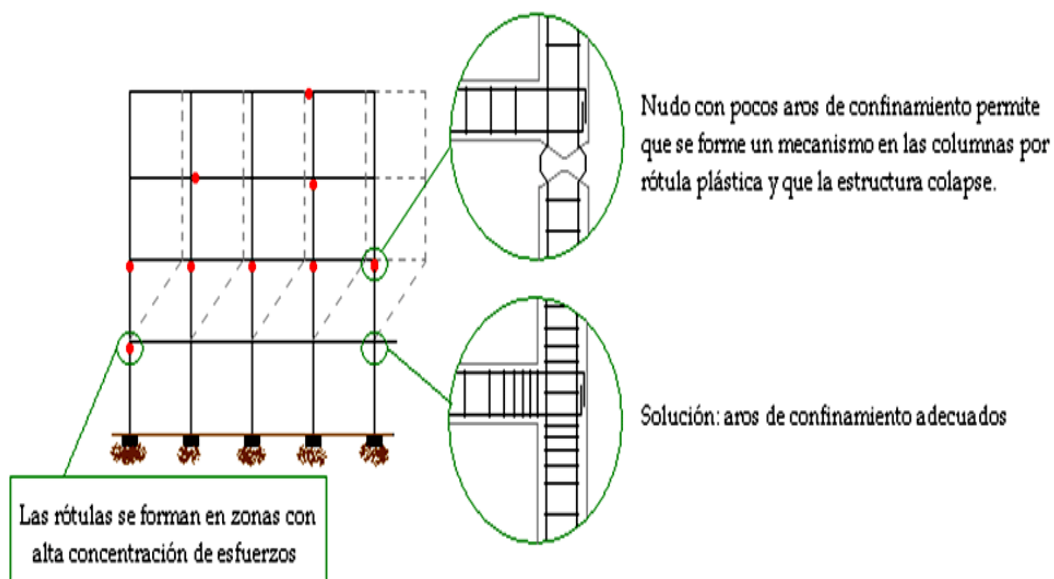
Fuente: servicios-edificacion.blogspot.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En figura 40. se muestra otra falla denominada Ampliaciones no Previstas. La estructura del cuarto piso fue una ampliación que se vino abajo durante el sismo y no solo eso sino que también causó daño en otras partes de la estructura. En el sismo que afectó al Eje Cafetero de Colombia en 1999 el mayor daño se registró en Armenia, en el barrio Brasilia donde cientos de casas de interés social colapsaron por que fueron diseñadas para soportar uno o dos pisos, con áreas de construcción pequeña las mismas que terminaron siendo de tres pisos, ya que la familia había crecido.

Si su casa o edificio presenta una de las fallas indicadas está muy a tiempo para ir donde un Ingeniero Estructural, para que luego de un análisis muy detallado proceda a reforzar su estructura.

4.1.19.- Daños por Menor Resistencia de Columnas que Vigas.

Figura 41- Daño por Menor Resistencia de Columnas que Vigas



© Laboratorio de Ingeniería Sísmica, INII-UCR

Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Si las columnas tienen menor resistencia que las vigas, las primeras fallarán primero lo que provoca que la estructura se vuelva un mecanismo y está colapse. La falla puede ser reparada si se da en las vigas.

4.2.- Daños No Estructurales.

El daño sísmico no estructural es el que sufren los elementos no estructurales (paredes livianas, vidrios, muebles, lámparas, etc.) por el efecto de un sismo. Es el deterioro físico de los componentes que no forman parte integral del sistema resistente o estructura de la edificación y que pueden ser arquitectónicos y electromecánicos, que cumplen funciones importantes dentro de las instalaciones, pero que igualmente se pueden ver afectados. Los componentes no estructurales pueden incidir o propiciar la ocurrencia de fallas estructurales o pueden modificar la respuesta de movimiento esperada según el diseño. Por ejemplo, si se adicionan escaleras, bloques o revestimientos pesados, se pueden introducir excentricidades y otros efectos de movimientos no deseados en el edificio. (Rivas Castaño, 2012, pág. 132)

Existen tres grandes efectos primarios de los elementos no estructurales en edificios:

4.2.1.- Efectos inerciales.

Cuando un edificio es movido durante un sismo, la base del mismo se desplaza de la misma forma que el terreno, pero el resto del edificio y su contenido sobre la base experimentarán fuerzas inerciales, de oposición al movimiento. Es decir, mientras que la estructura se mueve hacia un lado, todo lo que son muebles, lámparas, estantes, etc., van a oponerse a ese movimiento. El principio básico de las fuerzas inerciales sísmicas es la segunda Ley de Newton donde la fuerza es igual a la masa por la aceleración. Estas son mayores si la masa es mayor o si la aceleración o la severidad del movimiento es mayor. (Rivas Castaño, 2012, pág. 140)

Consecuentemente, los elementos no estructurales (paredes, enlucidos, revestimientos etc..) que pueden ser dañados o causar daño por las fuerzas inerciales son, entre otros: archivadores, equipo generador de energía, estantes de libros sin adosar o muebles. Por ejemplo, en la figura 43. se pudo ver la caída de objetos dentro de una casa que se encontraba sobre la falla que originó el terremoto de Kobe, Japón, en 1995. La casa se mantuvo en pie, a pesar de que la falla pasaba a unos metros cerca de esta. Sin embargo, observen la forma en que quedó el interior de la cocina.

Figura 42- Trazas de falla



Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 43- Terremoto



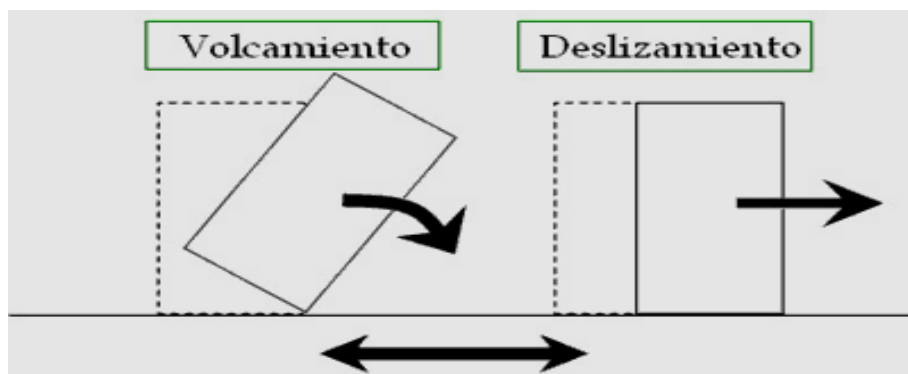
Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La traza de falla cerca de una vivienda en la isla Awaji durante el terremoto de Kobe de 1995. Como puede verse en la figura 42. la estructura se mantuvo en pie a pesar de la cercanía de la falla que si causó daños en la ciudad. En la figura 43. se ve el daño causado dentro de la cocina de la misma casa, producto de objetos sueltos, cuando elementos sin sujeción son movidos por un terremoto, las fuerzas inerciales pueden causar deslizamiento, oscilaciones y golpes con otros objetos o volcamiento, obstaculizándose el paso para el desalojo del edificio. Este es quizás

el principal problema de estos elementos, que pueden llegar a bloquear las salidas de emergencia. Un error común es pensar que los objetos grandes y pesados son estables y no tan vulnerables a los daños por sismos fuertes como los objetos livianos.

De hecho, muchos tipos de objetos pueden ser vulnerables al daño por sismo causado por fuerzas inerciales, debido a que estas son proporcionales a la masa o peso de un objeto.

Figura 44- Efecto de las fuerzas inerciales



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 45- Ejemplo de caída de estantes con libros pesados durante el terremoto del 22 de Abril de 1991



Fuente: Google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 46- Ejemplo de objetos pesados que pueden volcarse obstaculizando las salidas de emergencia



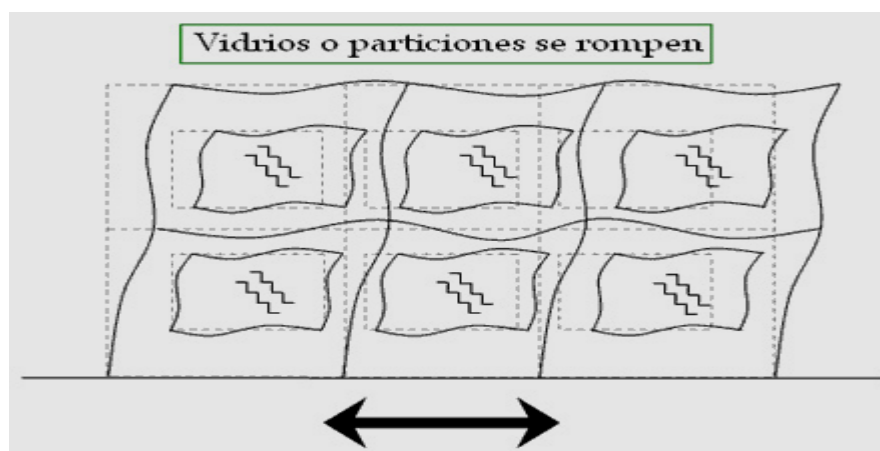
Fuente: Google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.2.2.- Deformación del edificio.

Durante un sismo, la estructura del edificio se deforma como respuesta a las fuerzas de sismo. Por ejemplo, el extremo superior de un edificio de oficinas se puede inclinar unos pocos centímetros en cada dirección durante un sismo. La deformación relativa entre pisos, ocasiona que las ventanas de vidrio, particiones livianas y otros elementos que han sido fijados a la estructura sufran también deformación. Esto provoca por ejemplo que, materiales frágiles como el vidrio que no pueden tolerar deformación, se agrieten cuando el perímetro donde están confinados se cierra y el edificio ejerza esfuerzos directamente sobre ellos. (Rivas Castaño, 2012, pág. 145)

Figura 47- Efecto de la deformación del edificio que produce rompimientos de vidrios



Fuente: Edison Jairo Narváez Changuan

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 48- Ejemplo de rompimiento de ventanas durante el terremoto de Chrischurh en Nueva Zelanda en Febrero de 2011



Fuente: (Foto tomada de periódico de Internet)
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 49- Ejemplo de daño no estructural en una pared en Alajuela durante el terremoto del 22 de Diciembre de 1990



Fuente: Foto tomada de periódico de Internet
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 50- Ejemplo de caída de ladrillos que se desprenden de una pared en un piso superior y causan daños durante el terremoto de Lorca, España. 11 de Mayo de 2011



Fuente (Foto tomada de periódico de Internet).
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 51- Ejemplo de caída de cielo raso durante el movimiento del sismo del 13 de Mayo de 2011 en Turrúcares de Alajuela.



Fuente: (Fotos tomadas de periódico de Internet)
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Debido a la falta de uniones, el marco falla y produce caída de varias láminas e incluso de lámparas.

4.2.3.- Separación entre edificios.

Otra fuente que puede provocar daño no estructural, corresponde al choque entre edificios adyacentes por no estar adecuadamente separados o al choque de diferentes partes de un edificio que se golpean una a la otra, debido a la diferencia en sus modos de vibración. Este choque puede aumentar al incrementarse la altura de uno de los edificios, si estos no coinciden en la ubicación de sus pisos, por lo que el piso del edificio más corto puede golpear las columnas del edificio adyacente más alto, agregando con ello una fuerza extra que la columna del otro no está diseñada para soportar. Esta separación y choque entre edificios afecta los elementos no estructurales debido que el martilleo provocará el rompimiento de tuberías o ductos, ventanas, fachadas, desacople de estructuras de cielos suspendidos, entre otros. (Aucancela Paguay, 2010, pág. 82)

Figura 52- Efecto del choque entre edificios



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 53- Edificios de diferentes niveles



Fuente: (Tomado de <http://ingcivil.org/separacion-entre-edificios-su-importancia/>)

Elaborado por: Edison Jairo Nárvaez Changuan

Cuando los edificios son de diferentes niveles y están demasiado cerca uno del otro puede provocar que estos se golpeen durante un terremoto.

4.3.- Daños que se presentaron en las edificaciones de Hormigón Armado, después del sismo de Bahía de Caráquez.

El último sismo, de magnitud considerable, $M_S = 7.1$ y que dejó bastante daño en las estructuras, en el Ecuador, fue el sismo del 4 de agosto de 1998, que afectó a la ciudad de Bahía de Caráquez. El epicentro de este evento que estuvo ubicado en las siguientes coordenadas: 80.53 W y 0.55 S., y la profundidad focal de este evento fue de 39.9 km. (I.G. 2008). La distancia de Bahía de Caráquez al epicentro es aproximadamente 28.3 km., y la distancia al hipocentro es 48.9 km., distancia que atenuó de alguna manera el movimiento del suelo.

4.3.1.- Aspectos estructurales.

4.3.1.1.- Observaciones sobre el desempeño de edificios de concreto.

En el área de Bahía se identificaron alrededor de unas 40 a 50 edificaciones de concreto armado, construidas a lo largo de los últimos 40 a 45 años. En el cuadro 7, se indica la distribución por alturas de 31 edificaciones inspeccionadas, según las tres zonas en las cuales se ha dividido el área urbana de Bahía.

Cuadro 7- Distribución de edificaciones por niveles y zonas urbanas de Bahía

DISTRIBUCION DE EDIFICACIONES INSPECCIONADAS SEGUN NUMERO DE NIVELES Y ZONAS URBANAS DE BAHIA				
NUMERO DE EDIFICACIONES		ZONAS URBANAS DE BAHIA		
# DE PLANTAS	TOTAL	NE	SW	CENTRO
> 6	22	15	7	-
5 - 4	6	2	-	4
< 4	3	2	-	1
TOTAL	31	19	7	5

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En el cuadro 7. los sótanos, planta baja y pent-house, cuentan como número de plantas; el muestreo debe considerarse sesgado hacia las edificaciones que mostraron algún tipo de daño, o que por sus dimensiones (planta o altura) no mostraron daños visibles.

Las observaciones que se presentan en esta sección están basadas en el Anexo Documental No. I, el cual recoge los resultados de visitas de inspección realizadas en el área de Bahía por la Misión CERESIS los días 16, 17 y 18 de agosto. Estas observaciones han sido complementadas con adiciones y sugerencias, de parte de profesores de la Escuela Politécnica Nacional quienes iniciaron los trabajos de campo en fechas inmediatamente posteriores al día 4 de agosto. Con todas las limitaciones propias de un muestreo cualitativo y limitado en el tiempo, hay algunas observaciones que pueden ser de utilidad en la mejor comprensión sobre el desempeño de las edificaciones afectadas en Bahía por este sismo.

a) Los daños en tabiquerías y paredes interiores, y en algunas exteriores, así como la frecuente fisuración de losas y vigas, reflejan una excesiva flexibilidad de buena parte de las estructuras soportantes.

b) Con frecuencia, la observación anterior tiene como agravante: La debilidad de la tabiquería, en especial la que está constituida por bloques huecos hechos a base de un material similar a la piedra pómez, y su falta de vinculación a la estructura.

c) La disposición de tabiques de fachada apoyados en voladizos, no enmarcados por la estructura, sin elementos de fijación a esta última, ha resultado en costosos daños y constituye una grave amenaza por el desprendimiento y caída libre de trozos de mampostería desde alturas considerables.

d) Las edificaciones en esquina, con sus fachadas no visibles ciegas (sin aberturas), o con pocas aberturas, han sufrido daños por torsión como consecuencia de excentricidades entre los centros de masa y los centros de rigidez. En por lo menos dos casos, la rotación impedida en los niveles inferiores debido al adosamiento de edificaciones de menor altura, trasladó los efectos desfavorables de la citada excentricidad a los pisos superiores.

e) En relación a los materiales: No se dispone de resultados de ensayos a la compresión de concreto; sin embargo ocasionalmente se han constatado defectos localizados en su ejecución; en algunas columnas asuradas se ha constatado la presencia de focos avanzados de corrosión probablemente por el uso indebido de

arenas con contenidos inadmisibles de cloruros, los resaltes de las barras corrugadas aparecen adecuadas.

Foto 1- Distribución de edificaciones por niveles y zonas urbanas de Bahía



Fuente: El terremoto de Caráquez
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

f) La pérdida del recubrimiento hacia los extremos de las columnas ha sido relativamente infrecuente. En alguno de estos casos, la separación de estribos constatada, resulta inadecuada para lograr el confinamiento del concreto y evitar el pandeo por compresión de la armadura principal.

g) Probablemente por razones estéticas, es frecuente el empleo de grandes espesores de recubrimientos y de embonados, con lo cual; se incrementa innecesariamente la carga permanente, y se incrementan los daños no estructurales como consecuencia de la fragilidad propia de esos materiales.

h) La frecuente disposición de piscinas a nivel de planta baja o en el primer nivel, en general no parece haber sido un agravante en los daños constatados. De acuerdo a las informaciones recabadas, parece ser que en el caso particular del edificio que alcanzó el estado de ruina total (Edificio Calipso), de las tres columnas existentes en la fachada norte (dirección de la caída), la altura libre de las dos columnas adyacentes a la piscina difería sustancialmente de la tercera. La

eventual falla de las dos columnas más cortas, es compatible con el estado final de la edificación.

i) Los cambios bruscos o reducciones de rigidez, especialmente en los pisos superiores, han dado lugar a colapsos parciales por razones bien conocidas propias de la respuesta dinámica de estructuras.

4.3.2.- Aspectos Arquitectónicos.

4.3.2.1.- Criterios Arquitectónicos Sismo – Resistente.

La arquitectura tiene de hecho un rol de mucha responsabilidad en la dotación de características sismo-resistentes en las edificaciones y sistemas de infraestructura, debiéndose mejorar sustancialmente su relación de trabajo y decisión con las demás profesiones, especialidades y disciplinas, como la geofísica, ingeniería estructural, eléctrica, sanitaria y medio ambiente.

En el caso del terremoto de Bahía de Caráquez se evidenciaron serias deficiencias en la arquitectura y urbanismo sismo-resistente:

a.- Aspectos de Urbanismo y Planificación Urbana.

Los arquitectos urbanistas o las entidades de reordenamiento, planificación y desarrollo urbano que decidieron sobre la zona donde se implantaron los edificios en la ciudad, ignoraron el alto peligro sísmico de la zona y la historia del desarrollo del lugar en lo relativo a los suelos ganados al mar con características tales que, no favorecen un buen comportamiento estructural si no se los toman en cuenta de manera adecuada en el análisis y diseño estructural.

La planificación urbana de la ciudad de Bahía de Caráquez no tomó en cuenta estos aspectos por lo que no dictó regulaciones apropiadas, no sólo en lo referente a una zonificación urbana sino incluso requisitos más específicos a ser tomados en cuenta en el diseño y construcción.

Si se considera la posibilidad de otros eventos tales como maremotos – tsunamis, los efectos de olas de gran tamaño causarían devastadores daños pues urbanamente, la ciudad no tiene ningún tipo de protección a este respecto. El

escenario se agrava al comprobar que la mayoría de edificios tienen cimentaciones de tipo superficial y no profundo como pilotes o caissons.

Las autoridades municipales son las únicas que, a través de su oficina de planificación pueden establecer regulaciones que conduzcan a la reducción de la vulnerabilidad de las edificaciones e infraestructura de la ciudad. El financiamiento de los estudios que esto demande podría ser satisfecho por los propietarios a través de una adecuada política de valor predial con la participación de las Compañías de Seguros, pues desde el punto de vista privado son los primeros beneficiados de la implementación de reglamentaciones urbanas consistentes con nuestra realidad sísmica.

b.- La Planificación, Diseño y Construcción de todo tipo de Edificaciones.

La arquitectura sismo-resistente de edificaciones tiene la responsabilidad de estudiar y solucionar la interacción de todos los sistemas y subsistemas durante y después de un evento sísmico con el objeto de minimizar interacciones inadecuadas, que produzcan mucho daño no estructural ante sismos de servicio, o disminuyan la capacidad sismo-resistente del sistema estructural del edificio ante sismos de provoquen daño o colapso.

Los arquitectos tienen, sin duda, un poder protagónico al ser los moderadores de todo el equipo técnico de profesionales involucrados en el diseño de sistemas y subsistemas, siendo el proyecto en su conjunto quien conduce a un diseño óptimo.

El siguiente cuadro muestra como un edificio es un conjunto de sistemas y subsistemas relacionados en condiciones de servicio y resistencia:

Cuadro 8- Sistemas y subsistemas en las edificaciones

SISTEMAS	SUBSISTEMAS
Arquitectónico	Formal, morfológico, funcional, circulación, etc.
Estructural	Cimentación, entrepisos, elementos estructurales, elementos de circulación vertical (rampas, ductos, escaleras, etc.)
Instalaciones	Eléctrico, mecánico, aire acondicionado, comunicación, subsistema de edificio inteligente, etc.
Sistema Constructivo	Subsistema estructural, albañilería, ventanería, muebles, revestimientos especiales, etc.

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Todos estos elementos interactúan durante una acción sísmica, estableciendo una buena capacidad sismo-resistente del edificio, si éste puede actuar con la rigidez, resistencia, ductilidad y sincronización simultánea, de tal manera que pueda llevar a un mínimo daño no estructural del edificio durante sismos de servicio y controlar daños estructurales durante sismos de gran daño y colapso.

Es bien conocido que las fuerzas sísmicas en un edificio están estrechamente relacionadas con su masa o peso y ésta a su vez depende del sistema constructivo empleado; que varían con la altura y número de pisos, que se distribuyen de acuerdo a la rigidez de columnas, muros y mamposterías cuya ubicación y tamaño influyen en efectos adicionales como la indeseada torsión en planta; que la regularidad estructural tanto en planta como en altura debe ser una característica básica tanto del sistema estructural como del arquitectónico en lo que se refiere a mamposterías y aberturas; sin embargo, éstas no fueron observadas convenientemente en la ciudad de Bahía de Caráquez mostrando graves deficiencias arquitectónicas sismo-resistentes, las mismas que se resumen a continuación :

-Los sistemas constructivos empleados para solucionar los condicionantes arquitectónicos, fueron en general mucho más pesados de lo que se supuso como

hipótesis de carga vertical. La mampostería construida utilizó mampuestos más pesados, por la falta de una industria eficiente en la zona.

-Debido a condicionantes arquitectónicos de confort ambiental los entresijos fueron de mayor altura, determinando que las mamposterías también sean más altas.

-La presencia de numerosas paredes curvas cuyas formas se consiguieron con rellenos de trozos de mampuesto y mortero en cantidades excesivas pues en el mercado no se disponía de mampuestos curvos, de esta manera las mamposterías llegaron a tener un peso específico cercano al del hormigón simple.

-Se utilizaron formas arquitectónicas difíciles para el sistema constructivo empleado, lo cual determina la existencia de defectos de aplomo de mampostería, los que fueron solucionados arquitectónicamente con excesos de enlucidos (hasta 12 cm. de espesor).

-Considerando el uso arquitectónico de estos edificios, como departamentos de verano, se decidió utilizar mobiliarios fijos (camas, veladores, repisas) de hormigón, por lo que algunos edificios se ven afectados por un exceso de peso muerto.

-Los sistemas constructivos empleados y las arquitecturas interiores de la mayoría de los edificios determinaron tumbados sin vigas descolgadas, condicionando con esto la utilización de sistemas de entresijos de gran espesor que permitieran esconder las vigas sin importar el sobrepeso muerto adicional que se cargaba sobre la estructura incrementando su masa inercial.

-La arquitectura de los edificios aprovechó la vista, paisaje y clima del lugar ubicando en planta espacios exteriores conformados por terrazas en voladizos de considerables dimensiones, las que no se completaron con adecuados detalles constructivos propios para estos elementos.

-No se tomaron en cuenta aspectos de seguridad sísmica en los elementos de circulación vertical, como gradas y ascensores, ubicándolos en sitios inadecuados con poca o ninguna característica de seguridad, al no considerar que en los

eventos sísmicos son sitios de concentración y desalojo humano en condiciones de pánico.

-Los sistemas constructivos que dan solución a diferentes aspectos, elementos o subsistemas arquitectónicos como antepechos, paredes exteriores, detalles de esquinas, ventanería, etc., sobre entrepisos de volado o cantiliver no consideraron la condición de seguridad sísmica y arquitectura sismo-resistente.

-Los profesionales arquitectos al manejar formas, volúmenes y plásticas exteriores de los edificios, en muchos casos atentaron contra la regularidad estructural tanto en altura como en planta, apareciendo pisos blandos y columnas cortas que dieron lugar a comportamientos inconvenientes de los sistemas estructurales durante el sismo. En vista de que la regularidad estructural es una de las principales características de la Arquitectura, Estructura y Sistema Constructivo Sismo-resistente, es responsabilidad de los profesionales arquitectos en su calidad de moderadores de todo el equipo técnico involucrado en un proyecto, tenerla en cuenta y solucionarla de manera óptima y responsable.

4.3.3.- Intensidad de los daños en las edificaciones.

Para calificar en forma subjetiva la intensidad de los daños constatados en las edificaciones inspeccionadas, se ha seleccionado una escala de cuatro Grados de Daño, cuya descripción es la siguiente:

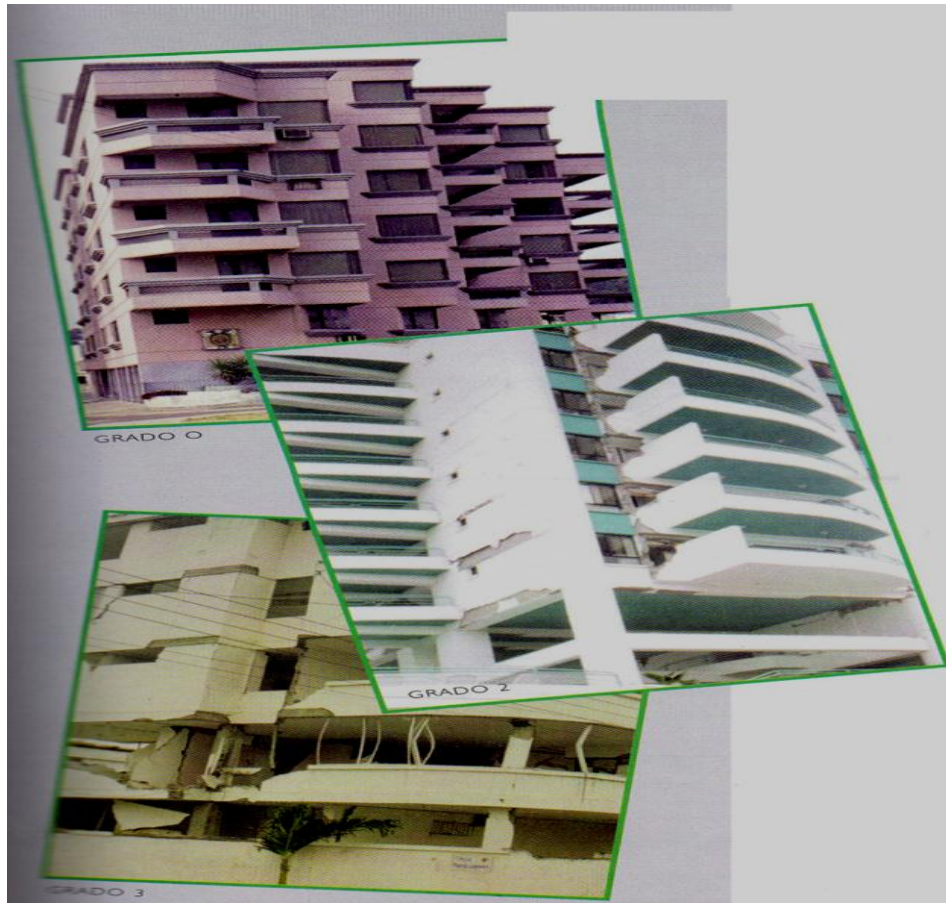
GRADO 0: No daños visibles; fisuración incipiente y daños menores en la tabiquería. Estructura portante esencialmente no dañada.

GRADO 1: Daños generalizados en la tabiquería, caída y/o desprendimiento de trozos de paredes; daños menores en la estructura portante, fácilmente reparables.

GRADO 2: Destrucción de la tabiquería, volcamiento o grandes roturas en las paredes divisorias y algunos daños estructurales.

GRADO 3: Daños importantes en los elementos estructurales que ameritan reparaciones y eventualmente su demolición. Edificios colapsados.

Foto 2- Intensidad de los daños en las edificaciones



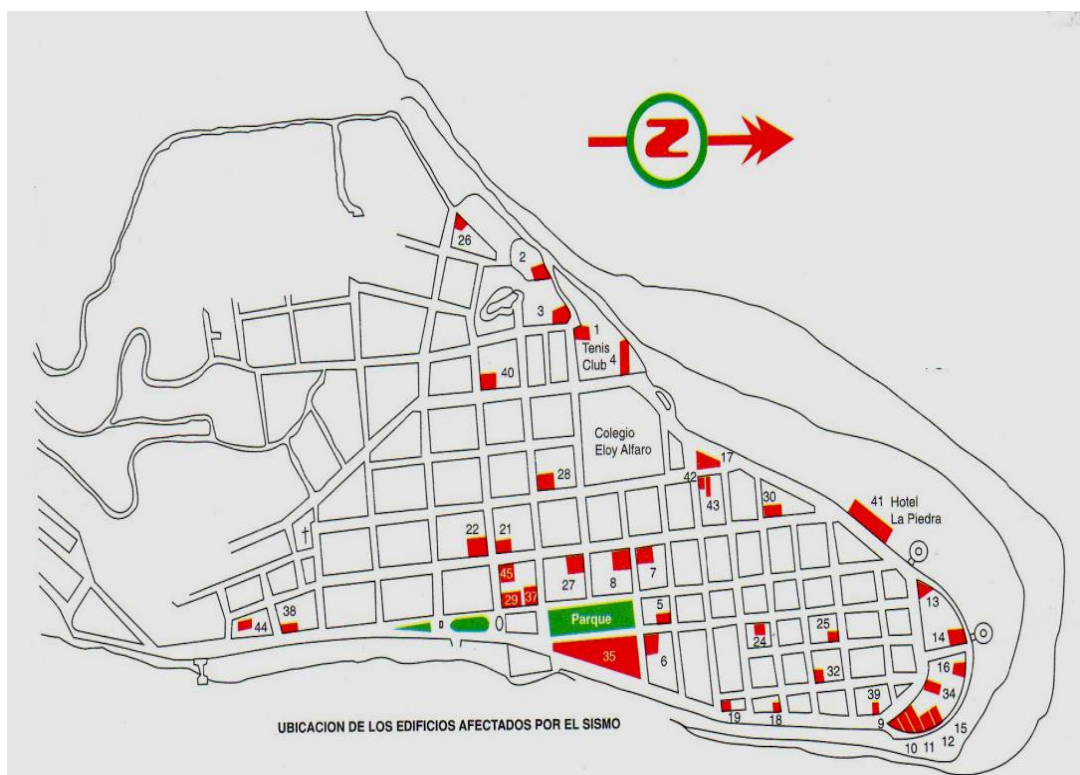
Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Tanto el Grado de Daño como el Porcentaje de Afectación, se anotan en cada caso particular en el Anexo Documental No.1, para un total de 40 edificaciones.

4.3.4.- Edificaciones Evaluadas, Anexo Documental No. 1

Recoge evidencias fotográficas, información resumida y evaluación preliminar, sobre el desempeño de 40 edificaciones situadas en el área urbana de Bahía de Caráquez, afectadas por el terremoto del día 4 de Agosto de 1998. En algunos casos solo se dispone de información muy limitada. Otros casos recogen resultados obtenidos en estudios más detallados realizados en la Escuela Politécnica Nacional de Quito.

Figura 54- Mapa de las evidencias evaluadas



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Cuadro 9- Listado de edificios y grados de afectación

INDICE DEL ANEXO DOCUMENTAL N° 1										
EDIFICIO						EDIFICIO				
Nº	NOMBRE	Nº Pisos	ZONA	GRADO	APECT.	Nº	NOMBRE	Nº Pisos	ZONA	GRADO APECT.
1	El Vigia	10	SW	0	0%	21	Municipio	4	Central	0 0%
2	Las Brisas	11	SW	0	0%	22	Banco Pichincha		Central	
3	Horizonte	11	SW	0	0%	23	Bahía Marina			
4	Dos Hemisferios	11	SW	2	80%	24	Bahía Blanca			
5	Calipso	6	NE	3	100%	25	Los Saens			
6	Cabo Coral	10	NE	2	100%	26	El Centinela	8	SW	1 50%
7	Iglesia	1	NE	3	100%	27	Hotel Italia	5	Central	3 25%
8	Ext. Univer.	5	Central	3	60%	28	El Portal	4	Central	2 50%
9	Marun Jalil	7	NE	2	63%	29	IESS		Central	
10	Torre Mar	8	NE	1	50%	30	BEV			
11	El Delfin	6	NE	2	67%	31	?			
12	El Almirante	9	NE	2	80%	32	Karina	5	NE	3 100%
13	Punta Norte	9	NE	0	0%	33	Las Gaviotas	5	NE	0 0%
14	Neptuno	6	NE	2	60%	34	Los Corales	6	NE	3 33%
15	Mikonos	11	NE	2	70%	35	Colegio Inmac.	2	Central	0 0%
16	Vista Mar	9	NE	2	20%	36	Barandas Verdes		NE	
17	El Pirata	7	SW	0	0%	37	Pacific Tel		Central	
18	Salango	10	NE	2	80%	38	Bomberos	2	(NE)	3 100%
19	Nautilus	10	NE	2	60%	39	Spondylus	9	(NE)	2 80%
20	Banco Central	6	(NE)	1	83%	40	En Esquina	6	SW	0 10%

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.1.- Edificio 1- EL VIGIA.

Ubicación: Calle Salinas con circunvalación Virgilio Ratti (Zona SW)

Número de Niveles: 2 sótanos + PB + 7 plantas.

Sistema Estructural: Pórtico espacial de concreto armado, se utilizaron zapatas de 3,80m*3,20m conectadas con vigas de cimentación de 0,25m*0,40m. La profundidad de cimentación es de 1,50m.

Breve Descripción: Ascensor abierto adosado a la fachada norte.

Daños Observados: Agrietamientos limitados a tabiquería entre ventanas. Poco daño.

Grado de Daño: Grado 0

Porcentaje de afectación: 0%

4.3.4.2.- Edificio 2- LAS BRISAS.

Ubicación: Barrio La Equitativa (Zona SW)

Número de Niveles: 2 sótanos + PB + 8 plantas.

Sistema Estructural: Pórtico espacial y muros de corte.

Daños Observados: Daños menores.

Grado de Daño: Grado 0

Porcentaje de afectación: 0%

4.3.4.3.- Edificio 3- HORIZONTE.

Ubicación: Calle AbdónCalderón, Barrio La Equitativa (Zona SW)

Número de Niveles: PB + 10 plantas.

Sistema Estructural: Pórtico espacial y muros de corte.

Daños Observados: Sin danos visibles.

Grado de Daño: Grado 0

Porcentaje de afectación: 0%

4.3.4.4.- Edificio 4- DOS HEMISFERIOS.

Ubicación: (Zona SW)

Año de Construcción: 1992

Número de Niveles: 10 plantas + 1 penthouse.

Sistema Estructural: Zapatas aisladas, columnas separadas entre 6 y 10m, dos pequeño diafragmas, vigas planas y descolgadas, losas alivianadas unidireccionales; cimentación directa con zapata aisladas a 2m. Esfuerzo admisible de 4 kg/cm².

Breve Descripción: Alargado en sentido E-W, compuesto por dos torres unidas por un módulo central que forman un sistema casi simétrico y muy flexible en dirección N-S. Concebido para departamentos en condominio. Contiene abundantes paredes sin confinamiento

Daños Observados: Del segundo al séptimo piso se presentan daños en un alto porcentaje en la mampostería y todo lo que ella aloja, fisuración de losas en dirección del armado de las mismas. Del octavo al décimo piso y

penthouse los daños son leves y/o no se visualizan. Una sola viga de la primera planta alta se encuentra fisurada en el centro de la luz; no se observan daños estructurales adicionales.

Grado de Daño: Grado 2

Porcentaje de afectación: 80% en mampostería.

4.3.4.5.- Edificio 5- CALIPSO.

Ubicación: Calle Sucre y Marañón (Zona NE)

Año de Construcción: 1993

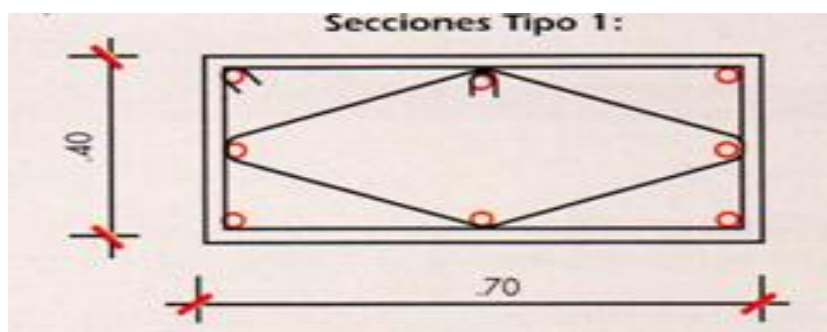
Número de Niveles: PB + 5 plantas.

Sistema Estructural: Pórtico espacial de concreto armado, sobre zapatas aisladas.

Breve Descripción: Planta baja libre de 4,20m de altura.

Por presencia de una piscina y en esta planta dos columnas confinadas 1,60m desde su base por las paredes de la piscina, quedando estas dos columnas de 2,60m de altura a diferencia de la tercera que es de 4,20m de altura. La cimentación es mediante zapatas superficiales a 1,40m de profundidad y una capacidad admisible de terreno de 1,5 kg/cm². Las losas están armadas en sentido norte-sur, apoyándose sobre los pórticos fuertes (1,2 y 3); los pórticos A, B y C poseían vigas de menor altura. Típicamente las columnas tienen 8 barras y se constató que el sistema de confinamiento en las periféricas era de tipo 1.

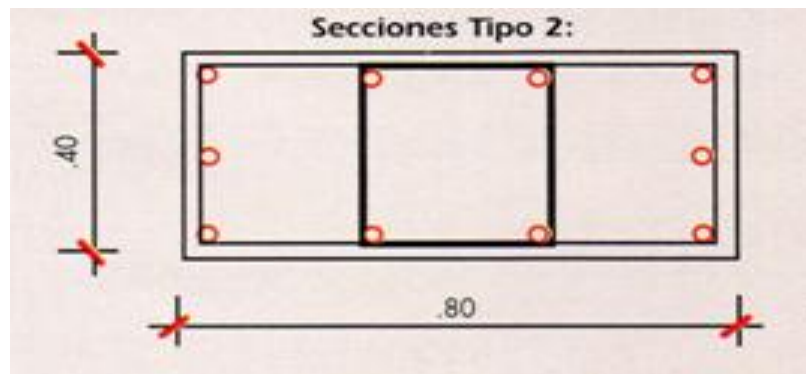
Figura 55- Sección Columna Tipo 1



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En las columnas centrales eje 2 (0,40*0,80m) y armadura de 10 barras de 22mm aproximadamente, con una armadura transversal de tipo 2.

Figura 56- Sección columna tipo 2



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Daños Observados: Colapso total del edificio (Fotos A5-1a A5-3).

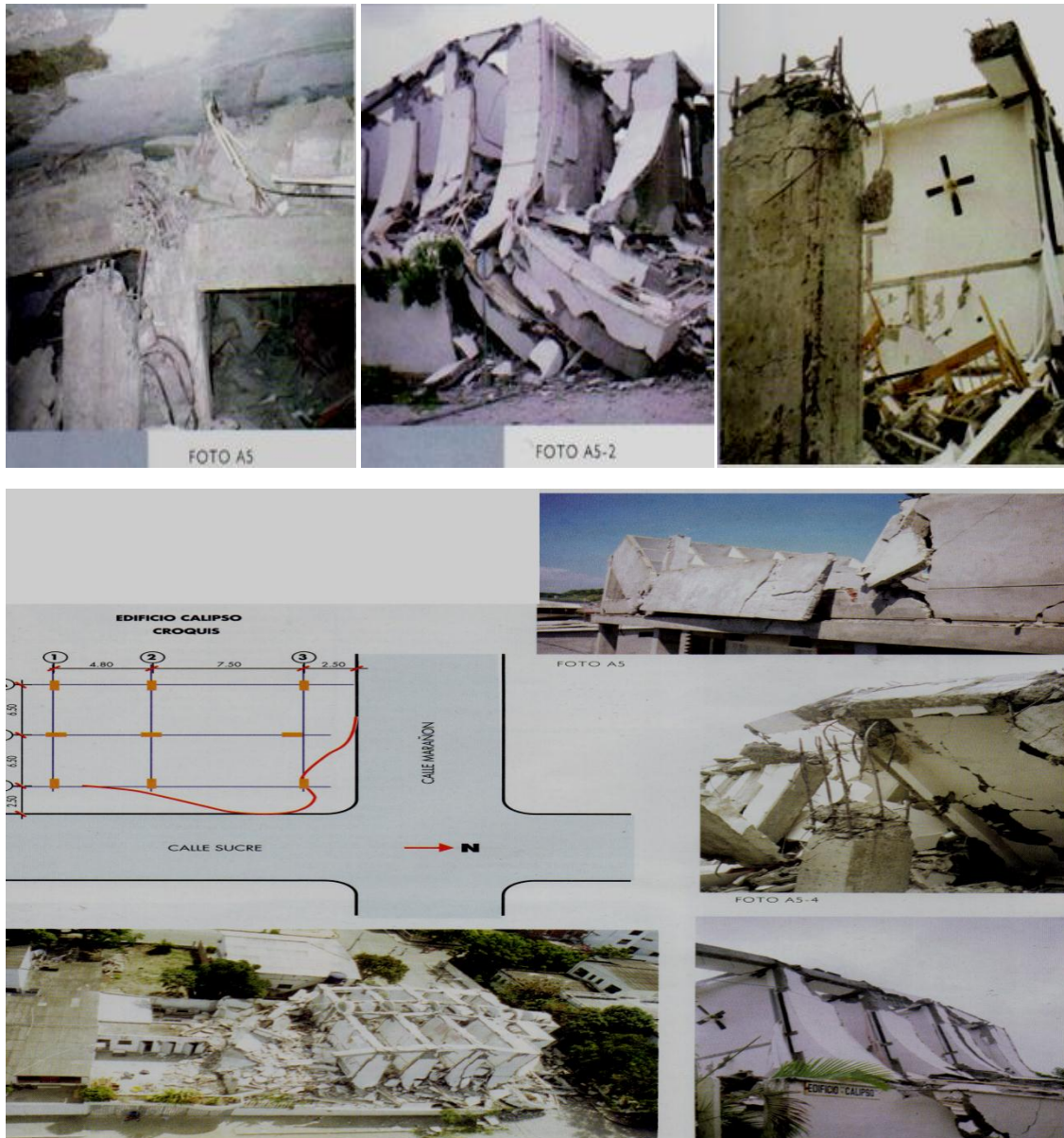
Es probable que las columnas de planta baja del eje 3, captaran mayor fuerza por su mayor rigidez y tuvieron mayor demanda de ductilidad.

Las columnas del eje 1 fallaron por tracción a nivel del 1 piso (fotos A5-4 y A5-5), ocasionando el volcamiento hacia la calle Marañón, con una rotura de las losas a lo largo del eje 2 (o paralelo a ese eje), la parte de los pisos entre los ejes 2 y 3 quedaron superpuesta tipo pancake.

Grado de Daño: Grado 3

Porcentaje de afectación: 100%

Foto 3- Edificio Calipso



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.6.- Edificio 6- CABO CORAL.

Ubicación: (Zona NE)

Número de Niveles: PB + 9 plantas.

Sistema Estructural: Pórtico espacial de concreto armado con algunas áreas sin losas en los niveles inferiores (Fotos A6-1 a A6-4), en los extremos de la planta regular se encuentran tipo pared de corte: alrededor de los ascensores en un extremo y alrededor de las escaleras en el extremo

opuesto.

Breve Descripción: Se trata de una edificación con grandes vanos 10m en la dirección E-W. Su sistema de cimentación está construido por una losa de 1,10m de espesor maciza, a 2,60m. En el extremo donde arrancan las paredes de los ascensores, hay una discontinuidad para poder disponer los elementos del foso del ascensor, visto lo superficial de la losa de cimentación. Hacia el otro extremo, en la zona donde arrancan las paredes de las escaleras, no se prolongó la losa hacia la parte extrema de la planta.

Daños Observados: Daños generalizados en toda la tabiquería interior y exterior. Vigas y losas agrietadas por falta de resistencia a la flexión, fisuras en losas junto a columnas en dirección paralela al armado de la losa (fotos A6-3 a A6-6). Si la cimentación de las paredes está en capacidad de rotar debido a cortantes en la dirección longitudinal y simultáneamente, hay un posible acoplamiento entre los mismos extremos de 10m, se pueden generar distorsiones a todo lo alto de la edificación; lo cual explica que los daños en la mampostería hayan sido generalizados. Evaluaciones preliminares, incluyendo la flexibilidad de la fundación, conduce a distorsiones del 8%...

Grado de Daño: Grado 2 en todos los niveles.

Porcentaje de afectación: 10/10 = 100%

Foto 4- Edificio Cabo Coral



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por :Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.7.- Edificio7- IGLESIA MARIA AUXILIADORA.

Ubicación: Av. Bolívar con calle Mateus(Zona NE)

Años de Construcción: Más de 70 años.

Número de Niveles: Planta baja.

Sistema Estructural: Montantes de madera. Techo liviano.

Breve Descripción: Recientemente refaccionada, esta edificación de planta regular pertenecía al hospital. Este fue trasladado de sitio a finales de los años 40. Puesto que el aguaje del océano afectaba sus bases.

Danos Observados: Parte del techo cayó. Base de las columnas de madera degradada por efecto de la humedad (Fotos A7-1 a A7-2).

Referencia: Madre Mónica Villagómez (Hermana de la orden de la Providencia y de la Inmaculada).

Grado de Daño: Grado 3.

Porcentaje de afectación: 100%

Foto 5- Edificio Iglesia María Auxiliadora



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.8.- Edificio 8- EXTENSION UNIVERSIDAD ELOY ALFARO.

Ubicación: Av. Bolívar con calle Mateus (Zona Central)

Número de Niveles: PB + 4 plantas.

Sistema Estructural: Pórticos de concreto armado y losas sobre vigas.

Breve Descripción: Los dos últimos niveles (3 y 4), consistían de cuerpos separados; identificados como A y B en el croquis. El cuarto nivel del cuerpo A, estaba construido por un conjunto de elementos verticales de unos 10cm de espesor, tipo panel, sin losa horizontal, para dejar pasar aire y luz. Parte del cuarto nivel del cuerpo B es similar. El tercer nivel del cuerpo A y los dos niveles (3 y 4) del cuerpo B estaban contruidos por losas de unos 20cm de espesor, no se aprecian vigas en estos dos últimos niveles.

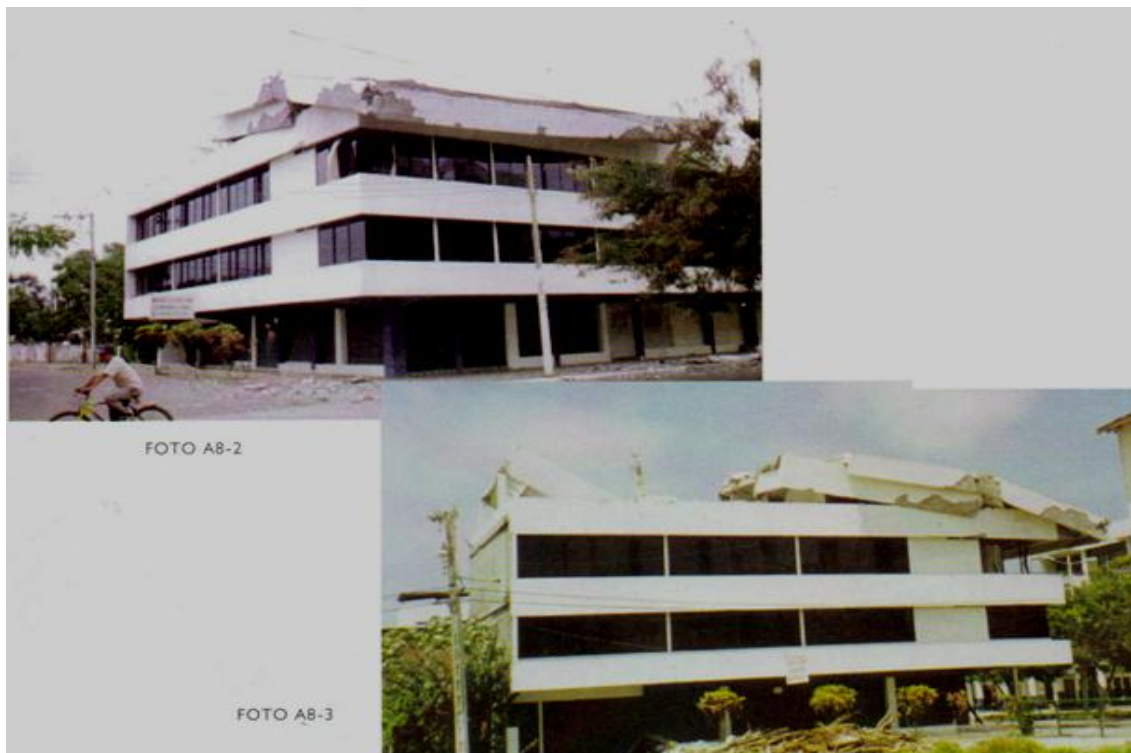
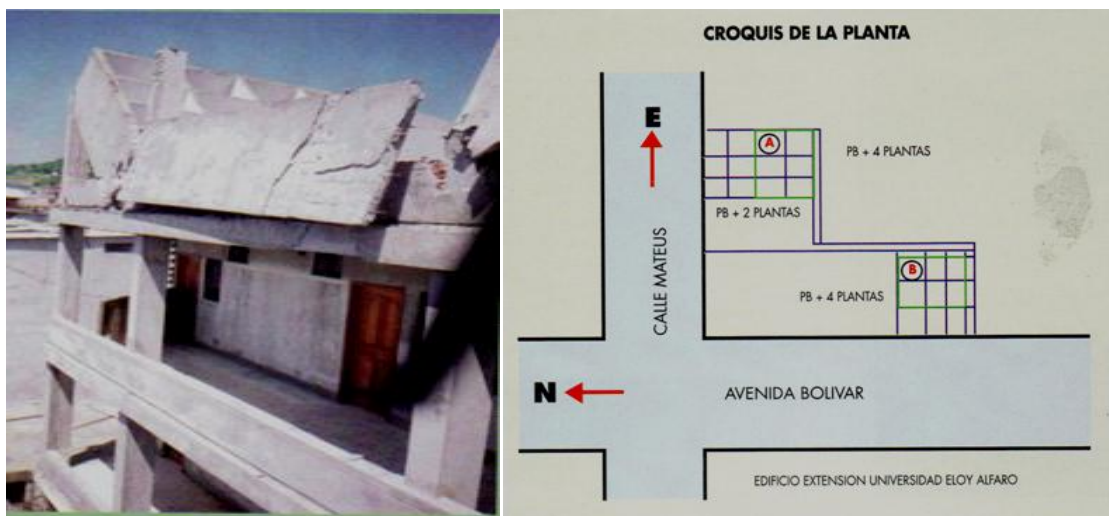
Daños Observados: Inestabilidad de los niveles 3 y 4(Fotos A8-1 a A8-4). El mecanismo resultante en el cuerpo B, dejó las losas de cuarto nivel, mas al

oeste que la del tercer nivel. En el cuerpo A pareciera que las columnas de soporte del cuarto nivel, punzonaron sus elementos de apoyo (Foto A8-4). Daños en mampostería en el primer nivel y pocos daños en el segundo y tercer nivel.

Grado de Daño: Grado 3 en los dos últimos niveles.

Porcentaje de afectación: $3/5 = 60\%$

Foto 6- Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.9.- Edificio 9- MARUN JALIL.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti (Zona NE)

Numero de Niveles: PB + 4 plantas + Ph.

Sistema Estructural: Pórticos espaciales de concreto.

Breve Descripción: Planta de forma triangular. La fachada norte opuesta al vértice del edificio, tiene pocas aberturas.

Danos Observados: Los daños en la mampostería son pronunciados y se extienden desde la planta baja hasta el quinto nivel. La marquesina del último nivel, colapso (Fotos A9-1 y A9-2).

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: $5/8 = 63\%$

Foto 7- Edificio Marun Jalil



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.10.- Edificio 10- TORRE MAR.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti (Zona NE)

Número de Niveles: PB + 7 niveles.

Sistema Estructural: Pórticos espaciales de concreto.

Breve Descripción: Edificio de hormigón armado, pórticos y muros. La cimentación es sobre suelo mejorado y consiste en una losa nervada, con

capacidad admisible del terreno de 1 kg/cm².

Grado de Daño: Grado 1 en los primeros cuatro niveles (Fotos A10-1 a A10-3).

Porcentaje de afectación: 50%

Foto 8- Edificio Torre Mar



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.11.- Edificio 11- EL DELFIN.

Ubicación: Av. Horacio Gostalle(Zona NE)

Año de Construcción: Es uno de los edificios construidos en el área.

Número de Niveles: PB + 5 niveles.

Sistema Estructural: Pórticos de hormigón armado. Vigas planas. Piso inferior blando (Rigidez menor que los superiores por ausencia de tabiques. (Fotos A11-1).

Breve Descripción: Edificio de planta simétrica, con mampostería de bloque de 10cm. (Véase croquis).

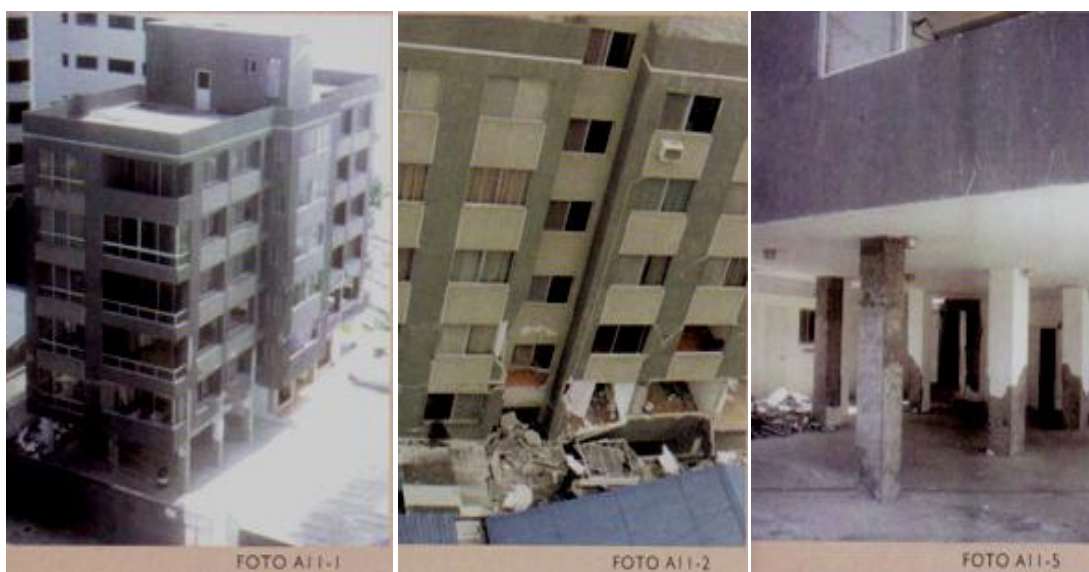
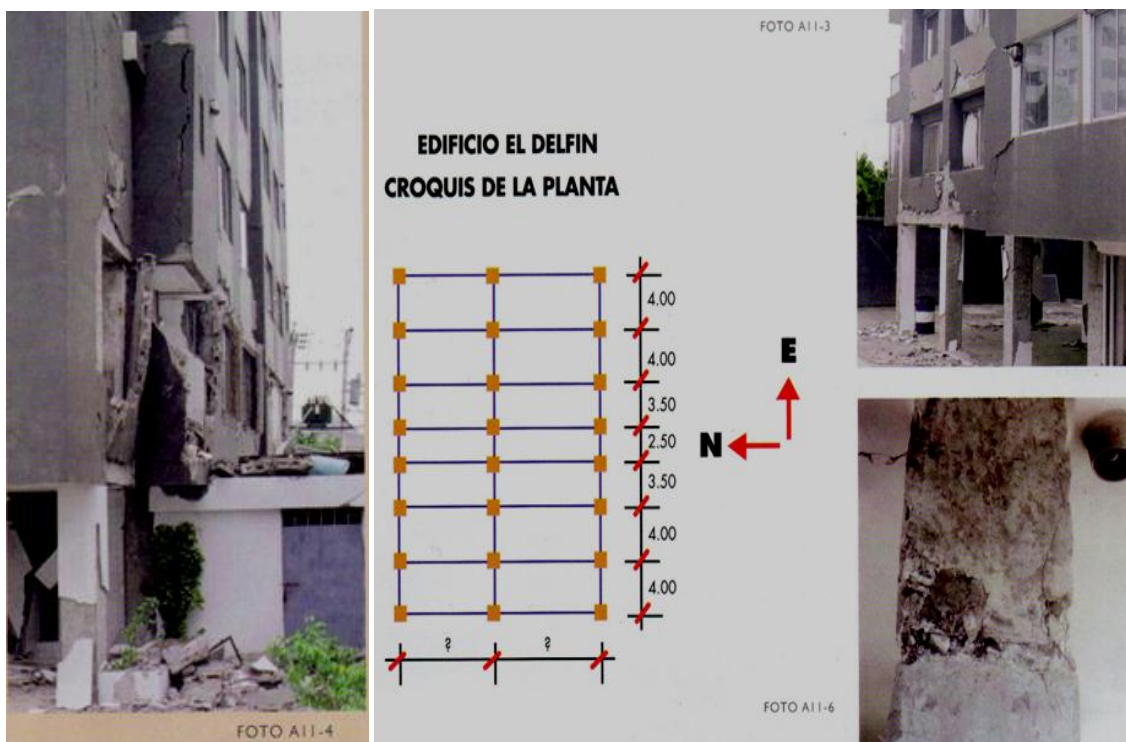
Daños Observados: Agrietamientos en la parte inferior de las columnas y fisuras en vigas en el primer nivel. Juntas de vaciados de concreto (Juntas frías). (Fotos A11-5 y A11-6). Daños generalizados en la tabiquería hasta el cuarto nivel, especialmente los dos primeros. Agrietamiento en losas del

primer y segundo nivel. (Fotos A11-2 y A11-4). Asentamientos visibles en cercanías de pórticos exteriores.

Grado de Daño: Grado 2; requiere reparación de columnas y suprimir el efecto de piso blando.

Porcentaje de afectación: $4/6 = 67\%$

Foto 9- Edificio El Delfín



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan.

4.3.4.12.- Edificio 12- EL ALMIRANTE.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti (Zona NE)

Número de Niveles: Sótano + PB + 7 niveles.

Sistema Estructural: Pórticos de hormigón armado.

Breve Descripción: Losas de 30 cm, en forma de L, armadas en una sola dirección, vigas descolgadas de 30*60 y 30*80 cm. Cuenta con voladizos de hasta 2,60m, con vigas descolgadas en los bordes. Columna tipo L 60*60*30 o 40*40*20cm, tres de ellas fuera de los ejes principales. Se utiliza una losa maciza de cimentación de 40cm de peralte.

Daños Observados: Destrucción total de una gran parte de la mampostería de los cuatro primeros niveles y decrecientes hacia los niveles superiores. (Fotos A12-1). Fisuración por flexión en algunas vigas de niveles inferiores.

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: 80%

Foto 10- Edificio El Almirante



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.13.- Edificio 13- PUNTA NORTE.

Ubicación: Av. Octavio Viteri (Zona NE)

Año de Construcción: Aproximadamente 1988.

Número de Niveles: PB + 8 plantas.

Sistema Estructural: Pórticos de hormigón armado.

Breve Descripción: Planta triangular.

Daños Observados: Daños muy limitados. Los vidrios de la planta baja no están rotos. (Foto A13-1)

Grado de Daño: Grado 0.

Porcentaje de afectación: $0/9 = 0\%$

Foto 11- Edificio Punta Norte



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.14.- Edificio 14- NEPTUNO.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti (Zona NE)

Año de Construcción: Aproximadamente 1993.

Numero de Niveles: PB + 5 plantas + Cisterna (Vacía).

Sistema Estructural: Pórticos de hormigón armado, con mampostería de bloques livianos (Pómez).

Breve Descripción: Planta rectangular, con caja de ascensor hecha de bloques.

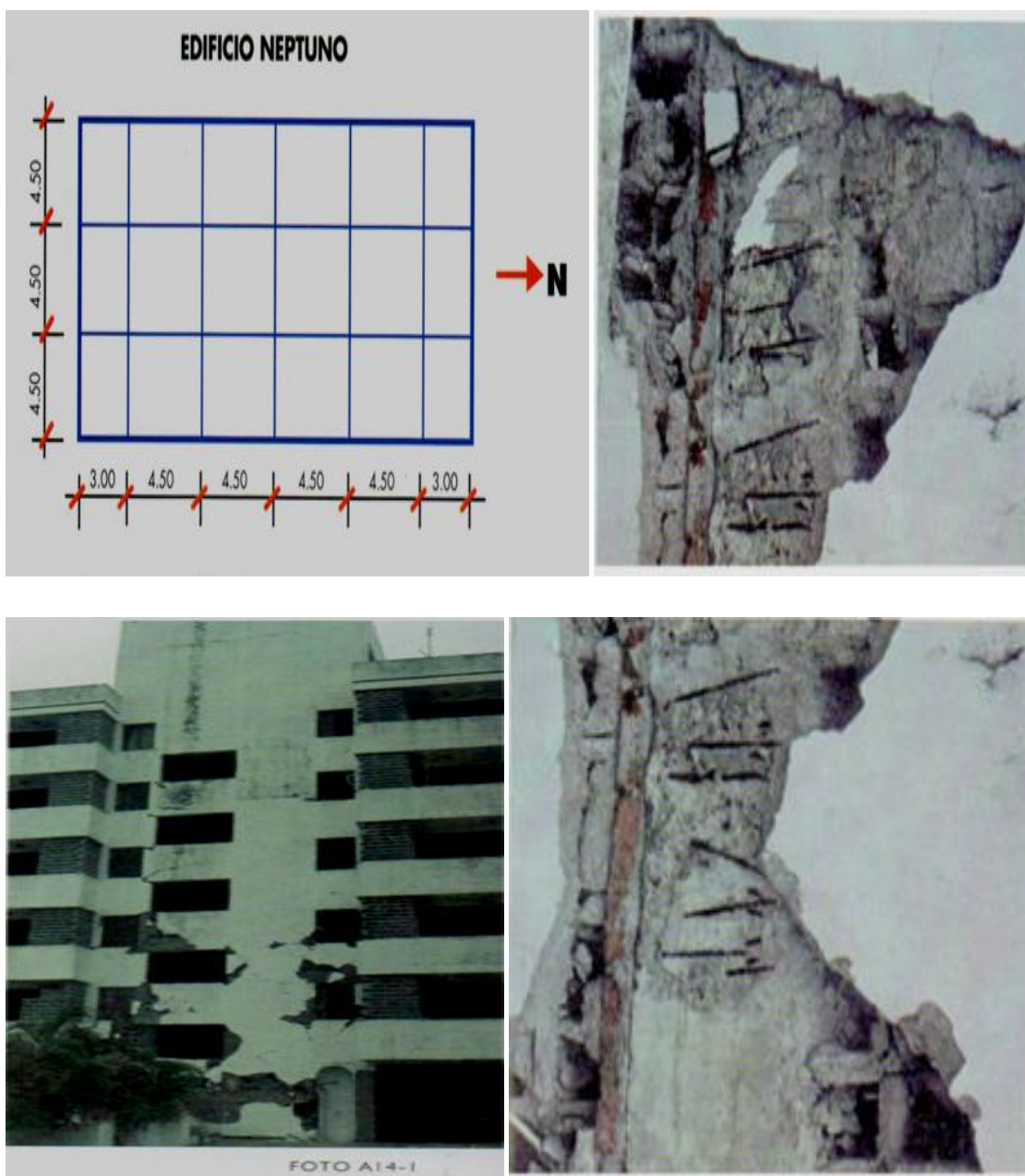
Daños Observados: Daños en la mampostería y en las escaleras hasta por lo menos el nivel tres (Foto A14-1). La mampostería es muy débil. En uno de los planos de la fachada este, sin aberturas; la interacción de la mampostería con los elementos de concreto armado aplastó las esquinas

superiores de la primera; sin permitir el agrietamiento del panel de mampostería. Focos de corrosión avanzada en la parte inferior de las columnas de la planta baja (Fachada sur). Uno de los muros perimetrales de lindero volcó hacia el este.

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: 60%

Foto 12- Edificio Neptuno



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.15.- Edificio 15- MIKONOS.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti (Zona NE)

Año de Construcción: 1993.

Número de Niveles: PB + 10 plantas.

Sistema Estructural: Pórtico espacial de concreto armado, con vanos de orden de 7m. En el extremo N-W hay un núcleo de ascensores con muros estructurales de corte; estos dieron lugar a efectos de torsión. La cimentación esta sobre relleno de 1.20m y consiste en una losa de cimentación de 80cm de espesor (Foto A15-1).

Daños Observados: Tabiquería de la fachada norte y nor-este muy dañada, especialmente en plantas inferiores. Fisuración en las losas envoladizo en las primero cuatro plantas. La rigidez propia de tabiquería confinada, con aberturas muy pequeñas en la fachada sur, interrumpida en la segunda planta dio lugar a la formación de grietas alrededor de la columna circular en la esquina S-E.

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: 70%

Foto 13- Edificio Mikonos



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.16.- Edificio 16- VISTA MAR.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti (Zona NE)

Año de Construcción: 1989.

Número de Niveles: Sótano + PB + 7 niveles + cisterna.

Sistema Estructural: Estructura espacial de concreto armado.

Descripción: Aparente desfaseamiento de las columnas desde PB, hacia arriba; puede explicar los danos observados en las vigas a nivel de sótano.

Daños Observados: En adición a los daños señalados en las vigas, se constataron grietas en la tabiquería a nivel del sótano y danos muy limitados en las fachadas (Fotos A16-1 y A16-2).

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: 20%

Foto 14- Edificio Vista Mar



Foto A16-1



Foto A16-2

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.17.- Edificio 17- EL PIRATA.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti y MuñozDávila (Zona SW)

Año de Construcción: Inicio de los años 90.

Número de Niveles: PB + 6 niveles.

Sistema Estructural: No conocido. El nivel de cimentación está a dos metros por debajo del nivel del terreno, consiste en un sistema de vigas invertidas con un ancho de 3m.

Descripción: Edificación con entrantes que ocupa toda la manzana. Parece que fue construido entre los muros de defensa existentes en el área.

Danos Observados: No se logró visitar internamente. Externamente solo se aprecia fisuras aisladas; no se observan rotura de vidrios. En general no parece haber sufrido daños(Foto A17-1).

Grado de Daño: Grado 0.

Porcentaje de afectación: $0/7 = 0\%$

Foto 15- Edificio El Pirata



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.18.- Edificio 18- SALANGO.

Ubicación: Calle Daniel Hidalgo con Horacio Gostalle (Zona NE)

Número de Niveles: PB + 9 plantas.

Sistema Estructural: Pórticos con columnas circulares y muros. Losas armadas en una dirección y de 40cm de espesor.

Descripción: Edificación con grandes volados en una de sus fachadas. La cimentación se la realiza sobre suelo mejorado en los dos primeros metros, esta cimentación de la torre principal está constituida por una losa de 40cm de espesor en forma trapezoidal que sobresalen 80cm de la losa.

Daños Observados: Danos importantes en mampostería interior y fachadas hasta el nivel nueve. Fisuras pequeñas en columnas y diafragmas y mayor a nivel de losas (Fotos A18-1 a A18-4).

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: 80%

Foto 16- Edificio Salango



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.19.- Edificio 19- NAUTILUS.

Ubicación: Horacio Gostalle, Circunvalación Virgilio Ratti y Cingnato Estrada (Zona NE)

Número de Niveles: PB + 8 plantas + PH.

Sistema Estructural: Pórticos espacial y pared de corte alrededor del ascensor, girando 45 grados respecto a los ejes del pórtico.

Descripción: Una de las paredes de corte alrededor del ascensor se prolongó para conseguir más rigidez, quedando sus extremos dentro de dos paneles de losa, sin viga de conexión entre estos extremos y las columnas cercanas. La estructura tiene grandes volados (-3m) en esquina.

Daños Observados: Agrietamientos en losa desde los extremos de la pared de corte, que se prolonga hasta los bordes opuestos de ese panel de losa; por falta de colectores que conecten dichos extremos con las columnas vecinas. También se aprecian agrietamientos en la losa junto a las vigas de soporte de los grandes voladizos. La tabiquería sufrió daños importantes en los seis niveles inferiores (Fotos A19-1 a A19-3).

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: 60%

Foto 17- Edificio Nautilus



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.20.- Edificio 20- BANCO NACIONAL DE FOMENTO.

Ubicación: Malecón Alberto Santos, Calle Pena y Calle Bolívar (Zona NE)

Año de Construcción: 1978.

Número de Niveles: PB + 5 niveles.

Sistema Estructural: Pórticos espacial. La cimentación de esta edificación consiste en pilotes de hormigón armado de 40cm*40cm y longitudes de 19,50m. La capacidad admisible de cada pilote es de 45 Ton.

Descripción: Existen pocas divisiones interiores de mampostería por los grandes ambientes.

Daños Observados: Agrietamientos generalizados de los muros de la fachada; la fachada sur (Foto A20-1) es más rígida que la fachada norte, esta última más dañada (Fotos A20-2 a A20-3). No se observan daños estructurales.

Grado de Daño: Grado 1 hasta el penúltimo nivel.

Porcentaje de afectación: 83%

Foto 18- Edificio Banco Nacional de Fomento



Foto A20-1



Foto A20-2



Foto A20-3

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.21.- Edificio 21- ILUSTRE MUNICIPALIDAD – CANTON SUCRE.

Ubicación: Av. Bolívar con Riofrio(Zona Central)

Número de Niveles: PB + 3 niveles.

Sistema Estructural: Elementos de concreto armado, columnas perimetrales de gran esbeltez, de sección decreciente con la altura (Fotos A21-1 a A21-3).Techomuy liviano.

Descripción: Planta baja libre, aparentemente tiene pocas divisiones interiores en los pisos superiores.

Daños Observados: Daños menores en la tabiquería de la fachada de planta baja. No visitado interiormente; pero en servicio.

Grado de Daño: Grado 0.

Porcentaje de afectación: 0%

Foto 19- Edificio Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre



Foto A21-1



Foto A21-2



Foto A21-3

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.26.- Edificio 26- EL CENTINELA.

Ubicación: Calle Mejía con Calle Eloy Alfaro, Barrio San Roque (Zona SW)

Número de Niveles: Sótano + PB + 6 plantas.

Sistema Estructural: Pórticos de concreto armado.

Descripción: Ubicado en la parte alta de Barrio, es el edificio más al S-W del área urbana. Planta simétrica.

Daños Observados: Daños menores, caída de revoques y agrietamiento hasta el cuarto piso.

Grado de Daño: Grado 1.

Porcentaje de afectación: 50%

4.3.4.27.- Edificio 27- HOTEL ITALIA.

Ubicación: Calle Checa con Av. Bolívar (Zona Central)

Año de Construcción: Hacia 1953, fue la primera edificación de concreto armado construida en Bahía(Ing. Furolani)

Número de Niveles: PB + 3 plantas + techo liviano en la platabanda.

Sistema Estructural: Pórticos de concreto armado, columnas de planta baja de 3,80 a 4m de altura.

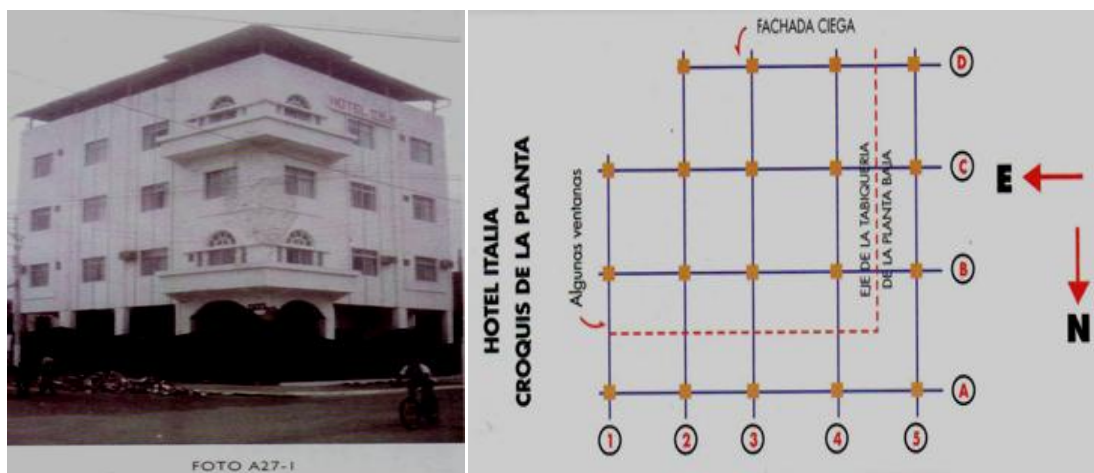
Descripción: La parte superior de las columnas de la planta baja se encuentran unidas por capiteles en arco.

Daños Observados: Las columnas periféricas (fachada norte y oeste), libres de desplazarse, presentan alguno danos hacia los extremos superiores (únicos visibles), especialmente hacia la esquina nor-este del edificio (Foto A27-1).

Grado de Daño: Grado 3.

Porcentaje de afectación: 25%

Foto 20- Edificio Hotel Italia



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.28.- Edificio 28- HOTEL EL PORTAL.

Ubicación: Calle Montufar y Calle Arenas (Zona Central)

Número de Niveles: PB + 3 niveles.

Sistema Estructural: Alta densidad de mampostería y elementos de concreto armado.

Descripción: Edificación en esquina, de planta aproximadamente cuadrada. Las fachadas norte y oeste, tienen porcentajes limitados de abertura en comparación a las fachadas sur y este.

Daños Observados: Las dos plantas superiores (2a y 3a), particularmente la segunda presentan daños muy pronunciados en los elementos de fachada (Foto A28-1). Una posible explicación de desempeño constatado, es la siguiente:

- a.- La planta baja y el primer nivel del edificio, están confinados por las edificaciones adyacentes impidiendo su rotación y en parte su traslación a nivel de planta baja y primera planta.
- b.- En los niveles 2 y 3 de edificio, el efecto de la excentricidad creado por los muros norte y oeste, más rígidos que los opuestos, se manifiesta en las fachadas sur y este por solicitaciones debidas a torsión.

Grado de Daño: Grado 2 en los últimos niveles.

Porcentaje de afectación: 50%

Foto 21- Edificio Hotel El Portal



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.32.- Edificio 32- KARINA.

Ubicación: Calle Alfonso Laennen con Av. Horacio Gostalle (Zona NE)

Número de Niveles: PB + 3 plantas + PH.

Sistema Estructural: Mampostería confinada con elementos de concreto armado. La cimentación es mediante zapata corrida de 2,60m de ancho, con una profundidad de 90cm.

Descripción: Edificación en esquina afectada por torsión.

Daños Observados: Daños generalizados, incluso en los elementos de confinamiento. Falla de columna en la esquina (Fotos A32-1 a A32-4).

Grado de Daño: Grado 3.

Porcentaje de afectación: 100%

Foto 22- Edificio Karina



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.33.- Edificio 33- LAS GAVIOTAS.

Ubicación: Av. Horacio Gostalle (Zona NE)

Número de Niveles: PB + 4 plantas.

Daños Observados: No se observan danos desde el exterior.

Grado de Daño: Grado 0.

Porcentaje de afectación: 0%

4.3.4.34.- Edificio 34- LOS CORALES.

Ubicación: Av. Horacio Gostalle (Zona NE)

Año de Construcción: Hacia 1980.

Número de Niveles: PB + 5 plantas.

Sistema Estructural: Pórticos de hormigónarmado. Vigas planas.

Descripción: En el perímetro de la planta baja existen ventanas altas de 50cm de altura, que confinan parcialmente las columnas.

Daños Observados: Daños estructurales importantes en las columnas de planta baja, mayoritariamente en los extremos superiores; fallas frágiles por ser columnas cortas. Daños importantes en la tabiquería de los dos primeros niveles (Fotos A34-1 a A34-6)

Grado de Daño: Grado 3.

Porcentaje de afectación: 33%

Foto 23- Edificio Los Corales





Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.35.- Edificio 35- COLEGIO LA INMACULADA.

Ubicación: Av. Cecilio Intriago (Zona Central)

Año de Construcción: Hacia 1975.

Número de Niveles: PB + 1 plantas.

Sistema Estructural: Edificación de mampostería confinada.

Descripción: Escuela de enseñanza primaria para unos 275 estudiantes (Foto A35-1)

Danos Observados: Solo se constató una grieta en una pared orientada E-W, a nivel de la planta baja. Volcamiento de algún estante en la planta alta y caída de objetos sueltos.

Grado de Daño: Grado 0.

Porcentaje de afectación: 0%

Foto 24- Colegio La Inmaculada



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.38.- Edificio 38- CUERPO DE BOMBEROS.

Ubicación: Malecón Alberto Santos (Zona NE)

Número de Niveles: PB + 1 nivel.

Sistema Estructural: Losas de hormigón armado sobre pilares. La segunda planta es de mampostería y techo liviano de láminas de zinc.

Descripción: Edificación adosada a otra de altura mayor (lado norte) y haciendo esquina en su fachada sur.

Danos Observados: El muro de la fachada este colapso; aparentemente parte del muro cayó sobre uno de los carros bomba ocasionándole danos (Fotos A38-1 a A38-2).

Grado de Daño: Grado 3.

Porcentaje de afectación:100%

Foto 25- Edificio Cuerpo de Bomberos



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.39.- Edificio 39- SPONDILUS.

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti con Calla Plaza Acosta (Zona NE).

Al lado del edificio Albastro

Año de Construcción: 1993.

Numero de Niveles: PB + 8 plantas + PH + Cisterna alta.

Sistema Estructural: Pórtico espacial de concreto armado con vigas planas en la dirección N-S. En los vanos centrales no se ven vigas entre los ejes 2 y 3 y los ejes B y C.

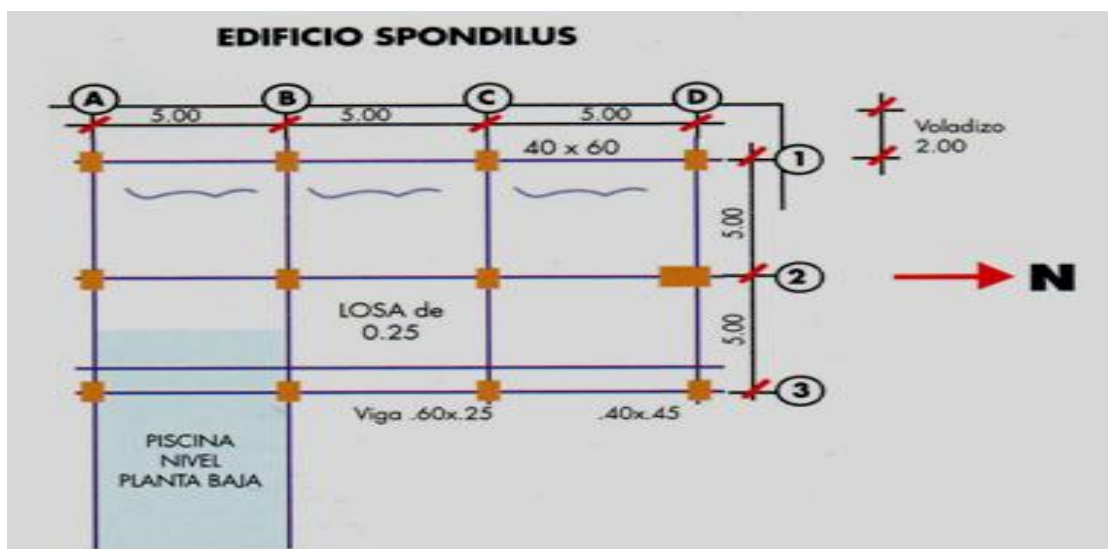
Descripción: Construida por mampostería de ladrillo, las fachadas descansan sobre volados; estas no están confinadas y no están conectadas a la estructura.

Daños Observados: Agrietamiento en losa dirección paralela al eje 1. Agrietamientos y desprendimientos de mampostería de fachada. Focos de corrosión incipiente (Fotos A39-1 a A39-2).

Grado de Daño: Grado 2.

Porcentaje de afectación: 80%

Foto 26- Edificio Spondilus



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.4.40.- Edificio 40- EN ESQUINA.

Ubicación: Av. Riofrio con Calle Salinas (Zona SW).

Número de Niveles: PB + 5 plantas.

Descripción: Ubicado al inicio de la subida al Barrio San Roque, tiene un número escalonado, desde 3 hasta 6 niveles (Foto A40-1).

Daños Observados: No se apreciaron daños en esta edificación, salvo alguna

grieta menor.

Grado de Daño: Grado 0.

Porcentaje de afectación: 10%

Foto 27- Edificio en Esquina



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.5. - Lecciones y recomendaciones de diseño del sismo de Bahía. Anexo Documental No. 2.

El sismo de Bahía de Caráquez del 4 de agosto de 1988, es el más importante ocurrido en el Ecuador desde el punto de vista de los daños a las edificaciones; esto es verdad a pesar de que en el pasado se han producido eventos más severos. En esta oportunidad afectó a una ciudad con gran cantidad de edificios nuevos, de altura intermedia, en cuyos proyectos intervinieron arquitectos e ingenieros de reconocido prestigio de las principales ciudades del país, principalmente de la capital Quito, y por tanto refleja el estado del que hacer ingenieril de nuestro país.

Lo anteriormente dicho hace que las lecciones que de este lamentable terremoto se deriven, deban ser tomadas en cuenta para estimar lo que puede ocurrir en el futuro en otras ciudades ecuatorianas que tienen inclusive mayor cantidad de edificaciones que Bahía, en caso de que eventos de igual o mayor severidad se produzcan y que estén lo bastante cercanos para que las afecten.

Los aspectos aquí presentados se basan en estudios detallados realizados por la Escuela Politécnica Nacional en 7 edificios afectados por el sismo del 4 de agosto de 1998, entre los puntos más importantes se destacan los siguientes:

4.3.5.1.- Pesos Excesivos.

En los edificios estudiados en general se encontró enlucidos o recubrimientos de grandes espesores, en casi todos los elementos estructurales, paredes, pisos, columnas, vigas, losas, fachadas, antepechos, etc. Los recubrimientos más grandes se presentaron en paredes de fachada que tenían falta de verticalidad en donde se pudo constatar grosores de hasta 12 cm, y en enlucidos de paredes curvas. También fue frecuente el uso de paredes dobles por razones arquitectónicas, y de muebles de mampostería fijos y conectados a la estructura, como camas, veladores, closets, muebles para empotrar televisores, y muebles auxiliares en baños. El peso estimado de una cama grande de estas características es de aproximadamente 3000 kg. Con todos estos excesos, la mampostería usada es en general pesada, pero sólo por concepto de mampostería se llegó a valores de hasta 450 kg/m², que con relación a lo que estaba contemplado en las memorias de cálculo representa un aumento del peso de hasta 220% de lo considerado en ese rubro. Todo esto representa una masa adicional innecesaria que incrementa las fuerzas inerciales por el sismo.

Foto 28- Pesos excesivos



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.5.2.- Falta de Arriostramiento en las Paredes.

La mampostería estaba dispuesta, por lo general, fuera del plano de los elementos portantes, y no se constató la presencia de elementos que ligen la tabiquería a la estructura; en muchos casos se ubicaron en fachadas que estaban en volados grandes, con cambios de dirección a 90 grados, en cuyas intersecciones no se colocó ningún elemento de arriostramiento. Esto dio lugar a extensos daños muy costosos de reparar, y en algunos casos con consecuencias fatales por el desprendimiento y caída de escombros.

En los casos en que la mampostería coincidió con los ejes de los pórticos y estaban confinados por las columnas y vigas la diferencia de comportamiento fue notoria con las anteriormente descritas pues éstas en general no sufrieron daños, o los tuvieron en muy pequeña cantidad.

4.3.5.3.- Flexibilidad de los Edificios.

En la mayoría de edificios estudiados se encontró que estos son muy flexibles, pues en los análisis realizados de los mismos para las fuerzas laterales por sismo propuestas por el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), y evaluadas en base al período calculado de acuerdo con la fórmula aproximada para la determinación del período, proporcionada por el mismo código, (generalmente el período evaluado de esta manera es menor que el calculado en base a las propiedades de masa y rigidez de la estructura con un análisis dinámico, y por tanto conduce a fuerzas mayores), las derivas calculadas sobrepasaron los límites establecidos por el CEC. En el siguiente cuadro se aprecian las derivas calculadas para los edificios examinados, y también se presentan los períodos encontrados de un análisis dinámico de las estructuras.

Cuadro 10- Derivas calculadas y períodos de vibración

Derivas calculadas y períodos de vibración			
EDIFICIO	# DE PISOS	DERIVA MAX	PERÍODOS
Mikonos	10	0.0056 - 0.0081	1.86, 1.60
Nautilus	9	0.0048	1.26, 1.15
2 Hemisferios	9	0.0084	2.09, 1.95
Salango	9	0.0055 - 0.0080	1.88, 1.59
El Almirante	8	0.00400	1.24
Calipso	6	0.00312	1.33, 1.18

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

A fin de tener un parámetro de comparación, se listan a continuación los límites de las derivas permisibles por diferentes códigos.

Cuadro 11- Derivas permisibles en diversos códigos

Derivas permisibles en diversos códigos		
CODIGO	DERIVA LIMITE	
CEC	Edif. con muros de corte	$\Delta=0.004 h_n$
	Edif. con pórtico espacial	$\Delta=0.033 h_n$
ATC3	Edif. de Horm Grup Exp 1,2	$\Delta=0.025 h_n$
	Edif. de Horm Grup Exp3	$\Delta=0.017 h_n$
UBC/94	Edif. de Horm con $T < 7\text{seg}$	$\Delta=0.033 h_n$
	Edif. de Horm con $T \geq 7\text{seg}$	$\Delta=0.025 h_n$

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

A pesar de que en buena parte de las estructuras no se constataron daños típicos de incursiones inelásticas los daños en la mampostería fueron generalizados y muy pronunciados. Se estima que la aceleración máxima del suelo durante el sismo del 4 de agosto de 1998 estuvo entre el 15% y el 20% de la gravedad, por tanto se puede ver que las ordenadas del correspondiente espectro de respuesta elástico dieron fuerzas reales mayores que las calculadas con el procedimiento pseudo estático del código; sin embargo, los extensos daños generalizados que se observaron en la tabiquería de las edificaciones de Bahía se atribuyen a que los edificios desde el inicio tenían una flexibilidad que en algunos casos sobrepasaba

con mucho a las derivas permisibles, por supuesto que también contribuyó el hecho de que la mampostería, como se ha dicho en general, no tenía ligazón con la estructura soportante o era de mala calidad.

4.3.5.4.- Irregularidades en Planta y Elevación.

La mayoría de los nuevos edificios de la ciudad de Bahía tienen configuraciones no usuales que se reflejan en grandes irregularidades tanto en planta como en elevación, producto de un excesivo predominio de la parte estética y funcional sobre los conceptos de comportamiento estructural en la distribución de ambientes y ubicación de elementos estructurales y no estructurales. Es común encontrar núcleos de muros de cortante alrededor de gradas o del ducto de ascensores, los cuales están ubicados hacia un lado de la planta de la estructura, dando lugar a grandes torsiones que son difíciles de compensar con otros elementos estructurales de naturaleza distinta en la parte opuesta de la planta, pues aunque este objetivo se logre en parte para el análisis lineal de la estructura, es casi imposible pensar que dicha compensación se mantenga cuando por efecto de un sismo severo la edificación incurse en el rango inelástico. La naturaleza dinámica de un evento sísmico da lugar, en muchas ocasiones, a una importante amplificación de los efectos de torsión, que generalmente es subestimado en su magnitud, esto considerando solamente que la estructura se comporte linealmente, si a esto añadimos la pérdida de rigidez que experimentan los elementos que incursionan en rango inelástico y que estaban destinados a "compensar" la torsión inducida por un núcleo de paredes de corte excéntrico, el resultado puede ser extremadamente grave. Como un indicativo de lo serio que puede ser este problema, baste señalar que el código UBC 94 da una fórmula para estimar un factor de amplificación de los efectos de torsión que puede dar valores de hasta tres.

Foto 29- Irregularidades en planta



Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de Agosto de 1998.
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

4.3.5.5.- Losas Armadas en una Dirección.

En la mayoría de los edificios revisados se constató que el sistema de piso consiste en una losa armada en una dirección, alivianada con cajones alargados de madera o caña, dejando entre cajones adyacentes "nervios" de hormigón de 10 a 15 cm de ancho; en la parte inferior y superior de estos alivianamientos se tiene una loseta de 5 cm de espesor reforzada con una malla de acero para efectos de contracción de fraguado o temperatura. Este sistema tuvo un comportamiento frágil y dio como resultado la aparición de grietas en las losetas a lo largo de los cajones de alivianamientos, tanto en la parte superior como la inferior, junto a las vigas que conectan las columnas en dirección paralela al armado de la losa, que son de costosa reparación y difíciles de ejecutar si se desea que no se vuelvan a fisurar en el próximo evento sísmico que se presente.

Además de lo antes mencionado se produce un efecto mucho más grave aún, y consiste en que en la hipótesis de diseño de este tipo de losa se considera que las vigas perpendiculares al armado de la losa llevan toda la carga vertical del piso, además de las cargas laterales inducidas por el sismo en esa dirección, en cambio, las vigas paralelas al armado de la losa no llevan ninguna carga vertical del piso excepto su peso propio, y sólo se encargan de amarrar a la estructura y

de llevar las cargas laterales que por sismo se presenten en esa dirección. Cabe indicar que esta hipótesis es bastante aceptada en nuestro medio ingenieril.

Pero por la manera de construir la losa de forma monolítica con las vigas, con doble loseta, una inferior y la otra superior, reforzadas con malla de acero electro soldada, tienen una buena capacidad a corte y momento en la dirección transversal al armado, ya que lo que más contribuye a la inercia y por tanto a la rigidez de la losa son las losetas antes que los nervios, y la única diferencia con la inercia en la otra dirección son los nervios que existen en esa dirección, pero como éstos se ubican a cada 90 cm, contribuyen muy poco a la rigidez, por lo que se puede afirmar que las inercias en ambas direcciones son similares, y por tanto hay transmisión de carga hacia las vigas de ambas direcciones, prácticamente como en una losa normal.

Lo anteriormente expuesto indica que las vigas y pórticos ubicados paralelos al armado de la losa resultan en realidad subdimensionados y subreforzados, ya que la carga vertical captada por éstos agota la capacidad que estaba destinada a llevar la carga lateral sísmica en esa dirección, poniendo en situación peligrosa y comprometiendo la estabilidad de todo el edificio. En cambio en la otra dirección, los pórticos resultan sobre-reforzados, en virtud de que estaban diseñados para llevar toda la carga vertical del piso, pero en la realidad las vigas en el sentido perpendicular le ayudan a llevar casi la mitad de la carga, quedando por tanto una reserva adicional para los efectos del sismo en esa dirección.

Precisamente este efecto constituyó una de las causas del colapso del edificio Calipso, que se volteó totalmente, precisamente en la dirección del armado de la losa, es decir en la dirección de esos pórticos débiles ante fuerzas laterales por la consideración o hipótesis de cálculo inicial. En el caso de este edificio, también contribuyeron al colapso otras condicionantes tales como la presencia de una planta baja libre de mampostería, la ubicación de la piscina, lo que constituyó a dicha planta en un piso blando. El confinamiento parcial de algunas columnas de la planta baja por las paredes de hormigón de la piscina, produjo un efecto de columna corta. Si además se considera que las columnas tenían un escaso

confinamiento, se tienen todos los elementos necesarios para producir el lamentable desenlace.

4.3.5.6.- Mampostería muy rígida y frágil.

Las características mecánicas de la mampostería usada la hacen pesada, frágil y muy rígida, con muy poca capacidad de deformarse sin romperse, lo que fue causa de gran cantidad de daños en los acabados de las edificaciones. La gran rigidez que posee dicha tabiquería la hace muy ávida de captar fuerza, pero una vez que toma dicha fuerza no tiene la capacidad de resistirla y su poca deformidad no le permite transferir y compartir las fuerzas captadas hacia los elementos estructurales que son más dúctiles; sólo transfiere dichas fuerzas una vez que se ha superado su resistencia y se ha roto, y desde ese momento sufre una degradación agresiva que poco contribuye a la disipación de energía por rozamiento entre las grietas formadas, más aún cuando se encuentra sin ligazón o confinamiento con los elementos estructurales.

Sin embargo se puede afirmar que gran parte de la energía inicial introducida por el sismo se invirtió en dañar la mampostería antes indicada, y que esto posiblemente evitó o minimizó los daños en la estructura propiamente dicha, (aunque a un costo demasiado alto); esto ocurrió en algunos casos afortunados, en otros, las características de rigidez alteraron completamente el comportamiento de la estructura ante el sismo produciendo graves problemas estructurales como pisos bajos "blandos", (caso del edificio Calipso, que colapso completamente), o de columnas cortas, (caso del edificio Los Corales, que sufrió severos daños en las columnas, y estuvo a punto de colapsar).

Por lo anteriormente expuesto, se ve la necesidad de proveer a la mampostería de algo de ductilidad a través de un pequeño reforzamiento y confinamiento, además, es indispensable considerar sus características de rigidez y resistencia en el análisis y el diseño tanto de los elementos estructurales como de la mampostería misma.

4.3.5.7.- Volados Extremadamente Grandes.

Es generalizado el uso de grandes volados en la ciudad de Bahía, (entre 2 y 3.5 metros), para balcones, terrazas, etc., explicable por tratarse de uno de los mejores balnearios del Ecuador. Sin embargo, éstos fueron causa de agrietamientos en las losas en el inicio de los mismos, evidenciando que una componente adicional de fuerza a las consideradas en los cálculos se introdujeron durante el sismo, debido a la componente vertical propia de las ondas sísmicas y a la amplificación dinámica correspondiente al espectro de respuesta para esa componente de la aceleración.

Cabe indicar que un volado de pequeña dimensión (de 1.0 - 1.2 m), por regla general es muy rígido y da lugar a muy poca amplificación dinámica, pero al duplicarse o triplicarse la longitud, sin aumentarse prácticamente su rigidez (puesto que esta depende del peralte, y éste está limitado en la mayoría de casos por el espesor de la losa), la flexibilidad aumenta entre 8 y 27 veces, con lo cual aumenta el período de 3 a 5 veces, lo que hace que la respuesta se amplifique rápidamente pudiendo llegar al máximo de la ordenada del espectro, (2.5 veces la aceleración vertical o más).

4.3.5.8.- Concentraciones de Esfuerzo en Losas Alrededor a los Extremos de Muros de Corte.

Un caso de interés se presentó en el edificio Nautilus. Este tiene 9 niveles, y posee un núcleo de paredes de corte alrededor del ascensor, una de cuyas paredes se alargó con el objeto de conseguir mayor rigidez lateral, terminando sus extremos fuera de los ejes de las vigas, en el interior de un panel de losa, ya que el ducto del ascensor tiene sus paredes giradas aproximadamente 45° con relación a los ejes de los pórticos. Como consecuencia de esta disposición se presentaron en las losas agrietamientos que se inician en los extremos de dicho muro de corte, y que atraviesan todo el panel, hasta las columnas ubicadas en las esquinas opuestas a las terminaciones del muro; esto, a pesar que las losas estaban armadas en dos direcciones.

Lo anterior evidencia un efecto de punzonamiento, de concentración de esfuerzos cortantes y de flexión en la losa alrededor de los extremos del muro de corte. Hubiera sido deseable la colocación de cabezales o elementos limitantes, en el extremo de dicho muro, y de vigas (colectores) que conecten dichos cabezales hacia las columnas en los extremos opuestos del panel, a fin de proveer una transición adecuada de los esfuerzos producidos por la extensión o acortamiento de las fibras extremas de ese muro, (movimiento perpendicular a la losa), por efecto de la flexión ocurrida en el mismo por las fuerzas laterales inducidas por el sismo.

4.3.5.9.- Flexibilidad de la Losa de Cimentación.

De los siete edificios estudiados por la EPN, se encuentra que la mayoría tenía por fundación una losa de cimentación por lo general superficial, por el alto nivel freático existente en la ciudad. La hipótesis usual de cálculo es considerar que el edificio está empotrado en su base, sin embargo es importante verificar la validez de dicha hipótesis en cada proyecto determinado, pues puede causar sorpresas desagradables. Un caso notable de lo anteriormente dicho se presentó en el edificio Cabo Coral, de 10 pisos de altura, planta rectangular de aproximadamente 550 m² por piso; el modulado entre ejes de columnas es de 10 metros en la dirección larga del rectángulo, (de - 30 metros), y en la dirección perpendicular se ubican 4 ejes, formando dos vanos laterales de 7.5 m de luz, y un central de 3.0m aproximadamente; tiene vigas descolgadas, y el sistema de piso es una losa armada en una dirección.

En los dos extremos del edificio en el medio de los lados cortos del rectángulo de la planta, se encuentran sendos núcleos de muros de corte, por una parte ubicados alrededor de los ductos de los ascensores, y en el lado opuesto ubicados alrededor de las escaleras de emergencia. En lo referente a la fundación, es una losa de cimentación de 1. 10 metros de espesor. Al analizar el edificio como empotrado en su base, éste es bastante rígido y poco deformable, y no explica por qué sufrió daños severos en la mampostería de todos los pisos del edificio inclusive de la terraza, marcando un contraste con otros edificios de similar altura mucho más deformables, en donde los daños en la mampostería

van disminuyendo en los pisos superiores hasta prácticamente desaparecer en el último nivel.

Si bien es verdad que la cimentación es una losa maciza de hormigón de 1.10 metros de espesor, también se observa que los núcleos de muros de corte tienen cerca de 35 m de altura, son sumamente rígidos, y captan cerca del 80% de carga sísmica lateral, concentrando casi todo el momento volcante del edificio en la base de los mismos y que además éstos se ubican en los bordes del rectángulo de la losa de cimentación. Se puede apreciar que dicha losa no le proporciona el tan deseado empotramiento supuesto en el cálculo.

En efecto, al incorporar en el modelo del edificio la losa cimentación y el suelo en que se apoya con sus rigideces características, se encuentra que la deriva máxima llega a ser más del 8/1000 de la altura del entrepiso, es decir que crecieron en más de 300% con relación edificio empotrado en su base, (deriva menor al 2.5/1000). Además se encontró que esta deriva es casi constante en todos los niveles, puesto que el pórtico espacial formado por las columnas y vigas, tiene muy poca rigidez lateral por sus grandes luces entre los ejes de las columnas, y por tanto es incapaz de sostener o evitar que los muros se desplacen lateralmente y giren en la base. Esto explica perfectamente los daños generalizados observados en la mampostería de todos los pisos.

4.3.5.10.- Cisternas en la Losa de Tapagrada.

En varios edificios se pudo observar la ubicación de cisternas en las losas de tapagrada, es decir por sobre la última planta, con un doble agravante, primero la rigidez lateral disminuye drásticamente, porque las columnas que suben hasta el nivel de la cisterna son sólo las que se ubican alrededor de las escaleras, y segundo se aumenta una masa considerable, esto último, considerando que la fuerza lateral por sismo en un nivel cualquiera es proporcional a la masa y a la altura del nivel sobre la base; por tanto no sólo se está incrementando el corte basal que luego se distribuiría en la altura, sino que se incrementa el corte en todos los pisos en una cantidad equivalente al coeficiente sísmico por el peso de dicho apéndice y por el número de niveles, y mucho más aún para el caso del momento volcante en la base.

Además de lo dicho, por la flexibilidad lateral de este nivel donde se encuentra la cisterna y por la gran masa que ésta posee, se puede esperar un período alto de vibración de este nivel considerándolo independientemente, que podría asemejarse al período del edificio completo, produciéndose una amplificación en la respuesta del nivel de la cisterna, por un efecto similar al de resonancia, agrandando el efecto de látigo que se produce en el edificio.

CAPITULO V

5.- Sistemas de protección Sísmica

5.1.- Definición de Protección Sísmica.

Los sistemas de protección sísmica se encuentran presentes entre la subestructura y la superestructura de edificios, puentes y también en algunos casos en la misma superestructura de edificios, de ahí su clasificación en Aislamiento Sísmico de Base (Basal) y Disipadores Sísmicos. Estos dos sistemas de protección sísmica permiten mejorar la respuesta sísmica de ellos, aumentando los periodos, proporcionando amortiguamiento y absorción de energía adicional, reduciendo sus fuerzas sísmicas, sus deformaciones, sus derivas de piso; según sea el caso.

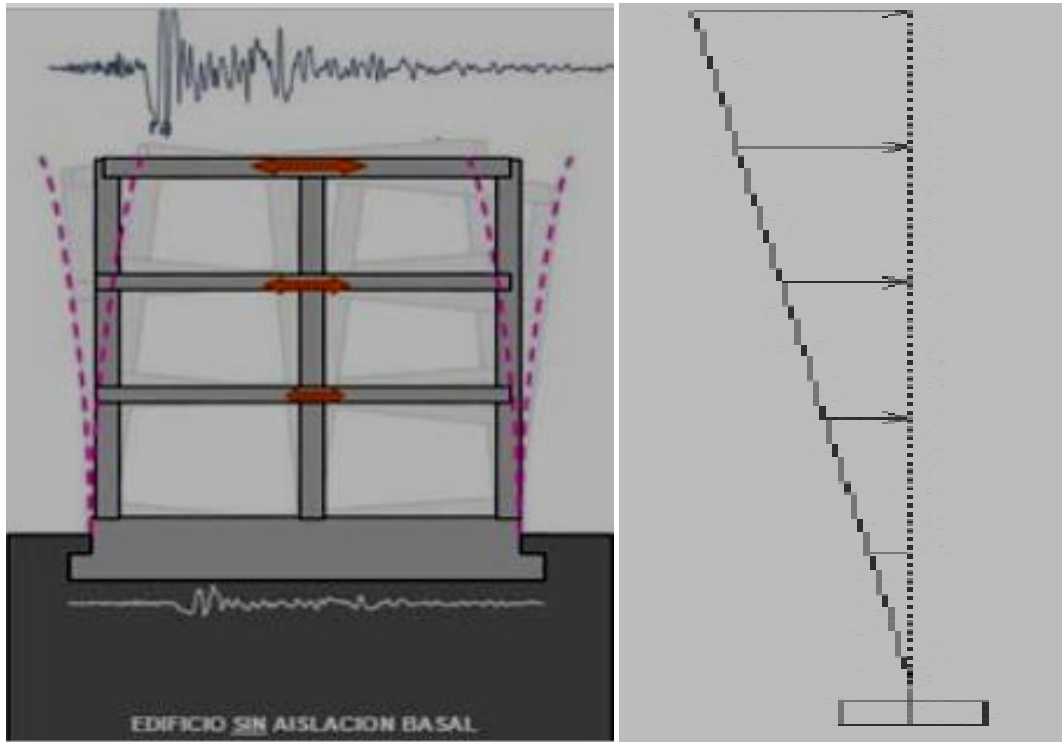
5.2.- Aislación Sísmica.

Consiste en desacoplar la estructura de la sub-estructura por lo que se utilizan los dispositivos llamados aisladores que se ubican estratégicamente en partes específicas de la estructura; los mismos que en un evento sísmico, proveen a la estructura la suficiente flexibilidad para diferenciar la mayor cantidad posible el periodo natural de la estructura con el periodo natural del sismo, evitando que se produzca resonancia, lo cual podría provocar daños severos o el colapso de la estructura.

Para que disipe mayor cantidad de energía estos dispositivos que se colocan en los edificios entre la cimentación y la superestructura; tienen gran capacidad para soportar cargas verticales pero comparativamente muy poca rigidez lateral frente a fuerzas cortantes horizontales, de tal manera que presentan grandes ciclos de histéresis ante las cargas de sismo, lo que ocasiona el aumento del amortiguamiento y a la vez la reducción tanto de las fuerzas internas en los elementos estructurales, la deriva en cada nivel y la amplitud de los movimientos vibratorios. Esto es posible debido a que gran parte de la energía proveniente del movimiento sísmico es absorbida por el sistema de aislamiento, siendo transmitida sólo una pequeña fracción a la superestructura del edificio, y además porque al incrementarse el periodo fundamental, la fuerza cortante en la base disminuye;

mejorándose de forma notable su respuesta dinámica, esto se debe a que los aisladores desarrollarán mayor amortiguamiento que la superestructura.

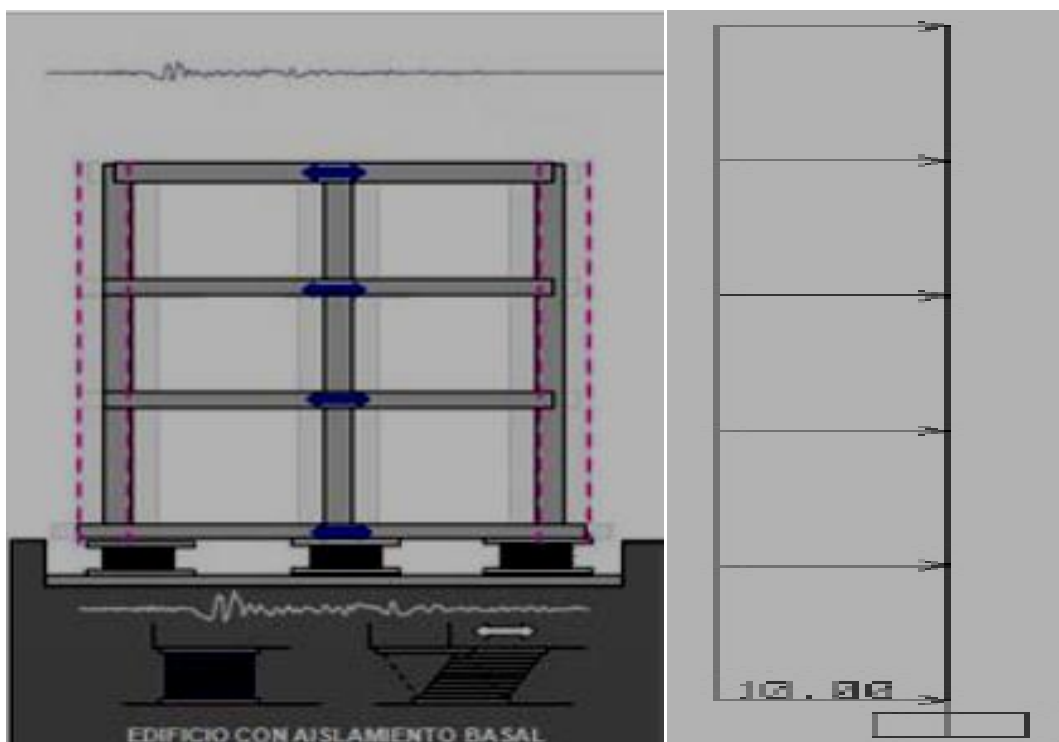
Figura 57- Edificio sin aislación basal



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 58- Edificio con aislación basal



Fuente: google.com

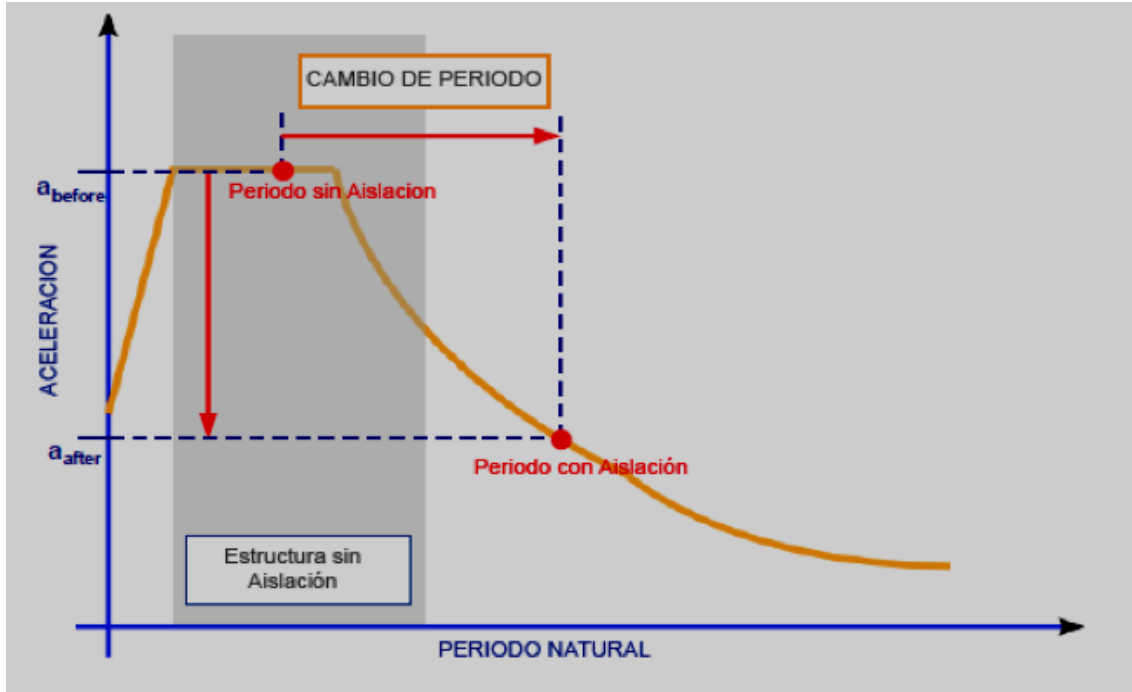
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La reducción de la respuesta sísmica en un edificio aislado, se expresa en la reducción de la deriva y las fuerzas sísmicas en cada nivel y en el incremento del amortiguamiento. Si observamos la Figura. 5.2 a, la deformada es triangular y la Figura. 5.2.b, es cercana un rectángulo, de esto también podríamos decir que la estructura convencional presenta amplificaciones en la aceleración y desplazamientos, según la altura del edificio va aumentando; mientras que la estructura aislada no presenta amplificaciones de este tipo.

Esta técnica brinda los mejores resultados al ser aplicada a edificios rígidos emplazados sobre suelos también rígidos, puesto que al incrementarse grandemente el periodo fundamental del sistema estructural compuesto, la reducción de las fuerzas sísmicas y los desplazamientos de entrepiso es mucho mayor que en casos donde el suelo de fundación es flexible y/o el edificio también lo es. En consecuencia, no es conveniente aislar edificaciones emplazadas sobre suelos blandos.

5.2.1.- Espectro General de Diseño. (Reducción de aceleración mediante aislación sísmica).

Figura 59- Espectro General de Diseño



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Los aisladores sísmicos actúan modificando el periodo natural de la estructura no aislada de modo de reducir la aceleración sobre la estructura aislada.

5.2.2.- Características que poseen los aisladores sísmicos:

- a.- Desempeño bajo de las cargas de servicio, verticales y horizontales.
- b.- Prevé la flexibilidad horizontal suficiente para alcanzar el periodo natural de la estructura aislada.
- c.- Capacidad de la estructura de retornar a su estado original sin desplazamientos. Provee un adecuado nivel de disipación de energía, de modo de controlar los desplazamientos que de otra forma pudieran dañar otros elementos estructurales.
- d.- No es recomendable el uso de aisladores sísmicos, cuando existe estructuras que se van a cimentar en suelos blandos.

Los objetivos principales son dos:

- a.- Mayor seguridad sísmica de la estructura (y por ende de las personas) a través de la minimización o incluso eliminación de daños en ella.
- b.- Salvaguardar los contenidos de la estructura manteniendo el funcionamiento de ella después del sismo.

En general una estructura aislada es al menos 5 veces más segura que una estructura convencional fija al suelo. De hecho, los esfuerzos producidos por el sismo en la estructura con aislación sísmica son del orden de 10 veces más pequeños que los de una estructura convencional fija al suelo. Esta reducción de esfuerzos es la que implica que la estructura permanecerá sin daño incluso durante un sismo de grandes proporciones.

Los aisladores están garantizados por una vida útil de 50 años mínimos. El diseño se hace proveyendo a los aisladores de una fijación que les permite ser fácilmente removidos y cambiados en cualquier momento sin interrumpir el funcionamiento del edificio. Los aisladores son ensayados en forma dinámica uno a uno antes de ser colocados en el edificio. Estos ensayos son extraordinariamente exigentes y permiten garantizar las propiedades de rigidez y amortiguamiento de los aisladores.

5.2.3.- Tipos de Aisladores Sísmicos.

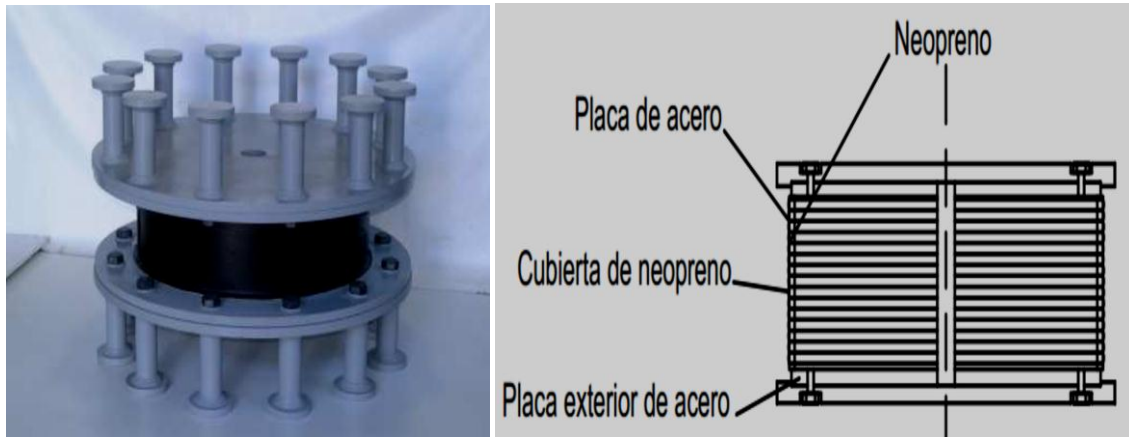
5.2.3.1.- Aislador Elastomérico de Bajo Amortiguamiento (LDRB).

Estos sistemas son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos, se forman de caucho natural de bajo amortiguamiento; han sido usados vinculados con dispositivos de amortiguamiento adicionales. La rigidez horizontal del aislador es controlada por el bajo módulo de corte del caucho. El comportamiento del material en cortante es casi lineal hasta deformaciones del 100%, con amortiguamiento hasta 7%. Las ventajas de los aisladores de caucho de bajo amortiguamiento son:

- a.- La fácil manufactura, moldeado simple, y sus propiedades mecánicas no son afectadas por la temperatura y el envejecimiento.

b.- La única desventaja es que por lo general van acompañados por sistemas de amortiguamiento adicional.

Figura 60- Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento



Fuente: google.com

Elaborado : Edison Jairo Narváez Changuan

5.2.3.2.- Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento (HDRB).

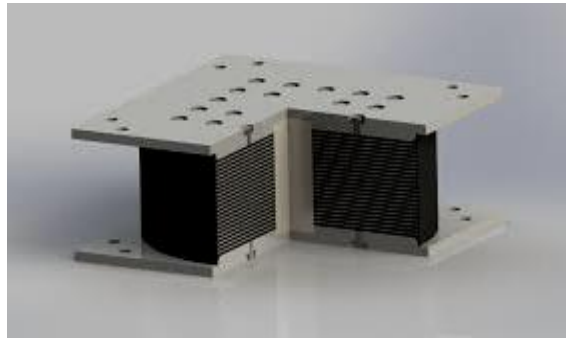
Son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados elementos como carbón, aceites y resinas; con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10 y 15%.

Este incremento en rigidez y amortiguamiento, tiene un comportamiento que será rígido para pequeñas solicitaciones. Casi lineal y flexible para un nivel de diseño y que puede limitar los desplazamientos para niveles de solicitación mayor; se presentan los siguientes casos:

- Para deformaciones por corte menores que el 20%, el material tiene un comportamiento no lineal y se caracteriza por su alta rigidez y amortiguamiento, minimizando la respuesta bajo cargas sísmicas pequeñas.
- Para deformaciones por corte de entre el 20% y el 120% el módulo de corte es bajo y constante.
- Para deformaciones por corte mayores, el módulo de corte se incrementa debido al proceso de cristalización por deformación del caucho, lo cual va acompañado con un incremento en la energía disipada.

Los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDRB; a su vez los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga.

Figura 61- Aislador elastomérico de alto amortiguamiento



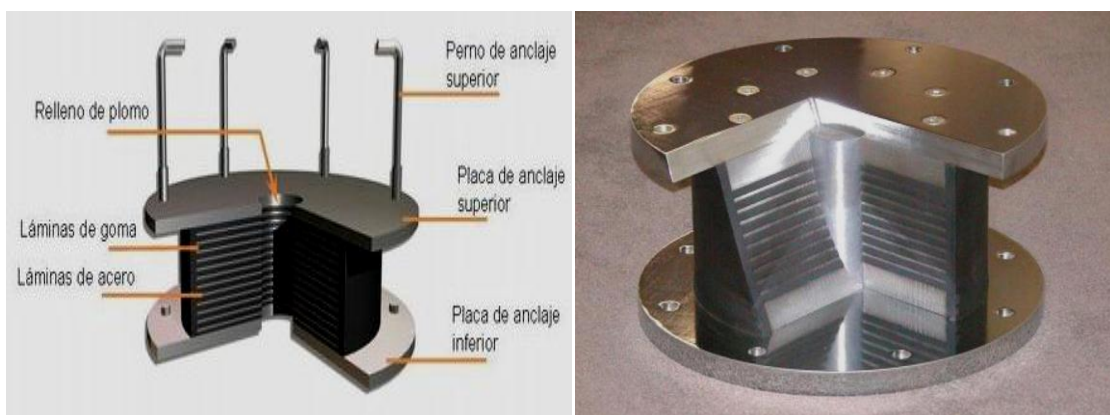
Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.2.3.3.- Aislador Elastomérico de Núcleo de Plomo (LRB).

Este es el aislador considerado para el desarrollo del presente análisis, son similares a los anteriores, (compuestos por láminas de caucho y acero de forma intercalada) pero contiene un núcleo de plomo que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema a niveles entre el 25 y 30%, estos núcleos de plomo van ubicados en el centro, de modo que al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye; incurriendo en deformaciones plásticas y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo se recristaliza, de esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. La rigidez inicial y el amortiguamiento efectivo del aislador dependen del desplazamiento.

Figura 62- Aislador elastomérico de núcleo de plomo (LBR).



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.2.3.4.- Los aisladores de base Péndulo Friccional (FPS).

Es un aislador FPS (*Frictional Pendulum System*); consiste de un deslizador articulado sobre una superficie de acero inoxidable de forma esférica. Las características de estos apoyos son:

a.- La superficie deslizante esférica de acero inoxidable pulido y el deslizador articulado, que está revestido con un material compuesto, de alta capacidad de soporte basado en politetrafluoroetileno (teflón) que tiene un bajo coeficiente de fricción (aproximadamente 5 a 7%).

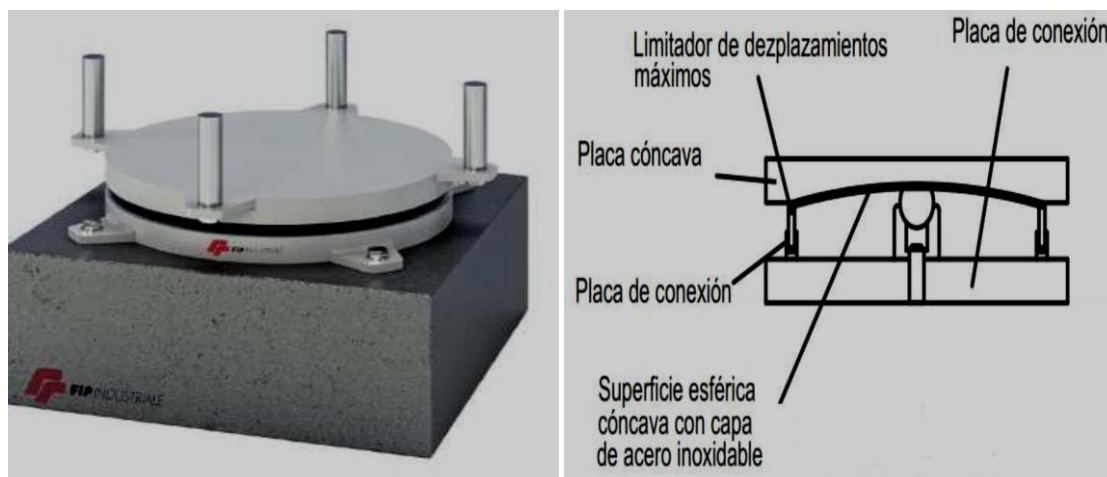
b.- Los apoyos están sellados e instalados con la superficie deslizante boca abajo, para evitar la contaminación de la interfaz de deslizamiento. Este dispositivo, trabaja limitando la transferencia de corte a lo largo de la superficie de aislación, y cuanto menor sea el coeficiente de fricción menor será el corte transmitido. Para proveer una adecuada resistencia a las cargas del viento, y evitar movimientos innecesarios bajo pequeños sismos u otras perturbaciones, se necesita un valor adecuadamente alto del coeficiente de fricción. Uno de los problemas que presentan este tipo de dispositivos es que no tienen ninguna fuerza efectiva de recuperación. Estas fuerzas pueden introducirse combinando este tipo de dispositivo con los elastoméricos.

c.- El aislador FPS, proporciona una rigidez relativa al desplazamiento lateral directamente proporcional al peso de la estructura e inversamente proporcional al radio de curvatura. Una de las propiedades de interés de este dispositivo, es su capacidad en proporcionar períodos y desplazamientos largos, manteniendo su capacidad portante de utilidad ante la presencia de terremotos caracterizados por la presencia de pulsos largos.

d.- El aislador FPS es activado sólo cuando la fuerza de corte sobre la interfaz de aislación debida a las fuerzas sísmicas, supera la fuerza de fricción estática. Una vez en movimiento, el cursor articulado (deslizador) se mueve a lo largo de la superficie esférica cóncava, causando la elevación de la masa soportada, con movimientos equivalentes a los de un péndulo simple. Los resultados de aislación basal deseados, se alcanzan por la geometría del apoyo y la gravedad. Durante la elevación a lo largo de la superficie esférica, el aislador desarrolla una fuerza resistente lateral, igual a la combinación de la fuerza friccional movilizada y una fuerza de restauración inducida por la gravedad. Verdaderamente, esta última fuerza es la fuerza de restauración del sistema.

En base a lo indicado, en el párrafo anterior se tienen dos fases en un sistema FPS, la primera denominada de agripamiento en que el deslizador no se mueve y la segunda que corresponde al deslizador en movimiento.

Figura 63- Los aisladores de base péndulo friccional (FPS)



Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.3.- Disipación Sísmica.

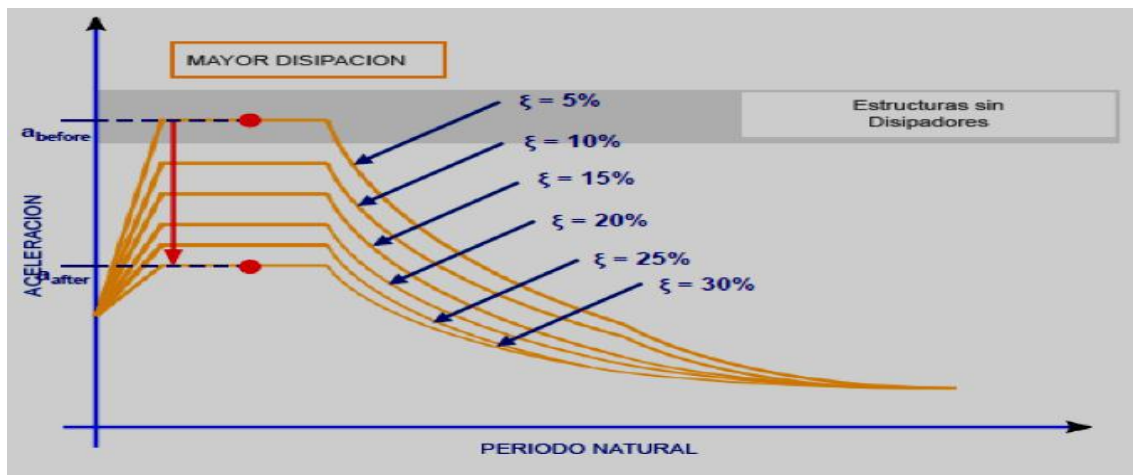
La disipación sísmica es una de los componente esenciales en la protección sísmica, los disipadores tienen como función como su nombre lo expresa, disipar las acumulaciones de energía asegurándose que otros elementos de la estructuras no sean sobre exigidos, lo que podría provocar daños severos a la estructura. Las complejas respuestas dinámicas de la estructuras requiere de dispositivos adicionales para controlar los desplazamientos horizontales.

Los disipadores sísmicos, actúan disipando grandes cantidades de energía, asegurando que otros elementos estructurales no sufran demandas excesivas que signifiquen daños. Pero la mejor forma de asegurar la estructura durante un sismo es combinar ambos sistemas de protección sísmica, proporcionándole a esta una mayor capacidad de amortiguación durante un evento sísmico y una mejor respuesta durante este. Cuando existen estructuras donde el uso de aisladores sísmicos no es recomendable (Suelos Blandos), sistemas de

amortiguamiento con alta capacidad de disipación son la mejor alternativa de protección sísmica.

5.3.1.- Espectro General de Diseño. (Reducción de aceleración mediante disipación sísmica).

Figura 64 – Espectro general de diseño



Fuente: google.com
Elaborado por Edison Jairo Narváez Changuan

5.3.2.- Tipos de Disipadores.

5.3.2.1.- Disipadores RESTON SA.

Es un disipador de amortiguación hidráulica para disipar la energía y controlar desplazamientos.

Figura 65- Disipadores RESTON SA.



Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.3.2.2.- Disipadores RESTON STU.

Son dispositivos de conexión temporal que proveen una conexión rígida bajo movimientos de alta velocidad.

Figura 66- Disipadores RESTON STU.



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.3.2.3.- Disipadores RESTON PSD.

Son dispositivos de amortiguación de fluido viscoso diseñados para poseer una función de resorte que retorna a su posición al terminar el evento sísmico.

Figura 67- Disipadores RESTON PSD.



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.3.2.4.- Disipadores ADAS Y TADAS.

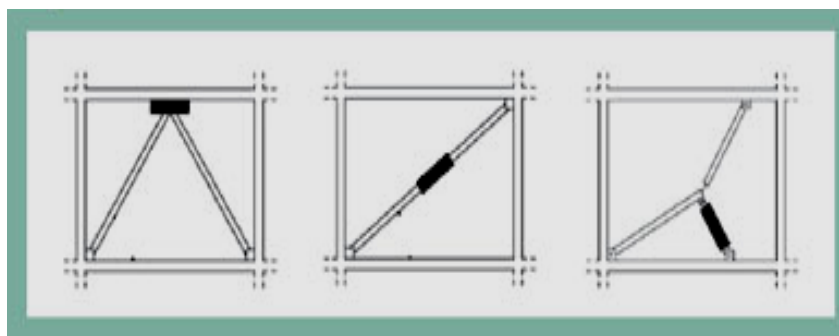
Los disipadores de energía son dispositivos diseñados para absorber la mayoría de la energía sísmica, evitando así que ésta sea disipada mediante deformaciones inelásticas (daño) en los elementos estructurales. Pueden ser

clasificados de acuerdo a su comportamiento como histeréticos o viscoelásticos. Ambos tipos de disipadores de energía suelen colocarse en arreglos de diagonales a lo alto de los entrepisos de los edificios.

Los disipadores histeréticos dependen esencialmente de los desplazamientos de la estructura. Los disipadores metálicos están basados en la fluencia de los metales debido a flexión, corte, torsión o extrusión. Uno de los dispositivos histeréticos más reconocidos es el ADAS (AddedDamping And Stiffness), compuesto por placas de acero con sección transversal en forma de X instaladas en paralelo sobre los arriostres. El diseño de los elementos ADAS requiere que sus placas queden comprimidas entre sí con fuerzas lo suficientemente elevadas como para lograr “empotrarlas” en sus extremos sin que ocurran desplazamientos relativos entre ellos. Por su parte en los dispositivos TADAS (Triangular AddedDamping And Stiffness), la parte superior de cada placa se conecta a un perno que permite que ésta gire libremente, similares a la mitad de una placa ADAS disipan energía por fluencia del material y se deforman en curvatura simple.

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se ha estudiado el comportamiento de dispositivos disipadores de energía en forma de “U” cuyo comportamiento histerético resulta estable. Éstos operan bajo el concepto de “rolado por flexión”; disipan la energía al desplazarse de manera similar que las “orugas” de un tractor. Diferentes configuraciones de diagonales, utilizadas para la colocación de dispositivos disipadores de energía sísmica.

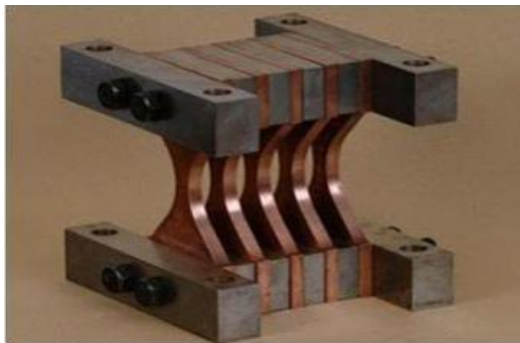
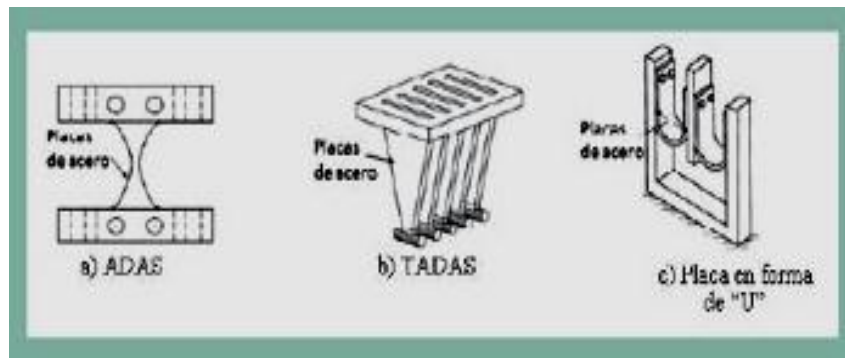
Figura 68- Disipadores diagonales



Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Diferentes tipos de disipadores de energía histeréticos.

Figura 69- Disipadores Tadas y Adas



Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Nárvaes Changuan

5.4.- Aisladores Sísmicos utilizados en obras civiles en Ecuador.

Las obras que se han construido con aislación sísmica han sido los puentes; al año 2014, se han construido puentes con aisladores de base tipo péndulo de fricción FPS, y un edificio con aisladores LASTO®LRB (apoyos elastoméricos con núcleo de plomo); en las siguientes provincias:

- Esmeraldas, en el estuario del río.
- Manabí, el que une las ciudades de Bahía de Caráquez con San Vicente y tal vez es el puente de mayor longitud con aisladores FPS ya que tiene una longitud de 1.8 km.
- Pichincha, uno sobre el Río San Pedro en Tumbaco y otro sobre el Río Chiche en Puembo.
- Guayas, Edificio SkyBuilding, ciudad de Guayaquil.

5.4.1.- Puente 1- LOS CARAS.

Lugar: Bahía de Caráquez y San Vicente, Provincia de Manabí - Ecuador.

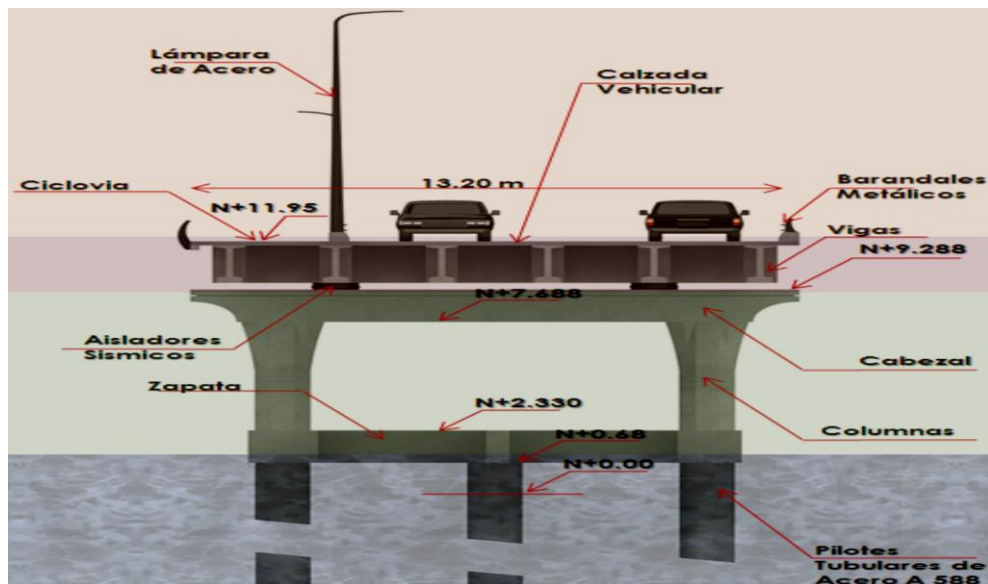
Longitud: Aproximadamente (1980m). 2 km.

Tipo de Aisladores: De base FPS (FrictionalPendulumSystem) de la tercera generación (Triple Péndulo de Fricción).

Año de Construcción: Inaugurado en agosto del 2010.

Construido por: El Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Figura 70- Sección transversal del Puente de Bahía de Caráquez



Fuente: (Romo y Mosquera, 2010).

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 71- Puente de Bahía de Caráquez



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.4.2.- Puente 2- NORTE 1.

Lugar: Sobre el estuario del río Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas - Ecuador.

Longitud: 108 m.

Tipo de Aisladores: De base FPS (FrictionalPendulumSystem) de la tercera generación (Triple Péndulo de Fricción).

Número de Aisladores: 9 FPS.

Número de Apoyos: 3.

Dimensiones de los Aisladores: Las dimensiones aproximadas del FPS son de 1.0 m., por 1.0 m. y 0.30 m., de alto. En la parte superior e inferior se encuentran dos placas de acero que le proporcionan una notable rigidez en sentido vertical, en cada placa existen cuatro aberturas por donde pasan los pernos de anclaje que tienen una longitud de 0.40 m; cada aislador pesa 1. 5 T.

Año de Construcción: Inaugurado en Mayo del 2010.

Construido por: El Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Figura 72- Vista longitudinal del Puente Norte 1



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.4.3.- Puente 3- NORTE.

Lugar: Sobre el estuario del río Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas - Ecuador.

Longitud: 120 m.

Tipo de Aisladores: De base FPS (Frictional Pendulum System) de la tercera generación (Triple Péndulo de Fricción).

Número de Aisladores: 9 FPS.

Número de Apoyos: 3.

Año de Construcción: Inaugurado en mayo del 2010.

Construido por: El Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Figura 73- Esmeraldas, Puente Norte



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.4.4.- Puente 4- SUR.

Lugar: Sobre el estuario del río Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas - Ecuador.

Longitud: 160 m.

Tipo de Aisladores: De base FPS (FrictionalPendulumSystem) de la tercera generación (Triple Péndulo de Fricción).

Número de Aisladores: 6 FPS.

Número de Apoyos: 2.

Año de Construcción: Inaugurado en mayo del 2010.

Construido por: El Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Figura 74- Esmeraldas, Puente Sur



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.4.5.- Puente 5- PRINCIPAL.

Lugar: Sobre el estuario del río Esmeraldas. Provincia de Esmeraldas - Ecuador.

Longitud: 434 m.

Tipo de Aisladores: Apoyos de Neopreno.

Año de Construcción: Inaugurado en mayo del 2010.

Construido por: El Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

5.4.6.- Puente 6- SAN PEDRO.

Lugar: Sobre el Rio San Pedro Tumbaco Provincia de Pichincha - Ecuador.

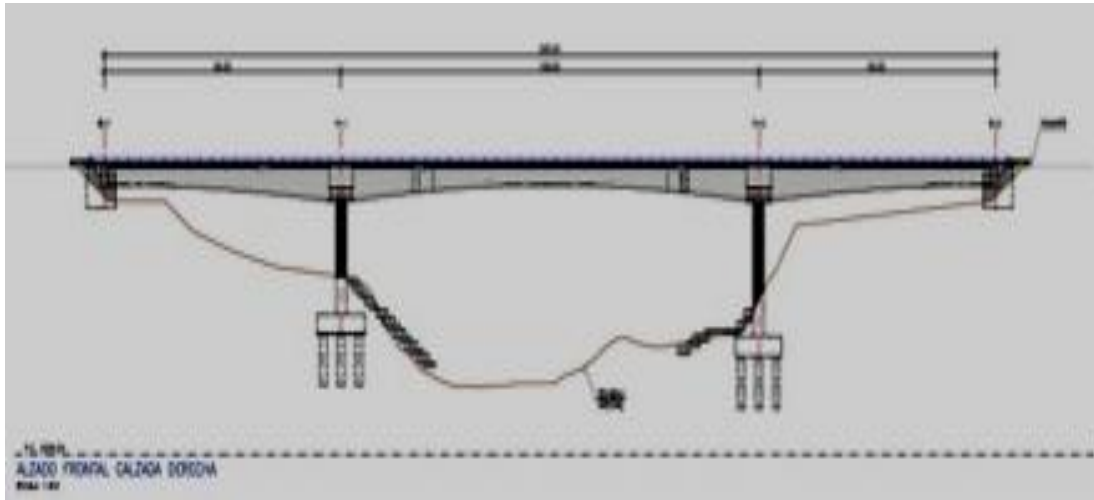
Longitud: 226 m entre ejes, tres secciones dos extremos de 60m y uno central de 106m. Sección transversal de 14m.

Tipo de Aisladores: En cada pila se disponen dos apoyos pendulares, los que proporcionan un sistema de aislamiento sísmico.

Año de Construcción: Inaugurado en mayo del 2014.

Construido por: El Grupo Puentes y Calzadas de España.

Figura 75- Tumbaco, Provincia de Pichincha, puente sobre el río San Pedro



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.4.7.- Puente 7- CICHE.

Lugar: Sobre el Río Chiche Puembo Provincia de Pichincha, Ecuador.

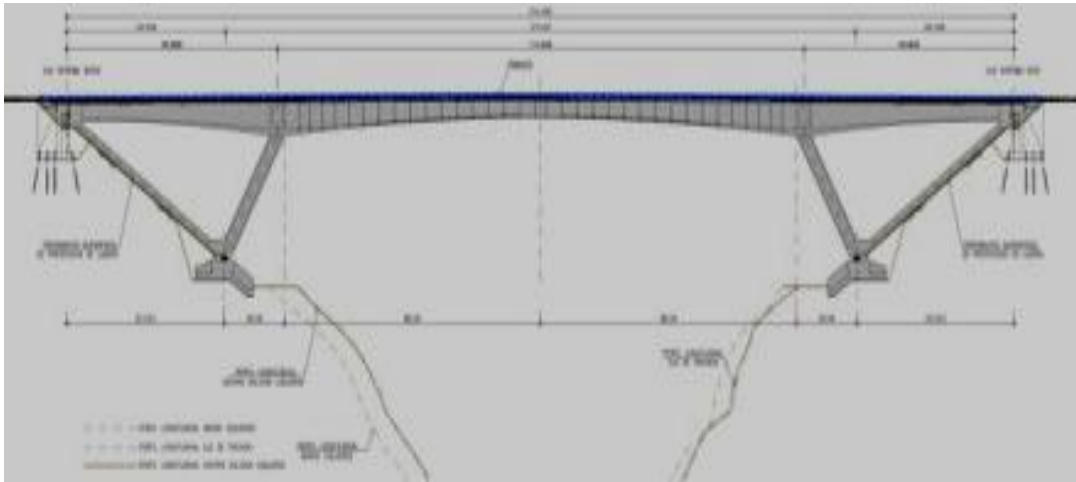
Longitud: 314,50 m entre ejes, tres secciones dos extremos de 69,90m y uno central de 174,60m. Ancho total del tablero de 14m.

Tipo de Aisladores: En cada pila se disponen dos apoyos pendulares, los que proporcionan un sistema de aislamiento sísmico.

Año de Construcción: Inaugurado en mayo del 2014.

Construido por: El Grupo Puentes y Calzadas de España.

Figura 76- Puembo Provincia de Pichincha, puente sobre el Río Chiche



Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

5.4.8.-Edificio 1- SKY BUILDING.

Lugar: Guayaquil, Provincia del Guayas, Ecuador.

Descripción del proyecto: El SkyBuilding en Guayaquil - Ecuador, será parte del complejo comercial Aerocity, localizado cerca del Aeropuerto Internacional de Guayaquil. Éste edificio de 15 plantas consiste de 4 pisos de estacionamiento y 11 pisos para oficinas.

El SkyBuilding ha sido diseñado con los últimos avances en términos de protección sísmica por una consultora líder en ingeniería sísmica en Ecuador. La estructura ha sido concebida para soportar severos terremotos sin sufrir daños que pongan en juego la capacidad de servicio del edificio durante cualquier momento.

Dispositivos Mageba: La estrategia de protección sísmica para el edificio está basado en el principio de aislamiento sísmico. 64 LASTO®LRB (apoyos elastoméricos con núcleo de plomo) de mageba se instalarán sobre los pisos de estacionamiento para aislar el movimiento del suelo, lo que proveerá de un movimiento suave a la estructura y aún más importante, de protección contra cualquier daño sísmico durante el terremoto. Se consideraron tres tipos diferentes de aisladores sísmicos para diferentes condiciones de carga. Además 44 deslizadores también contribuirán con el sistema de aislación.

Puntos destacados:

Productos Mageba:

Tipo: LASTO®LRB apoyo elastomérico con núcleo de plomo (aisladores)

Instalación: 2014-2015.

Ingeniería: Consulsísmica

Contratista: Construdipro S.A.

Figura 77- El edificio SkyBuilding en Guayaquil

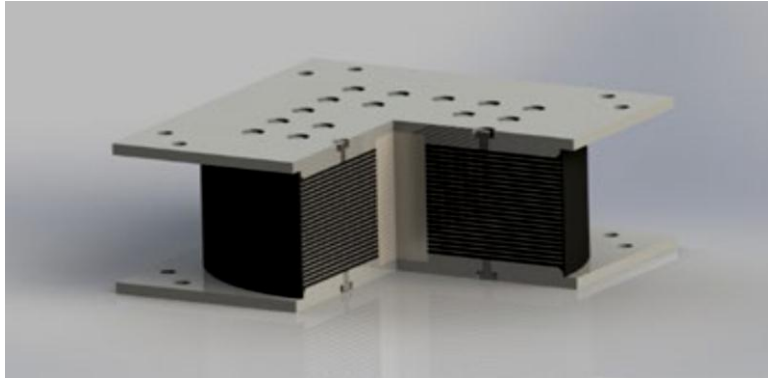


Fuente: google.com

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

El sistema de aisladores sísmicos LASTO® LRB que se instalarán en el SkyBuilding, se detalla a continuación:

Figura 78- Aislador Sísmico LASTO LRB



Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

LASTO®LRB a escala real preparado para pruebas en Italia bajo condición sísmica actual.

Figura 79- Aislador Sísmico LASTO LRB vista frontal



Fuente: google.com
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

CAPÍTULO VI

6.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

En este proyecto se presenta una investigación sobre la aplicación de un sistema sísmico de base (Aisladores Elastoméricos de Núcleo de Plomo LRB), realizando un análisis estructural comparativo de una estructura convencional versus una estructura aislada, para evaluar si es viable o no la implementación de aisladores sísmicos para el control de la respuesta sísmica de las edificaciones, para el objeto seguiremos el siguiente procedimiento:

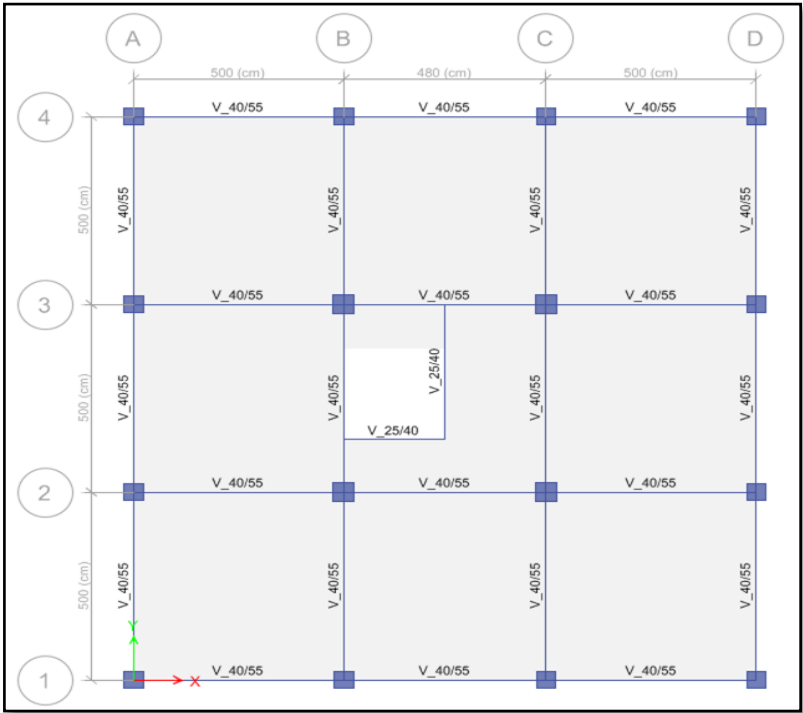
- 1.- Se va a realizar el diseño y análisis de una estructura convencional aplicando la norma vigente NEC-11 y el código ACI 318-08, utilizando el programa computacional ETAPS 2013.
- 2.- Se va a realizar el diseño y análisis de la misma estructura colocándole aisladores de base, para el objeto se utilizara los programas de CEINCI-LAB que están desarrollados en MATLAB, para lo cual es necesario realizar una hoja de datos requeridos para el análisis.
- 3.- Una vez terminados los dos diseños, tabulamos los resultados obtenidos para hacer una evaluación y determinar; si efectivamente utilizando los aisladores sísmicos de base existe una reducción en: las fuerzas sísmicas, las derivas de piso y en las secciones de acero y hormigón respecto a la estructura convencional.

6.1.- DISEÑO DE UN EDIFICIO CON SISTEMA CONVENCIONAL.

6.1.1.- Disposición geométrica del edificio.

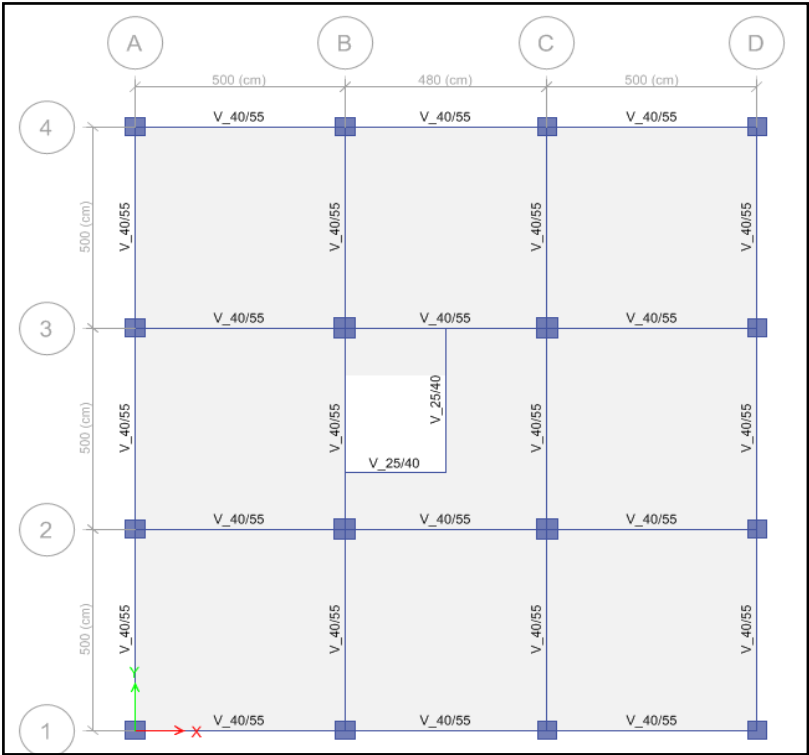
Se realizará el análisis de un sistema aporticado en 3D de un edificio de 5 plantas. Tras realizar el dimensionamiento de los elementos estructurales se obtuvo la distribución geométrica que se muestra a continuación.

Figura 80- Planta N+3.00.



Fuente: Autor
Elaborado: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 81- Planta N+6.00



Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changua

Figura 82- Planta N+ 9.00.



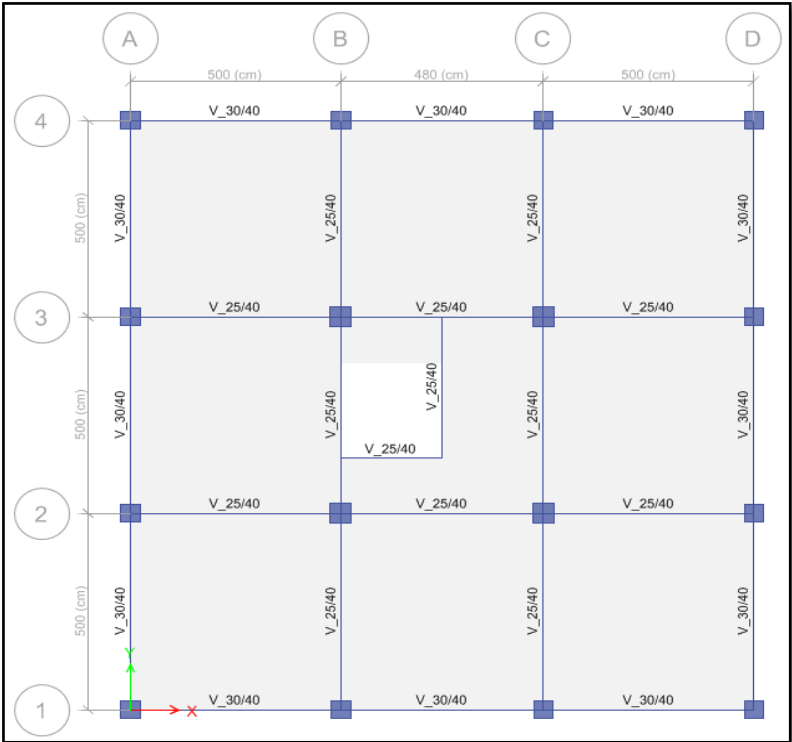
Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 83- Planta N+12.00.



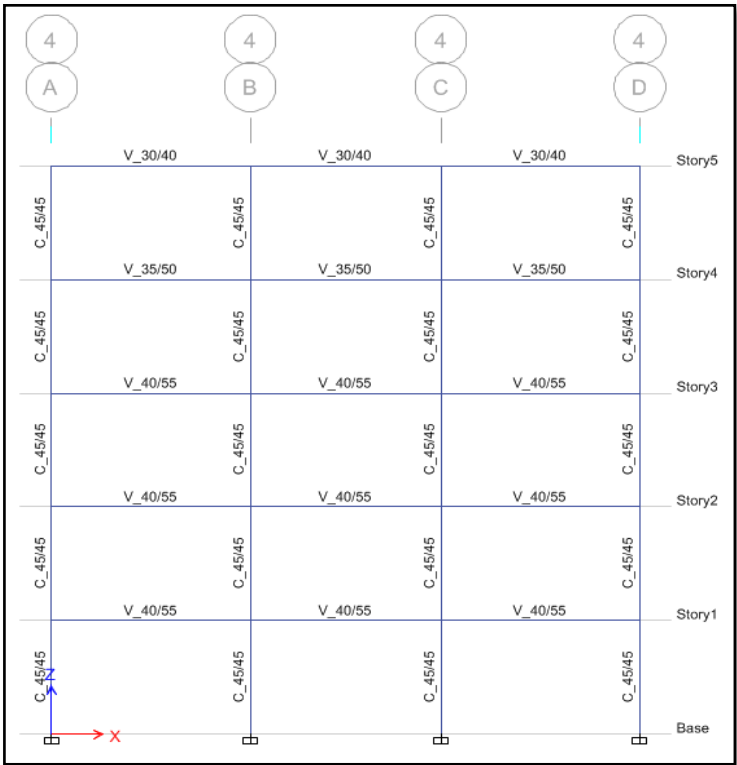
Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 84- Planta N+15.00.



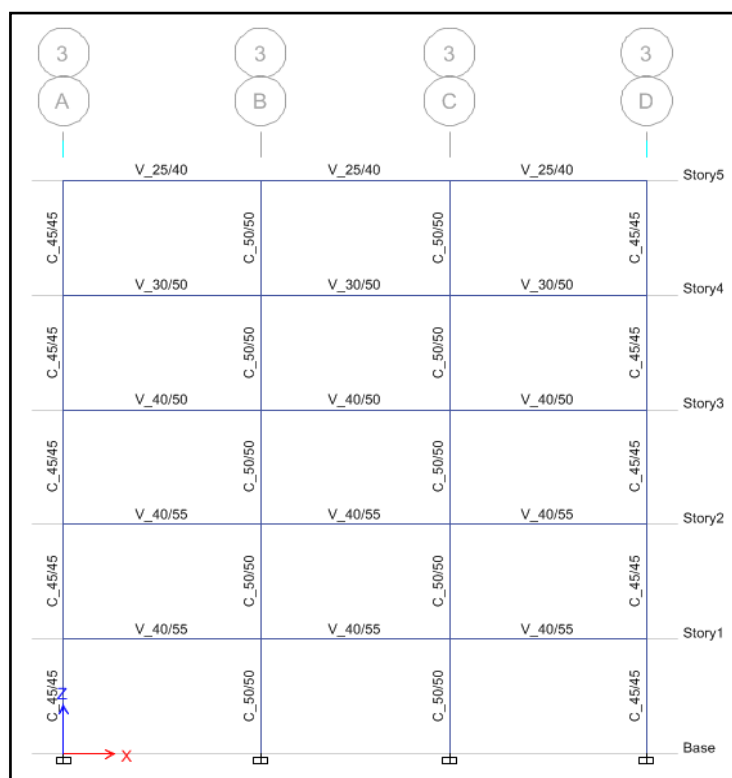
Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 85- Elevación 4



Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 86- Elevación 3.



Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.2.- Análisis de cargas.

6.1.2.1.- Carga muerta.

La carga muerta utilizada para el análisis incluye el peso propio de los elementos, un peso de paredes de **150 Kg/m²** y un peso de acabados de **120 Kg/m²**.

6.1.2.2.- Carga viva.

El edificio se diseña para ser usado como edificio de departamentos, para lo cual el NEC-11 establece que se debe usar una carga de **200 Kg/m²**.

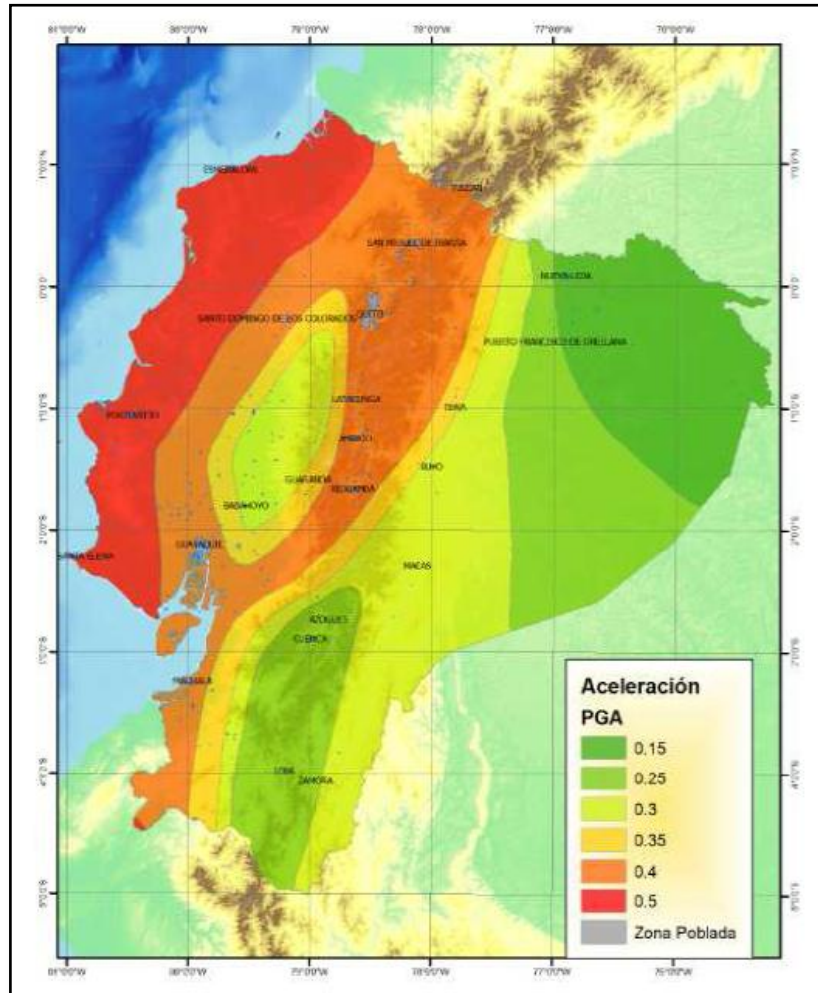
6.1.3.- Espectro de diseño.

6.1.3.1.- Zona sísmica y tipo de suelo.

El edificio va a ser construido en la ciudad de Quito sobre un suelo tipo D. Estos son los parámetros de partida para el cálculo del espectro de diseño. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) presenta la clasificación de las zonas

sísmicas del Ecuador, ubicando a Quito en la zona 5 según la figura que se muestra a continuación.

Figura 87- Zonas sísmicas del Ecuador y valores de Z



Fuente: NEC-11
Elaborado por Edison Jairo Narváez Changuan

Cuadro 12- Clasificación de los perfiles del suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50.0$ $\bar{S}_u \geq 100 \text{ KPa } (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15.0$ $100 \text{ kPa } (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u \geq 50 \text{ kPa } (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$\bar{V}_s < 180 \text{ m/s}$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w $\geq 40\%$ $\bar{S}_u < 50 \text{ kPa } (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2)$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). Se contemplan las siguientes subclases: F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75) F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m) F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte. F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.3.2.- Coeficientes de amplificación dinámica F_a , F_d y F_s .

En la obtención de estos factores se requieren el tipo de suelo y la zona sísmica, con los cuales se ingresa a las siguientes tablas.

Cuadro 13- Tipos de suelo y factores de sitio Fa

Tipos de Suelo y Factores de sitio Fa							
Tipo de perfil del subsuelo	Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
A		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C		1.40	1.30	1.25	1.23	1.20	1.18
D		1.60	1.40	1.30	1.25	1.20	1.15
E		1.80	1.50	1.40	1.28	1.15	1.05
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Cuadro 14- Tipos de suelo y factores de sitio Fd

Tipos de Suelo y Factores de sitio Fd							
Tipo de perfil del subsuelo	Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
A		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C		1.60	1.50	1.40	1.35	1.30	1.25
D		1.90	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30
E		2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Cuadro 15- Tipos de suelo y factores de sitio Fs

Tipos de Suelo y Factores de sitio Fs							
Tipo de perfil del subsuelo	Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	Valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1.00	1.10	1.20	1.25	1.30	1.45
D		1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.65
E		1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En resumen los parámetros con los que se trabajó fueron:

Cuadro 16- Resumen de parámetros de diseño

Z	0.40
Factores de sitio Fa (zona períodos cortos)	1.20
Factores de sitio Fd (zona de periodos intermedios)	1.40
Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs	1.50

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.3.3.- Factores dependientes de la tipología estructural.

Cuadro 17- Factores por tipo de estructura

Factor de Importancia I	1.00
Reducción de Respuesta "R"	6.00
Coef. Irregularidad en planta	1.00
Coef. Irregularidad en elevación	1.00

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.3.4.- Cálculo del espectro.

Factores dependientes de la región y el tipo de suelo.

Cuadro 18- Factores η por región y tipo de suelo.

η	Costa	1.8
	Sierra	2.48
	Oriente	2.6

Fuente: NEC-11

Elaborado por : Edison Jairo Narváez Changuan

Cuadro 19- Factores r por región y tipo de suelo

$r =$	1	Suelos A, B y C
$r =$	1.5	Suelos D y E

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo NarváezChanguan

Límites para períodos de vibración.

Cuadro 20- Límites para períodos de vibración

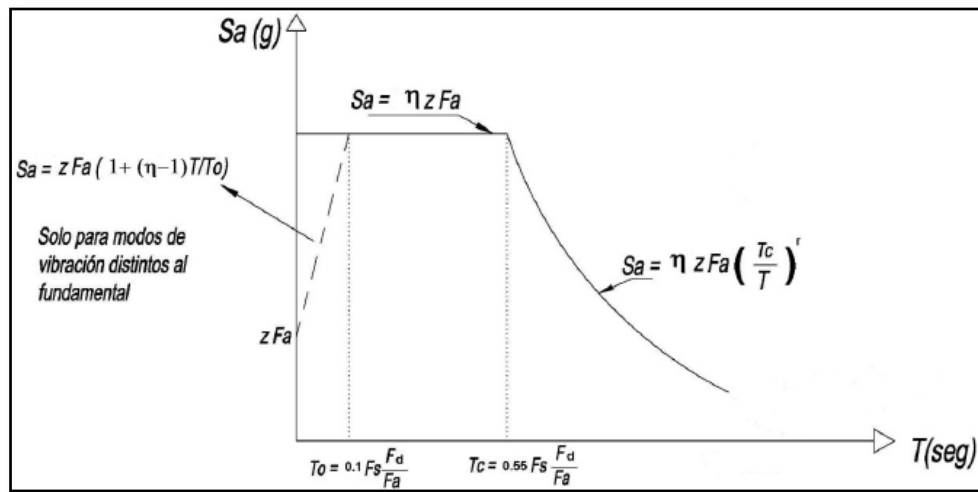
$T_C = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} =$	0.96	$T_0 = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a} =$	0.18
$T_L = 2.4 F_d =$	3.36		

Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

La NEC-11 establece el siguiente espectro de aceleraciones para el Ecuador.

Cuadro 21- Vibración distinta a la fundamental

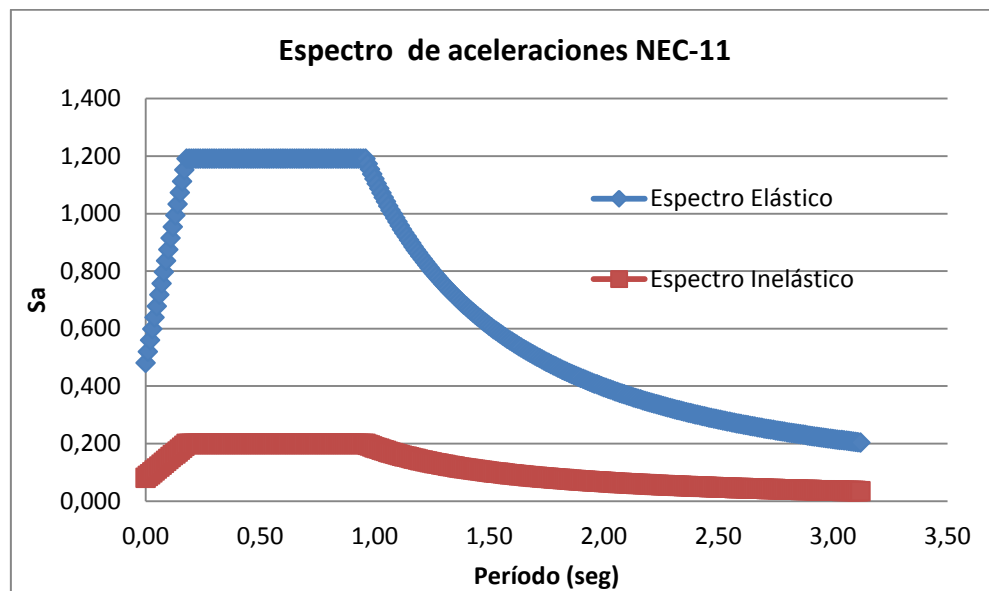


Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios para el cálculo del espectro, se procedió a la obtención del mismo para el caso en particular del edificio analizado.

Cuadro 22- Espectro de aceleraciones



Fuente: NEC-11

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.4.- Combinaciones de carga.

Según lo que establece la NEC-11 las combinaciones de carga consideradas para el diseño del edificio fueron las siguientes:

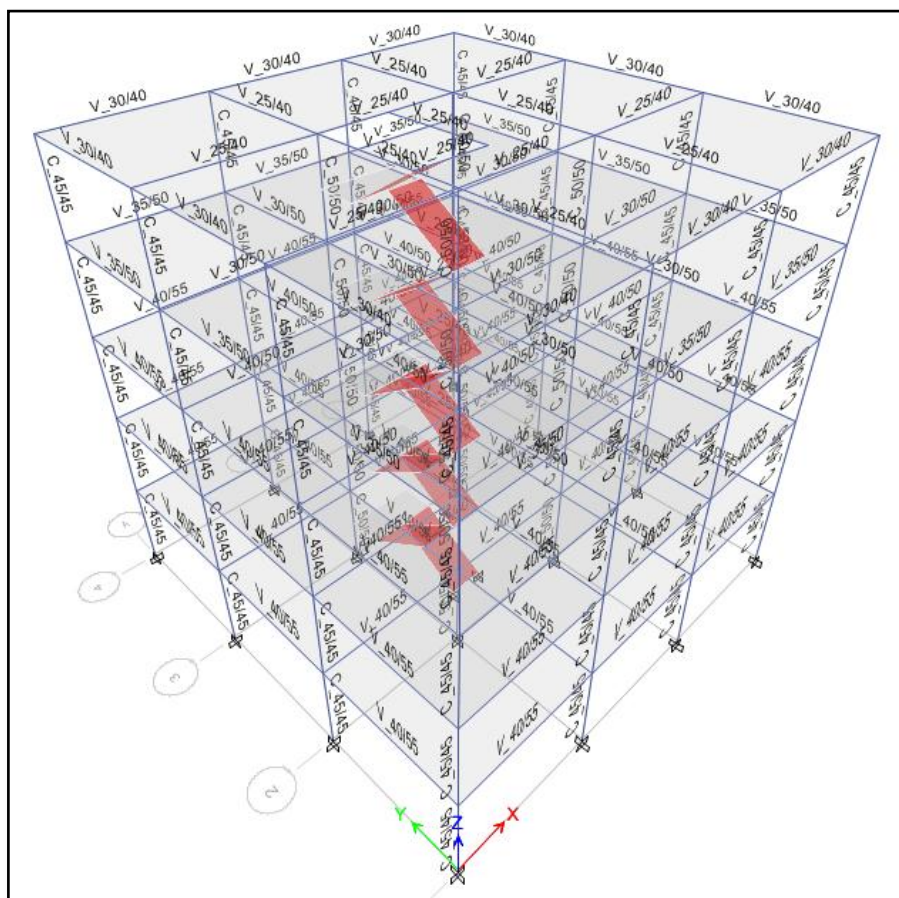
- $1.2D+1.6L$
- $0.9D+E$
- $1.2D+L+E$

6.1.5.- Diseño del edificio con el sistema constructivo convencional.

El diseño se realizó con la ayuda del software ETABS 2013, en el cual se estableció el modelo del edificio haciendo uso de todos los parámetros y criterios establecidos anteriormente.

Mediante este modelo se obtuvo las derivas de piso y las fuerzas actuantes en cada nivel de la estructura estudiada, datos que posteriormente serán comparados con los del edificio diseñado con aisladores elastoméricos en la base del mismo.

Figura 88- Modelo en 3D del edificio convencional en ETABS-2013



Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.5.1.- Cálculo de derivas.

Las derivas elásticas calculadas en el programa son las siguientes:

Cuadro 23- Derivas elásticas calculadas en el programa ETABS-2013

Nivel	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	Comparación
N+15.00	0.00143	0.00645	<0.02
N+12.00	0.00203	0.00916	<0.02
N+9.00	0.00246	0.01106	<0.02
N+6.00	0.00271	0.01219	<0.02
N+3.00	0.00204	0.00918	<0.02

Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Las derivas calculadas manualmente son las siguientes:

Cuadro 24- Derivas calculadas manualmente

Nivel	Desplazamiento	Altura entrepiso	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	Comparación
N+15.00	0.030025	3	0.00110	0.00495	<0.02
N+12.00	0.026728	3	0.00180	0.00809	<0.02
N+9.00	0.021336	3	0.00237	0.01065	<0.02
N+6.00	0.014238	3	0.00271	0.01217	<0.02
N+3.00	0.006123	3	0.00204	0.00918	<0.02

Fuente: Autor
Elaborado por : Edison Jairo Narváez Changuan

Se realizó el control de derivas del edificio de acuerdo a la NEC-11, la cual establece que la deriva inelástica se debe calcular de la siguiente manera:

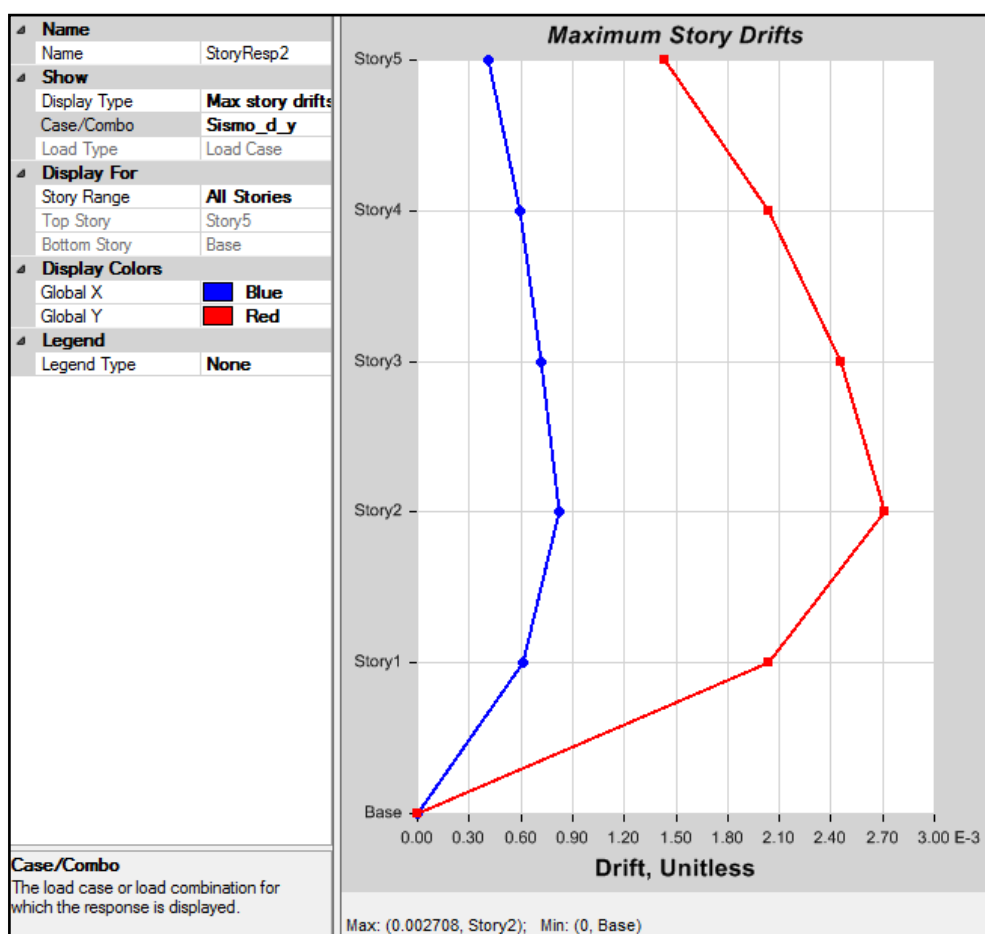
$$deriva = 0.75 * R * \Delta E \leq 0.02$$

Dónde:

R = Factor de reducción de fuerzas sísmicas.

ΔE = Deriva elástica del edificio.

Figura 89- Derivas de piso del programa ETABS-3013



Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.5.2.- Fuerzas Sísmicas actuantes.

Se obtuvo además de las derivas las fuerzas actuantes en cada nivel del edificio para su posterior análisis comparativo con el edificio con aislación.

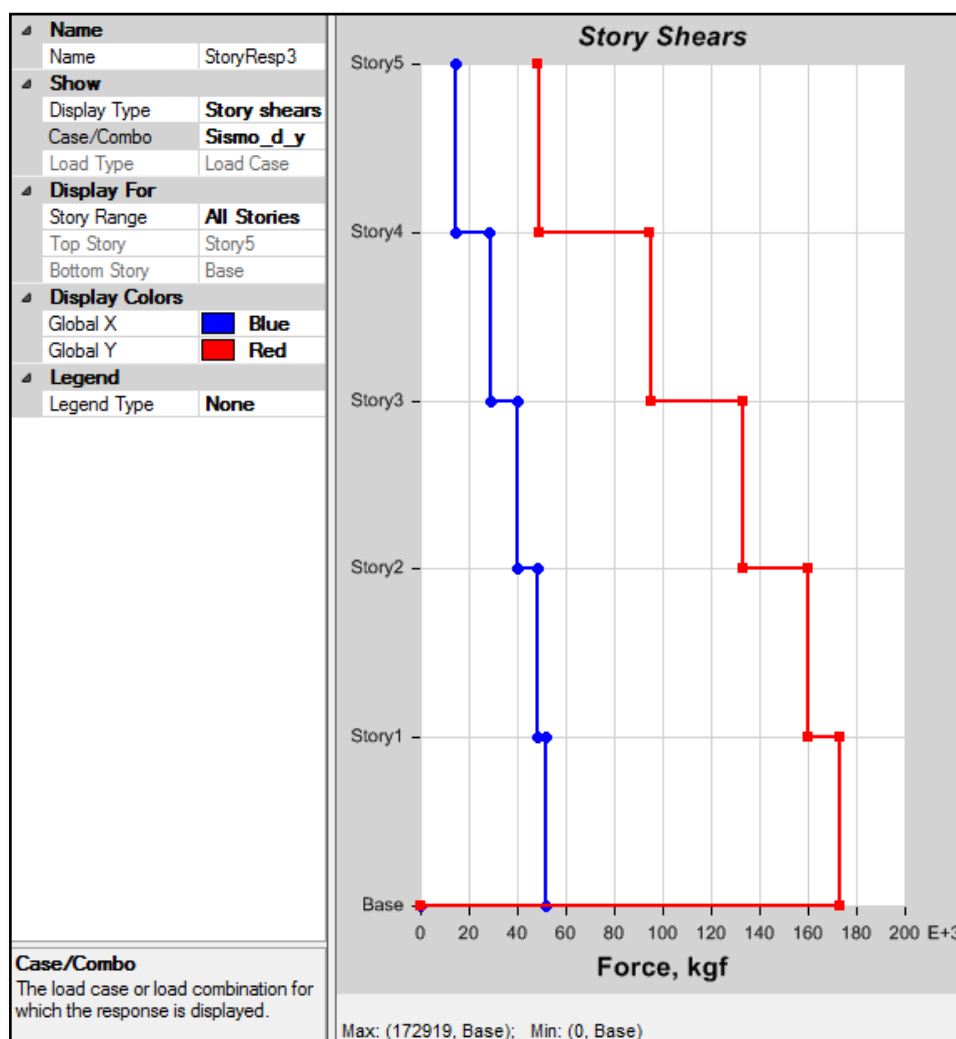
Cuadro 25- Fuerzas sísmicas actuantes

<i>Nivel</i>	<i>Fuerza cortante por piso</i>	<i>Fuerza lateral por piso</i>
N+15.00	48.86	48.86
N+12.00	95.06	46.20
N+9.00	133.27	38.22
N+6.00	160.16	26.89
N+3.00	172.92	12.76

Fuente: Propia

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 90- Fuerzas cortantes por piso del programa ETABS-3013



Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.1.5.3.- Cálculo de cantidades de hormigón y acero.

Para establecer los beneficios económicos de la colocación de aisladores sísmicos de base se debe establecer la cantidad de hormigón y acero utilizados tanto en el sistema constructivo convencional como en el sistema con aislación. Con este fin se realizará el cálculo de dichas cantidades en base al diseño realizado en el programa ETABS 2013.

Cuadro 26- Resumen de cantidades de hormigón y acero

RESUMEN DE MATERIALES		
NIVEL	HORMIGÓN (m³)	ACERO (Kg)
N+15.00	23.40	1147.43
N+12.00	29.66	1309.54
N+9.00	35.32	1456.22
N+6.00	36.51	1581.30
N+3.00	36.51	1990.83
Cimentación	48.94	1267.79
TOTAL	210.35	8753.12

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

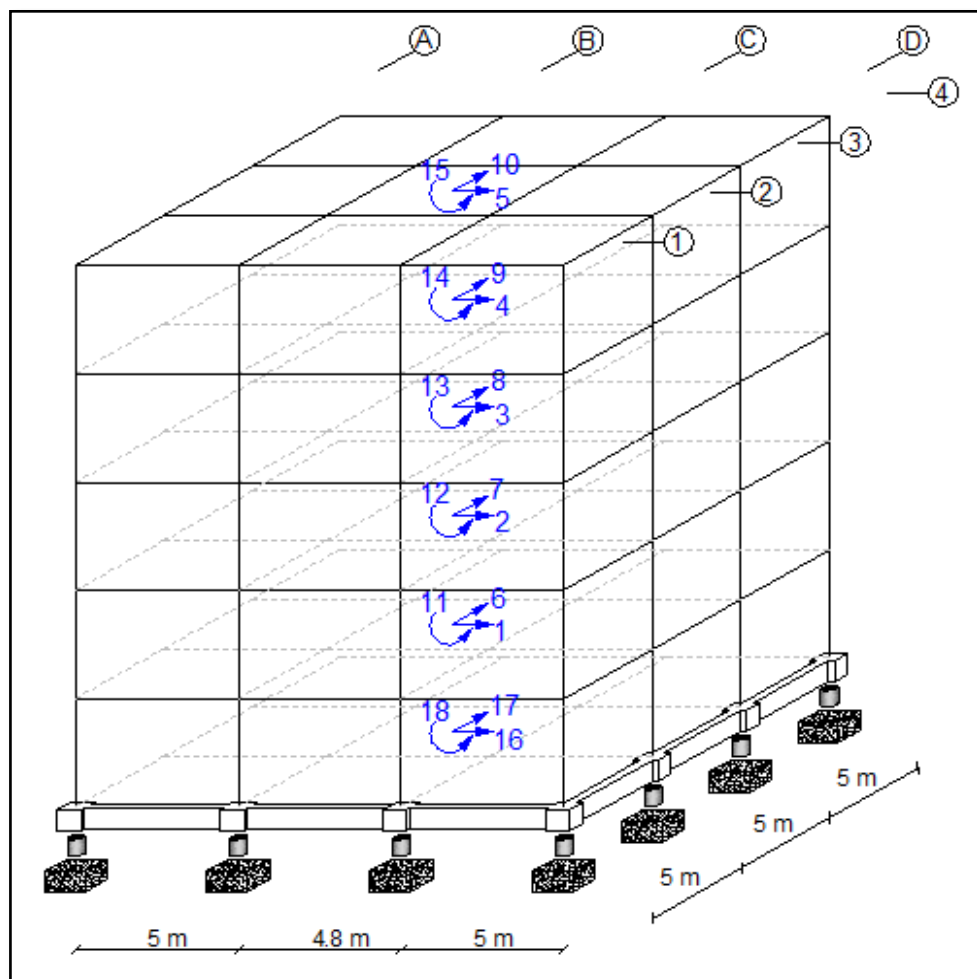
6.2.- DISEÑO DEL EDIFICIO CON AISLADORES ELASTOMERICOS EN LA BASE.

Se colocó aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en la base del edificio para su posterior diseño y comparación con el edificio del sistema constructivo convencional.

6.2.1.- Disposición geométrica del edificio con aisladores elastoméricos en la base.

La disposición geométrica del edificio con aisladores se puede apreciar de mejor manera en la siguiente imagen.

Figura 91- Disposición geométrica del edificio con 3 grados de libertad por planta



Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

En el análisis del edificio con aisladores se utilizaron las mismas secciones de los elementos estructurales obtenidas en el edificio con el sistema convencional. La figura 91. muestra la distribución de los grados de libertad de la estructura; 3 grados de libertad por planta de la superestructura y 3 grados de libertad para la planta de aislación.

6.2.- Análisis del edificio en CEINCI-LAB.

Los programas de CEINCI-LAB están desarrollados en MATLAB, para lo cual es necesario realizar una hoja de datos requeridos para el análisis.

Se dividió la estructura en dos partes para su análisis. La parte que ubicada sobre los aisladores se denomina superestructura y la otra parte es la losa de aislación.

6.2.2.1.- Programación para la superestructura.

Cuadro 27- Programación de la superestructura en CEINCI-LAB

```

1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  %%% SUPERESTRUCTURA %%%
3  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4  - clear all
5  - close all
6  - clc
7  - clf
8  - format short g
9
10 %*** CALCULO DE KL DE PORTICOS A y D***%
11
12 %--> Datos
13 - E=2194996.45;
14 - nod=24;
15 - nr=4;
16 - np=5;
17 - na=5; %Coordenadas principales del pórtico
18 - GEN=[1 1 5 19 1 1 1;
19         21 5 6 2 1 1 1;
20         24 9 10 2 1 1 1;
21         27 13 14 2 1 1 1;
22         30 17 18 2 1 1 1;
23         33 21 22 2 1 1 1];
24
25 - NUDOS=[1 0.00 0.00 5 4 0.00 3;
26          2 5.00 0.00 5 4 0.00 3;
27          3 10.00 0.00 5 4 0.00 3;
28          4 15.00 0.00 5 4 0.00 3];
29
30 - SECCION=[1 0.45 0.45 19 1;
31            21 0.40 0.55 8 1;
32            30 0.35 0.55 2 1;
33            33 0.35 0.50 2 1];

```

```

35 %--> Cálculos
36 [CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
37 [NI,NJ]=gn_portico(GEN);
38 [X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
39 dibujo(X,Y,NI,NJ)
40 [L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ);
41 [ELEM]=gelem_portico(SECCION);
42 [VC]=vc(NI,NJ,CG);
43 [K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E);
44 Kaa=K(1:na,1:na);Kab=K(1:na,na+1:ngl);Kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);Kba=Kab';
45 KLPAD=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
46 KLPAD
47
48 %*** CALCULO DE KL DE PORTICOS B C ***%
49
50 %--> Datos
51 E=2194996.45;
52 nod=24;
53 nr=4;
54 np=5;
55 na=5; %Coordenadas principales del pórtico
56 GEN=[1 1 5 19 1 1 1;
57      21 5 6 2 1 1 1;
58      24 9 10 2 1 1 1;
59      27 13 14 2 1 1 1;
60      30 17 18 2 1 1 1;
61      33 21 22 2 1 1 1];
62
63 NUDOS=[1 0.00 0.00 5 4 0.00 3;
64        2 5.00 0.00 5 4 0.00 3;
65        3 10.00 0.00 5 4 0.00 3;
66        4 15.00 0.00 5 4 0.00 3];

```

```

67 SECCION=[1 0.45 0.45 4 4;
68          2 0.45 0.45 4 4;
69          3 0.45 0.45 4 4;
70          4 0.45 0.45 4 4;
71          21 0.40 0.55 8 1;
72          30 0.35 0.50 2 1;
73          33 0.25 0.40 2 1];
74 %--> Cálculos
75 [CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
76 [NI,NJ]=gn_portico(GEN);
77 [X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
78 dibujo(X,Y,NI,NJ)
79 [L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ);
80 [ELEM]=gelem_portico(SECCION);
81 [VC]=vc(NI,NJ,CG);
82 [K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E);
83 Kaa=K(1:na,1:na);Kab=K(1:na,na+1:ngl);Kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);Kba=Kab';
84 KLPBC=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
85 KLPBC
86
87 %*** CALCULO DE KL DE PORTICOS 1 y 4***%
88
89 %--> Datos
90 E=2194996.45;
91 nod=24;
92 nr=4;
93 np=5;
94 na=5; %Coordenadas principales del pórtico
95 GEN=[1 1 5 19 1 1 1;
96      21 5 6 2 1 1 1;
97      24 9 10 2 1 1 1;
98      27 13 14 2 1 1 1;
99      30 17 18 2 1 1 1;
100     33 21 22 2 1 1 1];

```

```

102 -     NUDOS=[1 0.00 0.00 5 4 0.00 3;
103           2 4.80 0.00 5 4 0.00 3;
104           3 9.80 0.00 5 4 0.00 3;
105           4 14.80 0.00 5 4 0.00 3];
106 -     SECCION=[1 0.45 0.45 19 1;
107              21 0.40 0.55 8 1;
108              30 0.35 0.55 2 1;
109              33 0.35 0.50 2 1];
110     %--> Cálculos
111     [CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
112     [NI,NJ]=gn_portico(GEN);
113     [X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
114     dibujo(X,Y,NI,NJ)
115     [L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ);
116     [ELEM]=gelem_portico(SECCION);
117     [VC]=vc (NI,NJ,CG);
118     [K]=krigidez (ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E);
119     Kaa=K(1:na,1:na);Kab=K(1:na,na+1:ngl);Kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);Kba=Kab';
120     KLP14=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
121     KLP14
122
123     %*** CALCULO DE KL DE PORTICOS 2 3 ***%
124     %--> Datos
125     E=2194996.45;
126     nod=24;
127     nr=4;
128     np=5;
129     na=5; %Coordenadas principales del pórtico
130     GEN=[1 1 5 19 1 1 1;
131          21 5 6 2 1 1 1;
132          24 9 10 2 1 1 1;
133          27 13 14 2 1 1 1;
134          30 17 18 2 1 1 1;
135          33 21 22 2 1 1 1];

```

```

137 -     NUDOS=[1 0.00 0.00 5 4 0.00 3;
138           2 4.80 0.00 5 4 0.00 3;
139           3 9.80 0.00 5 4 0.00 3;
140           4 14.80 0.00 5 4 0.00 3];
141
142 -     SECCION=[1 0.45 0.45 4 4;
143              2 0.45 0.45 4 4;
144              3 0.45 0.45 4 4;
145              4 0.45 0.45 4 4;
146              21 0.40 0.55 8 1;
147              30 0.35 0.50 2 1;
148              33 0.25 0.40 2 1];
149
150     %--> Cálculos
151     [CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
152     [NI,NJ]=gn_portico(GEN);
153     [X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
154     dibujo(X,Y,NI,NJ)
155     [L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ);
156     [ELEM]=gelem_portico(SECCION);
157     [VC]=vc (NI,NJ,CG);
158     [K]=krigidez (ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E);
159     Kaa=K(1:na,1:na);Kab=K(1:na,na+1:ngl);Kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);Kba=Kab';
160     KLP23=Kaa-Kab*inv(Kbb)*Kba;
161     KLP23
162     %*** CALCULO DE K ESPACIAL ***%
163
164     %--> Datos
165     iejes=4;
166     ntot=8;
167     NP=5;
168     KL=[KLPAD;KLPBC;KLPBC;KLPAD;KLP14;KLP23;KLP23;KLP14];
169     r=[-7.45;-2.35;2.35;7.45;-7.53;-2.53;2.47;7.47];
170     RT=0;

```

```

172 %--> Cálculos
173 - [KE,rtet,A]=matriz_es(ntot,iejes,NP,r,KL,RT);
174 - KE
175
176 %*** CALCULO DE MATRIZ DE MASAS, PERIODOS, MODOS DE VIBRACION Y AMORTIGUMI
177 %--> Datos
178 - m5=18.11;
179 - m4=20.91;
180 - m3=22.17;
181 - m2=22.43;
182 - m1=22.45;
183
184 - zeda=0.05;
185 - dimx=14.8;
186 - dimy=15;
187
188 %--> Cálculos
189
190 - m=mdia(m5,m4,m3,m2,m1);
191 - j5=m5/12*(dimx^2+dimy^2);
192 - j4=m4/12*(dimx^2+dimy^2);
193 - j3=m3/12*(dimx^2+dimy^2);
194 - j2=m2/12*(dimx^2+dimy^2);
195 - j1=m1/12*(dimx^2+dimy^2);
196 - j=mdia(j5,j4,j3,j2,j1);
197 - MASA=mdia(m,m,j)
198
199 - [T,fi,OM]=orden_eig(KE,MASA)
200 - [C]=amortiguamiento(MASA,fi,OM,zeda)

```

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.2.2.- Programación para el sistema de aislación.

Cuadro 28- Programación para el sistema de aislación en CEINCI-LAB

```

203 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
204 %% SISTEMA DE AISLACION %%
205 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
206 %--> Datos
207 kb1=46.69;%[T/m]
208 wt=1266.08;%[T]
209 zedab=0.1831; %Dato del analisis de histeresis
210 wb=220;%[T] Peso del sistema de aislacion
211 dimx=14.8;% Dimension de la planta de aislacion en X
212 dimy=15;% Dimension de la planta de aislacion en Y
213 %--> Cálculos
214 kbb=zeros(32,1);
215 for i=length(kbb)
216     kbb(i)=kb1;
217 end
218 senb=[0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1];
219 cosb=[1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;1;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
220
221 rb=[7.45;7.45;7.45;7.45;
222      2.45;2.45;2.45;2.45;
223      -2.35;-2.35;-2.35;-2.35;
224      -7.35;-7.35;-7.35;-7.35;
225      -7.35;-2.35;2.45;7.45;
226      -7.35;-2.35;2.45;7.45;
227      -7.35;-2.35;2.45;7.45;
228      -7.35;-2.35;2.45;7.45];
229 kbxx=sum((cosb.^2).*kbb);
230 kbyy=sum((senb.^2).*kbb);
231 kbxy=sum((senb.*cosb).*kbb);
232 kbxtet=sum((cosb.*kbb).*(rb));
233 kbytet=sum((senb.*kbb).*(rb));
234 kbtetet=sum(kbb.*(rb.^2));
235 kbyx=kuby';
236 kbtetx=kbtet';
```

```

237 - kbtety=kbytet';
238 - KEB=[kboxx kboxy kbxtet;
239       kboxx kboxy kbytet;
240       kbtetx kbtety kbttett];
241
242
243 - mb=wb/9.8;% [T*s2/m]
244 - jb=mb/12*(dimx^2+dimy^2);
245 - MASAB=mdiaq(mb,mb,jb)
246

```

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.2.3.- Programación estructura completa.

Cuadro 29- Programación estructura completa en CEINCI-LAB

```
248      %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
249      %%% ESTRUCTURA COMPLETA %%%
250      %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
251
252      %--> Factores de incidencia
253      RS=[1 0 0;
254          1 0 0;
255          1 0 0;
256          1 0 0;
257          1 0 0;
258          0 1 0;
259          0 1 0;
260          0 1 0;
261          0 1 0;
262          0 1 0;
263          0 0 1;
264          0 0 1;
265          0 0 1;
266          0 0 1;
267          0 0 1];
268      RB=[1 0 0;
269          0 1 0;
270          0 0 1];
271
272
273      %--> Matrices totales
274      KTOTAL=mddiag(KE,KEB)
275      MTOTAL=[MASA          MASA*RS;
276             RS'*MASA      RS'*MASA*RS+MASAB]
277      QTOTAL=[MASA*RS;
278             RS'*MASA*RS+MASAB]*RB
279      QTOTALX=QTOTAL(:,1);
280      [TTOTAL,fiTOTAL,OMTOTAL]=orden_eig(KTOTAL,MTOTAL);
281
282      MASA22=MTOTAL(16:18,16:18);
283      [TB,fiB,OMB]=orden_eig(KEB,MASA22);
284      [CB]=amortiguamiento(MASA22,fiB,OMB,zedab);
285      CTOTAL=mddiag(C,CB);
286
287      %--> Desplazamientos totales
288      for i=1:18
289          gama(:,i)=abs(((fiTOTAL(:,i))'*QTOTALX)/((fiTOTAL(:,i))'*MTOTAL*(fiTOTAL(:,i))));
290      end
291
292      %---> Espectro Modificado
293
294      RESPECT=6;
295      fip=1;
296      fie=1;
297      to=2;
298      B=RESPECT;
299      figure(2)
300      [Ad]=espectro_juan(RESPECT,fip,fie,TTOTAL,B,to);
301      nat=18;
302      [qt]=desplazamientos_modales(TTOTAL,fiTOTAL,Ad,gama,nat)
303      qtine(1:15)=RESPECT*qt(1:15);
304      qtine(16:18)=qt(16:18);
305      qtine
306
307      [Ft]=fuerzas_modales(MTOTAL,fiTOTAL,Ad,gama,nat)
```

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.2.4.- Matriz de rigidez de la superestructura.

Cuadro 30- Matriz de rigidez de la superestructura en CEINCI-LAB

KE =										
Columns 1 through 11										
90488	-49957	9235.5	-1132.5	180.7	0	0	0	0	0	0
-49957	81518	-48656	8900.5	-904.89	0	0	0	0	0	0
9235.5	-48656	79937	-47232	7852.3	0	0	0	0	0	0
-1132.5	8900.5	-47232	70330	-31017	0	0	0	0	0	0
180.7	-904.89	7852.3	-31017	23880	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	90557	-49959	9169.3	-1115.6	182.19	-2716.7
0	0	0	0	0	-49959	81647	-48675	8840.8	-889.39	1498.8
0	0	0	0	0	9169.3	-48675	80072	-47268	7821.7	-275.08
0	0	0	0	0	-1115.6	8840.8	-47268	70521	-31126	33.469
0	0	0	0	0	182.19	-889.39	7821.7	-31126	24000	-5.4658
0	0	0	0	0	-2716.7	1498.8	-275.08	33.469	-5.4658	5.591e+06
0	0	0	0	-2.2737e-13	1498.8	-2449.4	1460.2	-265.22	26.682	-3.0856e+06
0	0	0	0	1.819e-12	-275.08	1460.2	-2402.2	1418	-234.65	5.6881e+05
0	0	0	0	-7.276e-12	33.469	-265.22	1418	-2115.6	933.77	-70512
0	2.2737e-13	1.819e-12	-7.276e-12	0	-5.4658	26.682	-234.65	933.77	-719.99	11881
Columns 12 through 15										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-2.2737e-13	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1.819e-12	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-7.276e-12	0	0	0	0	0	0	0
2.2737e-13	1.819e-12	-7.276e-12	0	0	0	0	0	0	0	0
1498.8	-275.08	33.469	-5.4658	0	0	0	0	0	0	0
-2449.4	1460.2	-265.22	26.682	0	0	0	0	0	0	0
1460.2	-2402.2	1418	-234.65	0	0	0	0	0	0	0
-265.22	1418	-2115.6	933.77	0	0	0	0	0	0	0
26.682	-234.65	933.77	-719.99	0	0	0	0	0	0	0
-3.0856e+06	5.6881e+05	-70512	11881	0	0	0	0	0	0	0
5.0394e+06	-3.0101e+06	5.5137e+05	-55051	0	0	0	0	0	0	0
-3.0101e+06	4.978e+06	-2.9526e+06	4.8577e+05	0	0	0	0	0	0	0
5.5137e+05	-2.9526e+06	4.5709e+06	-2.1082e+06	0	0	0	0	0	0	0
-55051	4.8577e+05	-2.1082e+06	1.6647e+06	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.25.- Matriz de masas de la superestructura.

Cuadro 31- Matriz de masas de la superestructura en CEINCI-LAB

MASA =										
Columns 1 through 11										
18.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	20.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	22.17	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	22.43	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	22.45	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	18.11	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	20.91	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	22.17	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	22.43	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.45	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	670.13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Columns 12 through 15										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
773.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	820.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	829.98	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	830.72	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.2.6.- Matriz de amortiguamiento de la superestructura.

Cuadro 32- Matriz de amortiguamiento de la superestructura en CEINCI-LAB

C =										
Columns 1 through 11										
122.22	-40.89	-0.057224	-1.3737	-0.54045	9.9359e-16	-6.1784e-16	-1.0672e-15	-1.9805e-16	-4.7232e-16	8.9457e-16
-40.89	114.49	-46.046	-1.7497	-2.2035	-6.1943e-16	-3.4485e-16	-1.6684e-15	-1.7263e-15	-1.0647e-15	2.0555e-15
-0.057224	-46.046	114.84	-48.038	-2.1083	-1.0552e-15	-1.6742e-15	-1.0599e-15	-2.8165e-15	-2.2622e-15	-1.5361e-14
-1.3737	-1.7497	-48.038	107.99	-42.119	-2.1692e-16	-1.7182e-15	-2.8089e-15	-1.6937e-15	-4.0084e-15	3.4449e-15
-0.54045	-2.2035	-2.1083	-42.119	59.795	-4.6529e-16	-1.0671e-15	-2.2722e-15	-3.9964e-15	-3.8535e-15	-3.6141e-15
9.9359e-16	-6.1943e-16	-1.0552e-15	-2.1692e-16	-4.6529e-16	122.28	-40.869	-0.1069	-1.3761	-0.5404	-1.6007
-6.1784e-16	-3.4485e-16	-1.6742e-15	-1.7182e-15	-1.0671e-15	-40.869	114.62	-46.031	-1.8027	-2.2076	0.53487
-1.0672e-15	-1.6684e-15	-1.0599e-15	-2.8089e-15	-2.2722e-15	-0.1069	-46.031	114.98	-48.031	-2.164	0.0018733
-1.9805e-16	-1.7263e-15	-2.8165e-15	-1.6937e-15	-3.9964e-15	-1.3761	-1.8027	-48.031	108.16	-42.195	0.018246
-4.7232e-16	-1.0647e-15	-2.2622e-15	-4.0084e-15	-3.8535e-15	-0.5404	-2.2076	-2.164	-42.195	59.963	0.0065083
8.9457e-16	2.0555e-15	-1.5361e-14	3.4449e-15	-3.6141e-15	-1.6007	0.53487	0.0018733	0.018246	0.0065083	5844.3
2.9408e-15	-8.0028e-15	-1.4581e-14	-9.1356e-15	-1.0324e-14	0.53493	-1.5007	0.60375	0.024905	0.026683	-1954
-6.8972e-15	-1.7593e-14	-1.0309e-14	-3.0441e-14	3.9906e-16	0.0014915	0.60181	-1.5016	0.63264	0.022095	-3.2902
-1.4153e-14	-6.1049e-15	-1.3257e-14	-1.7572e-14	-6.8708e-14	0.017798	0.02327	0.62426	-1.3976	0.53951	-65.9
7.7787e-16	-1.8497e-14	-3.2117e-14	-4.1731e-14	-1.3295e-14	0.0072694	0.029197	0.02577	0.52764	-0.75936	-27.045
Columns 12 through 15										
2.9408e-15	-6.8972e-15	-1.4153e-14	7.7787e-16							
-8.0028e-15	-1.7593e-14	-6.1049e-15	-1.8497e-14							
-1.4581e-14	-1.0309e-14	-1.3257e-14	-3.2117e-14							
-9.1356e-15	-3.0441e-14	-1.7572e-14	-4.1731e-14							
-1.0324e-14	3.9906e-16	-6.8708e-14	-1.3295e-14							
0.53493	0.0014915	0.017798	0.0072694							
-1.5007	0.60181	0.02327	0.029197							
0.60375	-1.5016	0.62426	0.02577							
0.024905	0.63264	-1.3976	0.52764							
0.026683	0.022095	0.53951	-0.75936							
-1954	-3.2902	-65.9	-27.045							
5477.8	-2198.5	-83.502	-112.04							
-2198.5	5520.8	-2297.2	-133.51							
-83.502	-2297.2	5292.1	-2140.8							
-112.04	-133.51	-2140.8	3034.7							

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.2.7.- Matriz de rigidez del sistema de aislación.

Cuadro 33- Matriz de rigidez de aislación en CEINCI-LAB

KEB =		
747.04	0	37.352
0	747.04	37.352
37.352	37.352	45215

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.2.8.- Matriz de masas del sistema de aislación.

Cuadro 34- Matriz de masas del sistema de aislación en CEINCI- LAB

MASA22 =			
128.52	0	0	
0	128.52	0	
0	0	4755.6	

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.2.9.- Matriz de amortiguamiento del sistema de aislación.

Cuadro 35- Matriz de amortiguamiento del sistema de aislación en CEINCI-LAB

CB =			
113.47	-0.00073806	2.4895	
-0.00073806	113.47	2.4895	
2.4895	2.4895	5369.8	

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.3.- Características del sistema de aislación.

6.2.3.1.- Geometría del aislador.

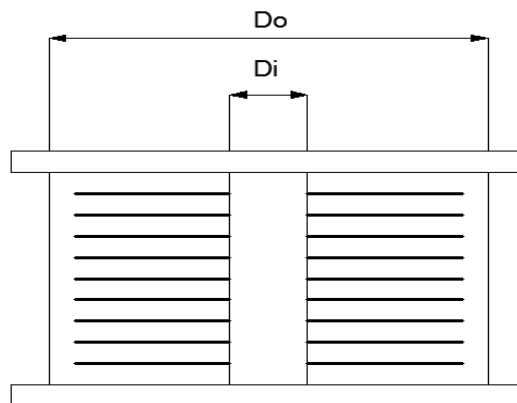
Cuadro 36- Dimensiones del aislador

Diámetro de la goma	Do	500	mm
Diámetro del núcleo de plomo	Di	90	mm
Espesor total de la goma	H	350	mm

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 92- Geometría del aislador



Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.3.2.- Propiedades de los materiales del aislador.

Cuadro 37- Propiedades de los materiales del aislador

Módulo de corte efectivo de la goma	5.95	Kg/cm ²
Módulo de compresión	20000	Kg/cm ²
Esfuerzo de corte del plomo	85	Kg/cm ²

Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

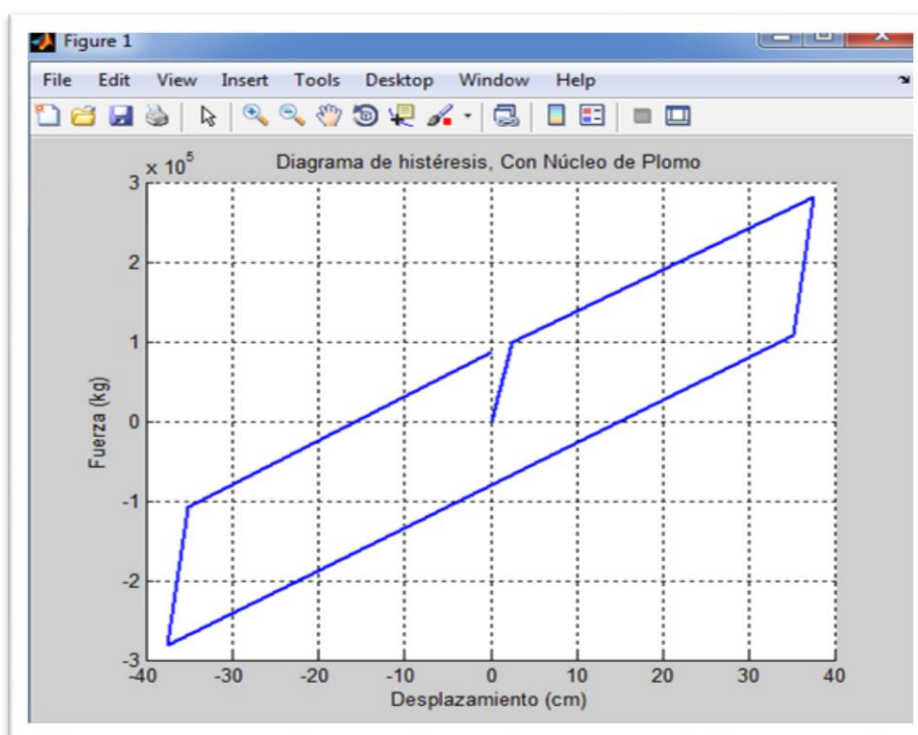
6.2.3.3.- Propiedades dinámicas del aislador.

Cuadro 38- Propiedades dinámicas del aislador

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Fuerza característica	Qd	86519.00	Kg
Fuerza de fluencia	Fy	99439.00	Kg
Rigidez post-fluencia	Kd	5167.70	Kg/cm
Período efectivo	T	2.61	s
Amortiguamiento efectivo	ζ	18.31	%

Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 93- Diagrama de histéresis, con núcleo de plomo.



Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.4.- Fuerzas sísmicas actuantes sobre la estructura con sistema de aislación.

La acción sísmica sobre la superestructura con aislación se redujo notablemente respecto a la estructura con el sistema convencional. Los valores de fuerzas se redujeron significativamente.

Cuadro 39- Fuerzas sísmicas actuantes en el sistema de aislación.

Nivel	Fuerza por piso (T)
N +15.00	15.83
N +12.00	15.41
N +9.00	14.84
N +6.00	13.83
N +3.00	11.83

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.5.- Derivas de piso de la estructura con sistema de aislación.

Para apreciar la reducción en las derivas de piso se aplicarán estas fuerzas sobre la estructura con el sistema convencional. Una vez obtenidas las nuevas derivas, estas pueden ser comparadas.

Cuadro 40- Derivas de piso de la estructura con sistema de aislación.

Nivel	Deriva elástica	Deriva Inelástica	Comparación
N +15.00	0.000471	0.00212	< 0.02
N +12.00	0.000697	0.00314	< 0.02
N +9.00	0.000889	0.00400	< 0.02
N +6.00	0.000889	0.00400	< 0.02
N +3.00	0.000837	0.00377	< 0.02

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

A continuación se presentan las derivas calculadas manualmente:

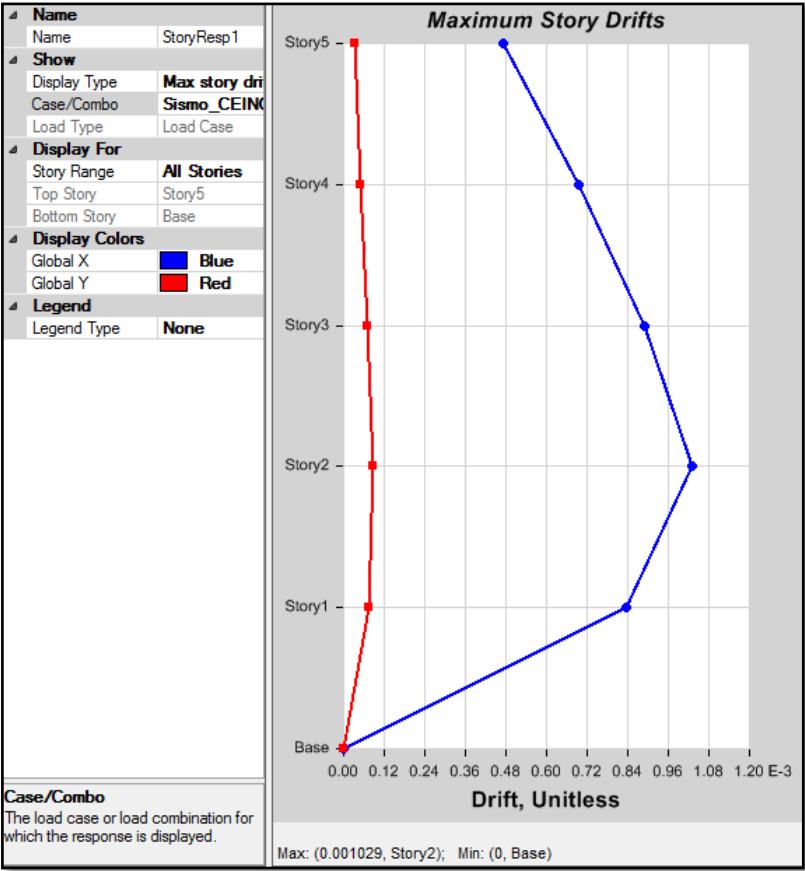
Cuadro 41- Derivas de piso calculadas manualmente

Nivel	Desplazamiento	Altura entrepiso	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	Comparación
N+15.00	0.011113	3	0.00038	0.00171	<0.02
N+12.00	0.009973	3	0.00062	0.00278	<0.02
N+9.00	0.008122	3	0.00084	0.00379	<0.02
N+6.00	0.005597	3	0.00103	0.00463	<0.02
N+3.00	0.002512	3	0.00084	0.00377	<0.02

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 94- Derivas de piso del programa ETABS-2013

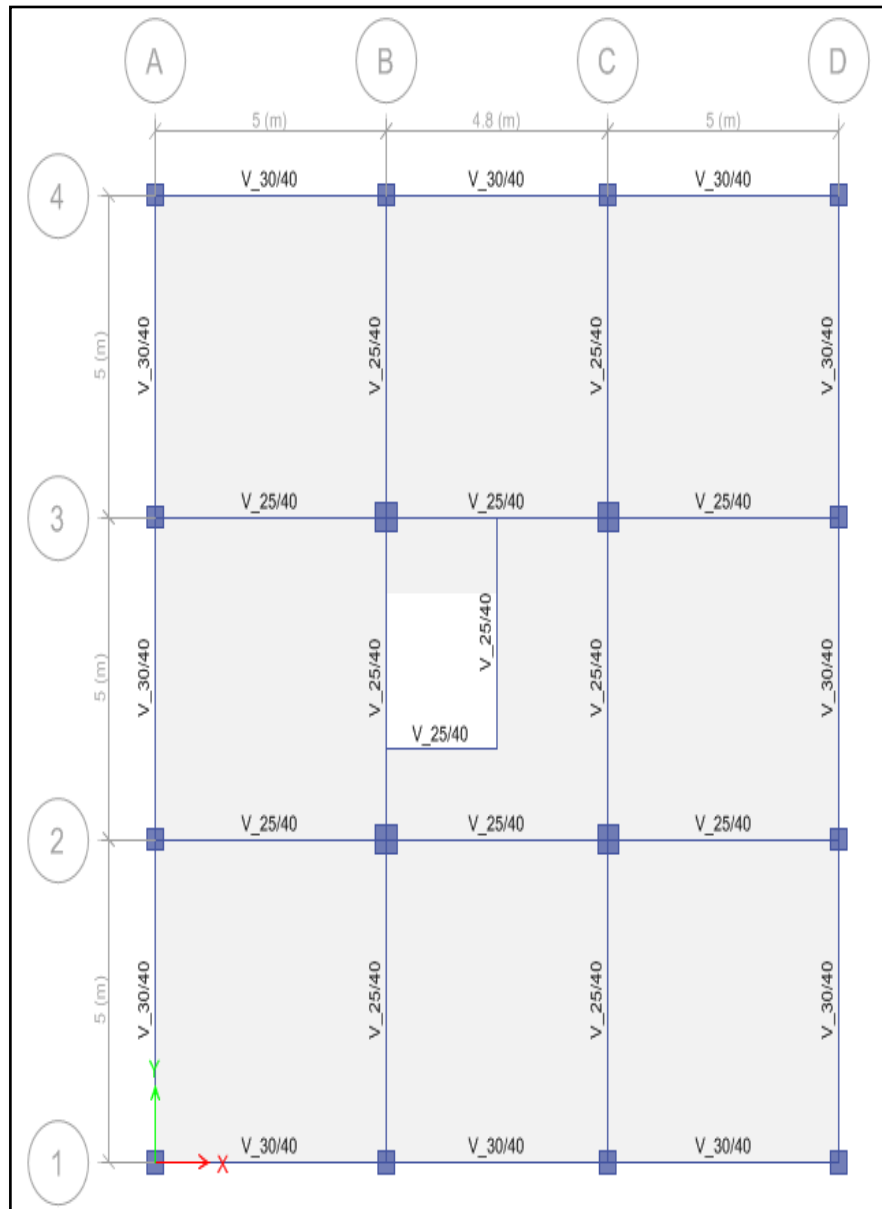


Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.6.- Rediseño del edificio con aisladores sísmicos.

Las nuevas dimensiones del edificio se podrán apreciar en las imágenes presentadas a continuación.

Figura 95- Planta n+3.00



Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 96- Planta N+6.00



Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 97- Planta N+9.00



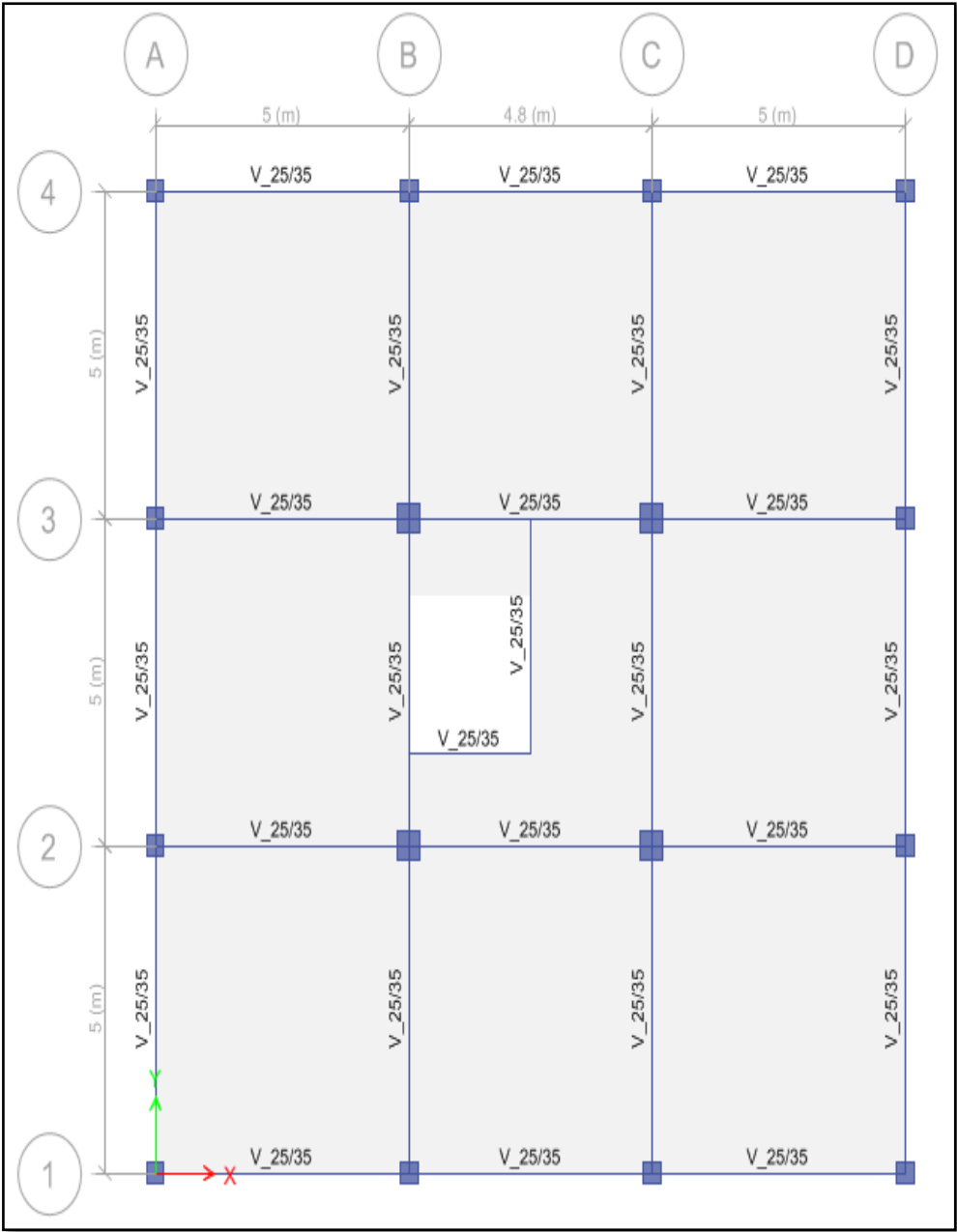
Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 98- Planta N+12.00.



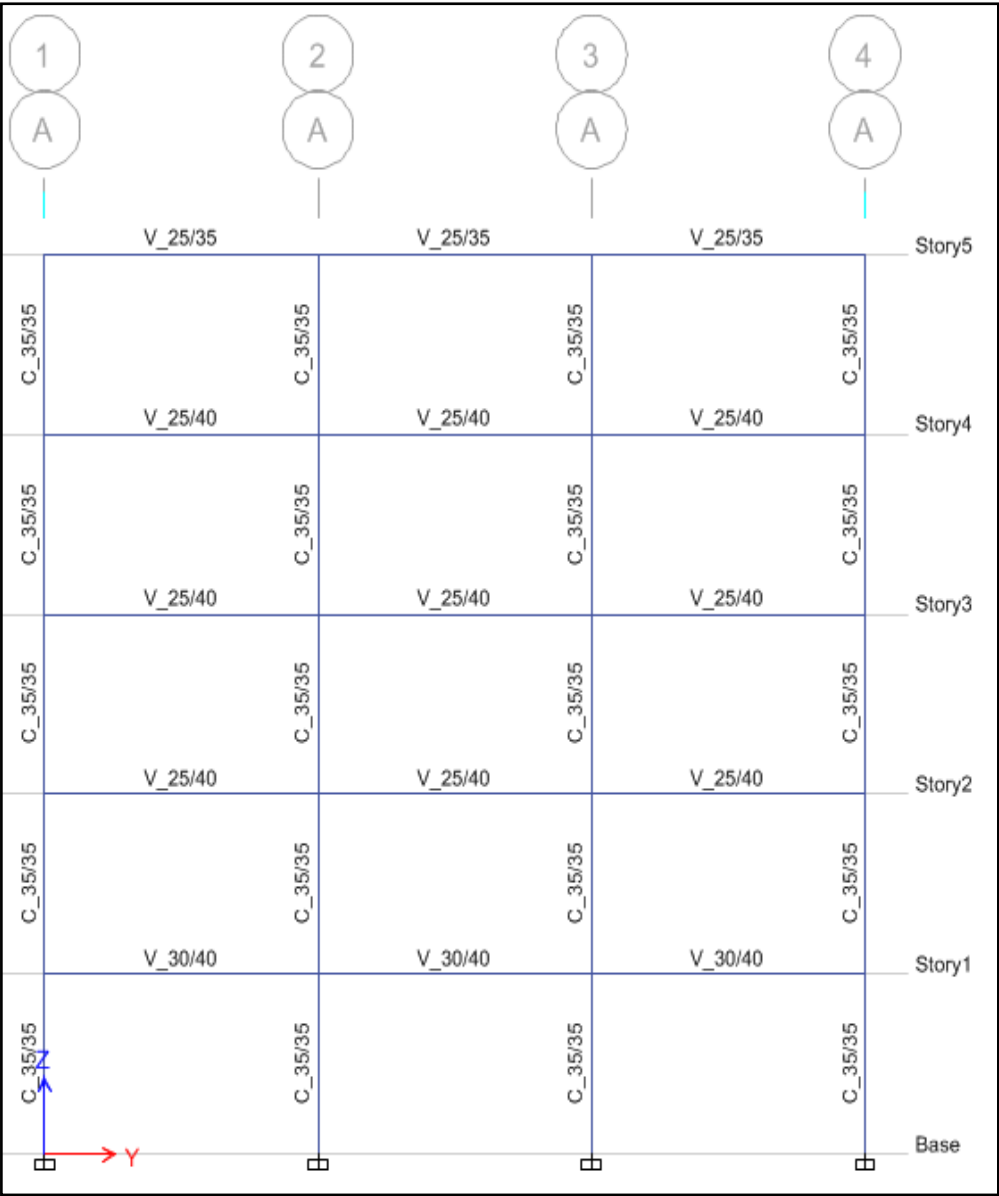
Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 99- Planta N+15.00.



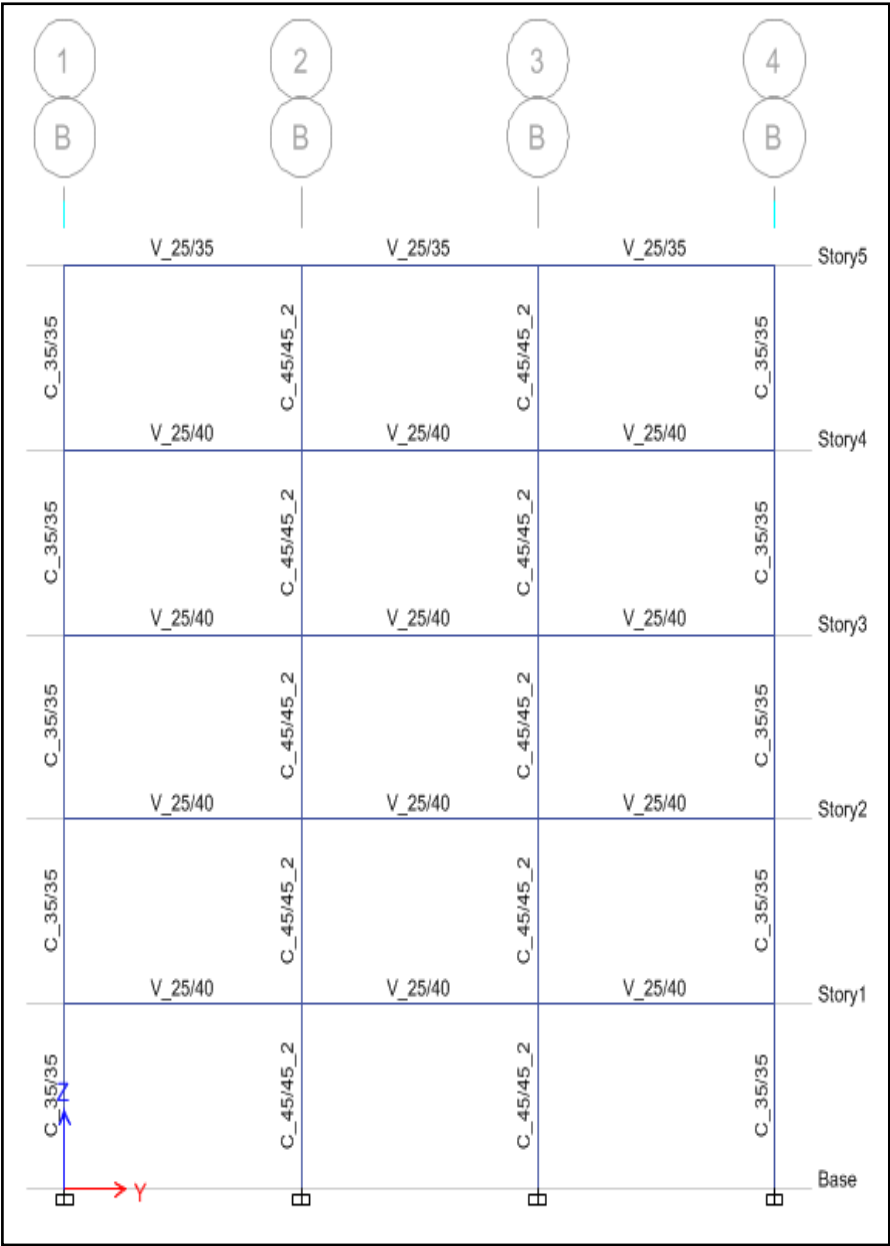
Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 100- Elevación A.



Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Figura 101- Elevación B



Fuente: Autor
Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.2.7.- Cálculo de cantidades de materiales.

Con las nuevas dimensiones y el nuevo diseño se realizó un nuevo cálculo de cantidades de material.

Cuadro 42- Cálculo de cantidades de materiales.

RESUMEN DE MATERIALES - AISLADORES		
NIVEL	HORMIGÓN (m³)	ACERO (Kg)
N+15.00	19.51	845.73
N+12.00	19.51	845.73
N+9.00	19.51	845.73
N+6.00	19.51	1114.20
N+3.00	19.95	1682.02
Cimentación	48.94	1267.79
TOTAL	146.91	6601.19

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

Al comparar las cantidades de materiales obtenidas en el sistema constructivo convencional con el sistema con aisladores elastoméricos, se puede apreciar que se redujeron dichas cantidades de manera significativa.

A este beneficio se suma la notable reducción de las derivas de piso y las fuerzas sísmicas que actúan sobre la estructura.

6.3.- Determinación de los Porcentajes de Reducción.

6.3.1.- Porcentajes de Reducción en Desplazamiento.

Cuadro 43- Porcentajes de reducción en desplazamiento.

Nivel	Sistema Convencional Desplazamiento	Sistema de Aislación Desplazamiento	Reducción (%)
N+15.00	0,0300	0,0111	62,988
N+12.00	0,0267	0,0100	62,687
N+9.00	0,0213	0,0081	61,933
N+6.00	0,0142	0,0056	60,690
N+3.00	0,0061	0,0025	58,974

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.3.2.- Porcentajes de Reducción de las Fuerzas Sísmicas.

Cuadro 44- porcentajes de reducción en desplazamiento

Nivel	Sistema Convencional Fuerza por piso	Sistema de Aislación Fuerza por piso	Reducción (%)
N+15.00	48,860	15,830	67,601
N+12.00	46,200	15,410	66,645
N+9.00	38,220	14,840	61,172
N+6.00	26,890	13,830	48,568
N+3.00	12,760	11,830	7,288

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.3.3.- Porcentajes de Reducción de las Derivas de Piso.

Cuadro 45- Porcentajes de reducción de las derivas de piso.

Nivel	Sistema Convencional Deriva Inelástica	Sistema de Aislación Deriva Inelástica	Reducción (%)
N+15.00	0,0050	0,0017	65,455
N+12.00	0,0081	0,0028	65,637
N+9.00	0,0107	0,0038	64,413
N+6.00	0,0122	0,0046	61,956
N+3.00	0,0092	0,0038	58,932

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.3.4.- Porcentajes de Reducción de Hormigón (m3).

Cuadro 46- Porcentjes de reducción de hormigón

Nivel	Sistema Convencional	Sistema de Aislación	Reducción (%)
N+15.00	23,40	19,51	16,624
N+12.00	29,66	19,51	34,221
N+9.00	35,32	19,51	44,762
N+6.00	36,51	19,51	46,563
N+3.00	36,51	19,95	45,357
Cimentación	48,94	48,40	1,103
TOTAL	210,35	146,91	30,159

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

6.3.5.- Porcentajes de Reducción de Acero (kg).

Cuadro 47- Porcentajes de reducción de acero.

<i>Nivel</i>	<i>Sistema Convencional</i>	<i>Sistema de Aislación</i>	<i>Reducción (%)</i>
N+15.00	1.147,43	845,73	26,294
N+12.00	1.309,54	845,73	35,418
N+9.00	1.456,22	845,73	41,923
N+6.00	1.581,30	1.114,20	29,539
N+3.00	1.990,83	1.682,02	15,512
Cimentación	1.267,79	1.267,79	-
TOTAL	8.753,12	6.601,19	24,585

Fuente: Autor

Elaborado por: Edison Jairo Narváez Changuan

CAPITULO VII

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Concluido el presente trabajo de investigación se pueden aportar las siguientes conclusiones y recomendaciones.

7.1.- CONCLUSIONES.

En relación a los daños que se presentan en las estructuras de hormigón armado, durante un evento sísmico sucedido en Ecuador. (Referencia Terremoto de Bahía De Caraquez). Llegamos a las siguientes conclusiones:

- ✓ El terremoto de Bahía del 4 de Agosto de 1998, es un típico terremoto interplaca relacionado con el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana en el segmento Ecuador.
- ✓ Las características del terreno han tenido influencia en los daños experimentados por las edificaciones de Bahía de Caráquez y sus áreas aledañas, el terreno está constituido por material arenoso de grano fino, de compacidad media saturado.
- ✓ Al determinar los daños en los edificios escogidos para esta investigación, se desprende que la mayoría tiene cimentaciones superficiales sean zapatas aisladas, zapatas combinadas en una o dos direcciones o losas de cimentación que van a profundidades de 0,90 a 3,70 m. No se presenta inclinación de edificaciones, ni tampoco daños en las estructuras a causa de asentamientos. Son visibles los agrietamientos en aceras, bordes de edificaciones; se constataron volcanes de arena como evidencias de licuación del suelo.
- ✓ Se confirma la vulnerabilidad de las configuraciones estructurales con columnas cortas, plantas libres y rigidez limitada respecto a las adyacentes. También resultaron vulnerables edificaciones en esquina con grandes excentricidades entre los centros de rigidez y masa. La ausencia de vigas descolgadas reemplazadas por vigas anchas de peralte limitado, contribuyó a la falta de rigidez de la estructura; en algunos casos la

resistencia fue insuficiente. En cuanto a las secciones de las columnas fueron adecuadas para soportar las acciones generadas por el sismo, incluyendo los momentos transmitidos por las vigas y losas conectadas a ellas. En las plantas bajas libres, la poca rigidez de las vigas limitó la acción de aparcamiento, que se tradujo en mayores momentos en la base de las columnas provocando en algunos casos daños incipientes y en otros severos. La disposición de piscinas en planta baja ha resultado un problema cuando sus muros interfieren en la libre deformidad de las columnas. También se recomienda eliminar los tanques de agua ubicados en las plantas altas de los edificios.

En cuanto a los elementos no estructurales se concluyó en lo siguiente:

- ✓ La disposición de mampostería en fachadas apoyadas en voladizos no enmarcados por la estructura, sin elementos de fijación es deficiente, ha resultado en costosos daños así como una grave amenaza por el desprendimiento y caída libre de trozos de mampostería desde alturas considerables. La mampostería hecha a base de bloques huecos de material pómez, parece ser además de frágil excesivamente débil. Las aclaraciones anteriores conjuntamente con las estructuraciones marcadamente flexibles acentuó los daños no estructurales, estos contrastan con los daños limitados en las estructuras portantes.

En cuanto a los materiales utilizados se concluyó en lo siguiente:

- ✓ De manera general, los defectos de ejecución en el concreto de los elementos portantes fueron puntuales. Sobre la disposición de las armaduras de refuerzo es poco lo que se puede decir ya que se requiere la inspección de la construcción en sitio. Los focos de corrosión constatados en algunos elementos portantes, en especial columnas ameritan un seguimiento futuro para evaluar sus implicaciones en la seguridad y la necesidad de intervención. El empleo de bloques huecos de pómez así como los gruesos espesores de recubrimientos y enlucidos en general han tenido un mal comportamiento.

- ✓ En Bahía de Caraquez un edificio colapsó, unos pocos tuvieron afectaciones estructurales graves, y muchos se afectaron en sus mamposterías; de los estudios realizados sobre los edificios objeto del presente trabajo, se encuentra que el refuerzo longitudinal requerido en vigas y columnas es en general aceptable; es decir que los edificios fueron calculados y diseñados para que resistan las fuerzas del código, pero no estaban aptos para hacer frente al sismo de diseño; pues no tenían las condiciones para incursionar en el rango inelástico.
- ✓ Los extensos daños en mamposterías reflejan que tampoco fue realizada la de revisión de distorsiones máximas. La realidad es que en el caso de los edificios de Bahía, hubo ya algunos contratiempos ya que tenían algunas de las características siguientes: grandes luces, sistemas de entepiso unidireccionales, vigas banda, pocas o ninguna pared estructural de concreto, grandes volados, paredes sueltas, excesivo peso de paredes, concentración de masas y rigideces, que daban una estructura pesada y muy flexible; el resultado esperado fue el generalizado daño de paredes. También hubo casos de pisos blandos, columnas cortas, y/o torsión en planta, que impiden la traslación armoniosa del edificio y su comportamiento predominante en flexión.
- ✓ En los edificios que tuvieron daños en paredes y no daños estructurales y que por tanto no había síntomas de fluencia en sus elementos; se puede afirmar que el edificio se mantuvo en el rango elástico.

Respecto a la propuesta de utilizar aisladores sísmicos, se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ Se logró ejecutar con éxito el diseño y análisis de una estructura convencional aplicando la norma vigente NEC-11 y el código ACI 318-08, utilizando el programa computacional ETAPS 2013 y el diseño del sistema de aislamiento del edificio en los programas de CEINCI-LAB desarrollados en MATLAB.
- ✓ En el estudio se obtuvieron las siguientes características de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en la base del edificio:

1.- Geometría del aislador.

2.- Propiedades de los materiales.

3.- Propiedades dinámicas del aislador.

- ✓ Se demostró que utilizando aisladores sísmicos, el desplazamiento se redujo en 60,68%.
- ✓ Se demostró que las fuerzas sísmicas en cada nivel se reducen más de 49%, llegando incluso a valores cercanos a 68% de disminución en el último nivel del edificio.
- ✓ Se comprobó que las derivas se pueden reducir en más de 75% cuando se utilizan aisladores sísmicos, habiéndose obtenido valores que sobrepasan aún el 60%. El uso de un sistema de aislamiento sísmico permitió cumplir con el requerimiento de deriva máxima establecido en la Norma NEC 11, sin necesidad de la existencia de placas y/o muros portantes.
- ✓ El amortiguamiento total del edificio aislado sísmicamente es mayor que 3 - 5% típicamente considerado en edificaciones con base fija, alcanzándose un valor aproximado del 18,31%.
- ✓ Se demostró que utilizando aisladores sísmicos, las secciones de hormigón se redujeron en 30%.
- ✓ Se demostró que utilizando aisladores sísmicos, las secciones de acero se redujeron en 25%.
- ✓ El comportamiento estructural del edificio aislado, referido esencialmente a los elementos estructurales, será óptimo en caso de sismos moderados y muy eficientes durante sismos severos.
- ✓ Los sistemas de aislación sísmica mejoran el comportamiento de las estructuras ante un evento sísmico, reduciendo los daños esperados en elementos estructurales y no estructurales; esto permite que estas estructuras sean utilizadas con seguridad después de ocurrido el sismo.
- ✓ Los aisladores sísmicos al introducir un interfaz flexible entre el suelo y la superestructura reduce las aceleraciones y los daños en la misma. Se aumenta el periodo fundamental de la estructura, se incrementa el amortiguamiento, los desplazamientos son relativamente uniformes lo que hace que se reduzcan las deformaciones.

- ✓ Los aisladores sísmicos se pueden usar en todas las estructuras, sin embargo es necesario controlar la relación entre altura y base de la edificación que no pase de 3 y verificar el tipo de suelos sobre el cual se va a cimentar.
- ✓ Los sistemas de aislación sísmica presenta un excelente comportamiento cuando la estructura aislada es regular en planta como en elevación; en el caso de estructuras irregulares los aisladores dejan de actuar como un solo sistema y empiezan a trabajar independientemente, generando varios desplazamientos debido a la concentración de masas que no se ubican en el centro geométrico de la estructura.

7.2.- RECOMENDACIONES.

En relación a los daños que se presentan en las estructuras de hormigón armado, durante un evento sísmico sucedido en Ecuador. (Referencia Terremoto de Bahía De Caraquez). Se recomienda lo siguiente:

- ✓ Las recomendaciones respecto a que las estructuras sean simétricas en planta y en elevación, sin concentrar masas ni rigideces ni en planta ni en elevación, evitar pisos blandos, columnas cortas, etc. Todo es calculable con los modernos programas de computación; sin embargo teniendo en cuenta que el sismo de diseño es mucho mayor que las fuerzas del código y por consiguiente la estructura será indefectiblemente superada su capacidad elástica, es imperativo revisar que efectivamente sean las vigas las que fluyan por flexión.
- ✓ Evitar cambios repentinos en la distribución vertical de la rigidez y resistencia de pisos.
- ✓ Evitar restringir columnas mediante dinteles y/o antepechos de ventanas, de hacerlo así, proveer el suficiente confinamiento en la vecindad de la restricción.
- ✓ Proveer generosas dimensiones en columnas laterales y de borde que serán las más excitadas durante un sismo.

- ✓ Proveer suficiente confinamiento lateral a las columnas; esto sirve de apoyo al refuerzo longitudinal restringiendo su pandeo y manteniendo el núcleo de hormigón intacto durante las inversiones de carga que son provocadas por el sismo.
- ✓ Evitar empalmes de columnas en las cercanías de nudos viga–columna, esto debilita la zona y se corre el riesgo de romper el monolitismo entre vigas y columnas.
- ✓ Mantener un estricto control en la construcción especialmente en la fundición de uniones viga – columna, ya que podrían quedarse objetos ajenos al hormigón (palos, virutas, plásticos, etc.); los cuales darían lugar a la formación de juntas frías.
- ✓ Utilizar losas de cimentación en lugar de plintos aislados. Esto evita que se produzcan asentamientos diferenciales y reduce la magnitud de los asentamientos en general.

Respecto a la propuesta de utilizar aisladores sísmicos, se hace las siguientes recomendaciones:

- ✓ La factibilidad de implementar algún sistema de aislación sísmica se basa en los resultados obtenidos en el análisis estructural convencional y aislado. Sin embargo, la factibilidad económica de construir un edificio aislado se determinará principalmente a partir de una serie de estudios interdisciplinarios que consideren investigaciones geológicas, de riesgo sísmico, análisis estructural, entre otras áreas.
- ✓ En un edificio con aislamiento sísmico, el tema de conexión entre: el edificio, el aislador y la cimentación debe ser tratado con toda la importancia; ya que debe existir un claro deslinde entre la cimentación y la superestructura.
- ✓ Desarrollar con más profundidad las investigaciones acerca del aislamiento sísmico en edificios para poder actualizar los códigos y determinar hasta donde podremos reducir las exigencias normativas en el diseño de las estructuras aisladas. Nuestro país está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico por lo que es recomendable que como ingenieros civiles tomemos en cuenta las ventajas que nos ofrece un sistema de aislamiento sísmico

en cualquier tipo de edificación, para de esta manera reducir la vulnerabilidad que se pueda presentar en estructuras ante la acción de fuerzas sísmicas

- ✓ Hacer un estudio técnico y económico para establecer los aspectos positivos y negativos de los sistemas propuestos, con el fin de determinar el tipo de aislación sísmica.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, R. (2009). Nuevo mapa de peligrosidad sísmica. *SigmaIngeniando*, 6-10.
- Alvarado, M. (2011). *"Caracterización de los componentes ambientales"*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Anda Ruiz, A. d. (14 de Octubre de 2009). *Sedesol*. Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de <http://www.acapulco.gob.mx/>
- Aucancela Paguay, J. G. (2010). *"Evaluación de la construcción informal de edificaciones en zonas urbano marginales de la ciudad de Rio Bamba"*. Chimborazo: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Bartomioli, E. (4 de Septiembre de 2008). *Documento país*. Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de <http://ec.europa.eu/>
- Campusano Osores, A. (5 de Septiembre de 2013). *Apuntes de clases:Sismos*. Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de <http://www.mardechile.cl/>
- Castro Chang, C. J. (14 de Julio de 2012). *Repositorio@UCSG*. Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/123456789/111>
- Ciudad Real Nuñez, A. M. (2008). Biología y Geología. *Enfoques educativos*, 434.
- Doblas, M. (17 de Diciembre de 2010). *Fallas y zonas de cizalla*. Recuperado el 6 de Mayo de 2015, de <http://www.uclm.es/>
- Falconí, R. A. (2008). *"Análisis sísmico de edificaciones"*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército.
- Flores, E. (2011). Intensidad y Magnitud de los sismos. *Centro de Sismología*, 142-146.
- Gómez Ortiz, D. (1989). *Problemas de Geología Estructural*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- González Noriega, F. (26 de Enero de 2012). *AstroMía*. Recuperado el 30 de Abril de 2015, de <http://www.astromia.com/>
- H Kuroiwa, J. (2011). *"Gestión e riesgo de desastres sismos y tsunamis"*. Lima-Perú: Viceministerio de Construcción y Saneamiento.
- Maji Chauca, G. P. (2010). *"Estudio del amortiguador del líquido Sincronizado (TLD)"*. Chimborazo: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Martínez Zorrilla, A. (27 de Junio de 2011). *Geografía y medio Ambiente*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de <http://historiaybiografias.com/f>

- Pascual, I. (4 de Agosto de 2012). *Actividad Sísmica*. Recuperado el 2 de Mayo de 2015, de www.google.com.ec/webhp?sourceid=chrome-instant
- Pérez López, R. (2003). *"Sobre la teoría del caos aplicada en sismotectónica: geometría fractal de fallas y terremotos"*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Pupo Sanabria, I. (17 de Diciembre de 2013). *Sísmica*. Recuperado el 30 de Abril de 2015, de <http://publiespe.espe.edu.ec/>
- Rivas Castaño, M. (2012). *"Daño sísmico estructural"*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Rojas, S. (2009). *Clase No 1 de túneles*. Mérida- Venezuela: Universidad de los Andes.
- Sagñay Novay, A. L. (2014). *"Evaluación y propuesta de diseño sismo-resistente para viviendas construidas con materiales no tradicionales"*. Chimborazo: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Sagripanti, G. L. (1 de Noviembre de 2007). *Cordobensis*. Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de <http://www.cba.gov.ar/>
- Silva Estrella, F. (2005). *"Lineamientos generales para implementar una red de atención de emergencias y desastres en el cantón Quito"*. Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales.
- Vilema Condo, C. D. (2014). *"Análisis del factor de reducción de las fuerzas sísmicas (R) en un edificio de Hormigón aramado"*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Zelaya Jara, V. A. (2007). *"Estudio sobre diseño sísmico en construcciones de Adobe y su incidencia en la reducción de desastres"*. Lima-Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal.

