

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE POSGRADO EN INGENIERIA Y CIENCIAS

**ANÁLISIS SÍSMICO ESTRUCTURAL COMPARATIVO PARA
EDIFICIOS CON AISLADORES DE BASE TIPO ELASTOMÉRICOS
Y FRICCIONANTES, PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS
DEL ECUADOR**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER
EN ESTRUCTURAS**

ING. ERIK GABRIEL VILLAVICENCIO CEDEÑO

ing.erik.villavicencio@gmail.com

DIRECTOR: ING. SIGIFREDO DÉCIMO DÍAZ MENDOZA, MSc

sigdiaz@yahoo.com

Quito, Diciembre 2015

DECLARACIÓN

Yo, Erik Gabriel Villavicencio Cedeño declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

ERIK GABRIEL VILLAVICENCIO CEDEÑO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Erik Gabriel Villavicencio Cedeño, bajo mi supervisión.

ING. SIGIFREDO DÍAZ
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de una educación de cuarto nivel de calidad y en la que he forjado mis conocimientos.

A los catedráticos de la Escuela Politécnica Nacional por impartirnos sus conocimientos en el aula de clases, en especial al Ing. Sigifredo Díaz M. por ser mi guía como Director de tesis.

A mis padres por apoyarme en el transcurso de mis estudios y ser los pilares fundamentales de mi educación y vocación.

Erik Gabriel Villavicencio Cedeño

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a las personas más importantes en mi vida, y quienes hicieron posible que cumpla esta meta que me había propuesto;

A Dios por regalarme un día a día lleno de bendiciones.

A mi abuelita Julia que desde me pequeño inculcó valores y desde el cielo está feliz por lograr esta meta alcanzada.

A mis padres Dr. Gabriel Villavicencio y Yolanda Cedeño por ser quienes me apoyaron desde el principio de mis estudios y a quienes no he defraudado.

A mis hermanas Ing. Jennifer y Yolandita Villavicencio por su apoyo incondicional.

A mi esposa Licda. Silvia Giler por su apoyo.

A mi hijos Anthony Gabriel y Jesús Benjamín por ser la fuente de inspiración para mis estudios.

Erik Gabriel Villavicencio Cedeño

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
LISTADO DE TABLAS.....	XV
LISTADO DE FIGURAS.....	XXVIII
RESUMEN.....	XXXIII
ABSTRACT.....	XXXIV
PRESENTACIÓN.....	XXXV

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Alcance.....	3

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA APLICADOS A LA INGENIERÍA

SÍSMICA.....	4
2.1 Tectónica de las placas.....	4
2.2 Mecanismo focal.....	6
2.3 Ondas sísmicas.....	6

2.4	Acelerogramas.....	8
2.4.1	Acelerogramas reales	8
2.4.2	Acelerogramas artificiales	8
2.4.3	Acelerogramas sintéticos	9
2.5	Características de los acelerogramas	9
2.5.1	Valores pico	9
2.5.2	Velocidad máxima acumulada (<i>cav</i>)	10
2.5.3	Aceleración cuadrática media	11
2.5.4	Intensidad de áreas (<i>ia</i>)	11
2.5.5	Intensidad espectral (<i>si</i>).....	12
2.6	Espectros de respuesta	13
2.6.1	Espectros de respuesta elásticas.....	13
2.6.2	Espectros de respuesta inelásticos.....	13
2.6.3	Espectros de diseño	14
2.7	Magnitud	14
2.8	Intensidad	15

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS CONVENCIONALES UTILIZANDO LA

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-2015.....17

3.1	Parámetros generales de diseño.	17
3.1.1	Zonas sísmicas y factor de zona z.	20
3.1.2	Tipos de perfiles de suelos.	21
3.1.3	Coeficientes de amplificación y deamplificación dinámica de perfiles de suelo f_a , f_d y f_s	23

3.1.4	Coeficiente de configuración estructural en planta ϕ_p y coeficiente de configuración en elevación ϕ_e	23
3.1.5	Factor de reducción de resistencia sísmica r	23
3.1.6	Coeficiente de importancia i	24
3.1.7	Espectro elástico de diseño	24
3.1.8	Combinaciones de carga según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015.....	26
3.2	Métodos de análisis y requisitos generales para la modelación estructural.....	26
3.2.1	Método de estático de fuerzas laterales	27
3.2.1.1	Cortante basal de diseño.....	27
3.2.1.2	Distribución vertical de fuerzas laterales	28
3.2.1.3	Periodo de vibración.....	28
3.2.2	Análisis de respuesta espectral.....	29
3.3	Espectros inelásticos NEC-2015	30
3.4	Análisis de los edificios aporticados	33
3.4.1	Resultados del análisis del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A	36
3.4.2	Resultado del análisis del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B	37
3.4.3	Resultado del análisis del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C.....	38
3.4.4	Resultado del análisis del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D.....	39
3.4.5	Resultado del análisis del edificio aporticado cimentado en	

suelo tipo E	40
3.5 Análisis de los edificios con muros de corte	41
3.5.1 Resultados del análisis del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A.....	44
3.5.2 Resultados del análisis del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B.....	45
3.5.3 Resultados del análisis del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C.....	46
3.5.4 Resultados del análisis del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D.....	47
3.5.5 Resultados del análisis del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E.....	48

CAPÍTULO 4

 AISLAMIENTO SÍSMICO.....	49
4.1 Concepto de aislación sísmica	49
4.2 Componentes de un sistema de aislación sísmica	52
4.2.1 Interfaz de aislamiento.....	53
4.2.2 Unidad de aislamiento	53
4.2.3 Sistema de aislamiento	53
4.3 Criterios para emplear el sistema de aislamiento	54
4.4 Filosofía de diseño para estructuras con aislamiento sísmico	57
4.5 Tipos de aisladores sísmicos	58
4.5.1 Aisladores elastoméricos	58
4.5.1.1 Aisladores de bajo amortiguamiento (LDR).	60

4.5.1.2	Aisladores de alto amortiguamiento (HDR).....	61
4.5.2	Aislador con núcleo de plomo (LRB).....	63
4.5.3	Rodamientos deslizantes.....	66
4.5.3.1	Aislador de péndulo de fricción con simple curvatura (FPS).....	67
4.5.3.2	Aislador péndulo de fricción de doble curvatura (DFPS).....	69
4.5.3.3	Aislador de péndulo de fricción con tripe curvatura (TFPS).....	72

CAPÍTULO 5

REQUISITOS MÍNIMOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS AISLADAS

UTILIZANDO NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC

REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES

FEMA450.....76

5.1	Conceptos generales.....	76
5.2	Métodos de diseño.....	77
5.3	Análisis estático equivalente.....	78
5.3.1	Desplazamiento de diseño.....	79
5.3.2	Periodo efectivo del desplazamiento de diseño.....	80
5.3.3	Desplazamiento maximo.....	81
5.3.4	Periodo efectivo correspondiente al desplazamiento máximo.....	82
5.3.5	Desplazamiento total de diseño.....	82
5.3.6	Desplazamiento total maximo.....	83
5.3.7	Fuerza lateral mínima del sistema de aislamiento.....	84
5.3.8	Fuerza lateral mínima de la superestructura.....	84
5.3.9	Distribución de fuerzas verticales para la superestructura.....	85
5.4	Análisis de respuesta espectral.....	88

5.4.1	Desplazamientos de diseño	90
5.4.2	Espectro de respuesta	90
5.4.3	Escalamiento de los espectro de respuesta.....	90
5.4.4	Deriva de piso.....	91

CAPÍTULO 6

PARÁMETROS DEL MODELO BILINEAL, CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, CONTROL A CORTE DEL ESPESOR DE LA GOMA, CONTROL DE LA CARGA DE PANDEO Y DESPLAZAMIENTO CRÍTICO, DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO.....92

6.1	Parámetros del modelo bilineal para aisladores elastomericos con nucleo de plomo	92
6.2	Características mecánicas de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	96
6.3	Control del espesor de la goma de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	99
6.4	Control de cargas de pandeo	104
6.5	Diseño de las placas exteriores	105

CAPÍTULO 7

PARÁMETROS DEL MODELO BILINEAL CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DEL AISLADOR DE PÉNDULO DE FRICCIÓN CON SIMPLE CURVATURA(FPS).....110

7.1	Parámetros del modelo bilineal para aisladoresde péndulo de fricción con simple curvatura.....	111
-----	--	-----

7.2	Características y diseño del aislador de péndulo de fricción con simple curvatura.....	116
7.2.1	Espesor de la placa en el centro y placa en laterales.....	117
7.2.2	Diseño del rodamiento	121

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA AISLACIÓN.....127

8.1	Espectros reducidos para el análisis modal espectral de los edificios aislados LRB - FPS.....	128
8.2	Aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo LRB	131
8.2.1	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores elastomericos LRB.....	131
8.2.2	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores elastomericos LRB.....	151
8.2.3	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores elastomericos LRB.....	154
8.2.4	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores elastomericos LRB.....	157
8.2.5	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores elastomericos LRB.....	160
8.2.6	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores elastomericos LRB.....	163
8.2.7	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores elastomericos LRB.....	166

8.2.8	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores elastomericos LRB.....	169
8.2.9	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores elastomericos LRB.....	172
8.2.10	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores elastomericos LRB.....	175
8.3	Aisladores sísmicos tipo péndulo de fricción con simple curvatura FPS.....	180
8.3.1	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores tipo pendulo de fricción FPS	180
8.3.2	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores tipo pendulo de fricción FPS	194
8.3.3	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores tipo pendulo de fricción FPS	197
8.3.4	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores tipo pendulo de fricción FPS	200
8.3.5	Edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores tipo pendulo de fricción FPS	203
8.3.6	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores tipo pendulo de fricción FPS.....	206
8.3.7	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores tipo pendulo de fricción FPS.....	209
8.3.8	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores tipo pendulo de fricción FPS.....	212
8.3.9	Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con	

aisladores tipo pendulo de fricción FPS.....215

8.3.10 Edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con

aisladores tipo pendulo de fricción FPS.....218

CAPÍTULO 9

COMPARACIÓN RESULTADOS.....224

9.1 Relación de periodos fundamentales225

9.2 Cortantes de piso y cortante basal226

9.3 Desplazamientos máximos en edificios.....229

9.4 Derivas máximas de los edificios231

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....233

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....236

LISTADO DE TABLAS

TABLA 3.1: Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada	21
TABLA 3.2: Clasificación de los tipos de suelos según la NEC-2015	22
TABLA 3.3: Tipo de suelo y factores de sitio fa	23
TABLA 3.4: Sobre carga de terminados y carga viva	33
TABLA 3.5: Peso sísmico del edificio aporticado	34
TABLA 3.6: Coeficientes estructurales para el análisis estático y dinámico de los edificios aporticados	34
TABLA 3.7: Periodos de vibración y masas participativas	35
TABLA 3.8: Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo A.....	36
TABLA 3.9: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A	36
TABLA 3.10: Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo B.....	37
TABLA 3.11: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B	37
TABLA 3.12: Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo C	38
TABLA 3.13: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C	38
TABLA 3.14: Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo D	39
TABLA 3.15: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado	

en suelo tipo D	39
TABLA 3.16: Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo E.....	40
TABLA 3.17: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E	40
TABLA 3.18: Peso sísmico del edificio con muros de corte.....	42
TABLA 3.19: Coeficientes estructurales para el análisis estático y dinámico de los edificios con muros de corte	42
TABLA 3.20: Periodos de vibración y masas participativas	43
TABLA 3.21: Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo A.....	44
TABLA 3.22: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A.....	44
TABLA 3.23: Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo B.....	45
TABLA 3.24: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B.....	45
TABLA 3.25: Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo C.....	46
TABLA 3.26: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C.....	46
TABLA 3.27: Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo D.....	47
TABLA 3.28: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D.....	47

TABLA 3.29: cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo E	48
TABLA 3.30: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E	48
TABLA 5.1: Factores de modificación de respuesta del amortiguamiento	80
TABLA 5.2: Factor de reducción para el diseño de la superestructura	85
TABLA 5.3: Resumen de los criterios mínimos de diseño para análisis dinámico	89
TABLA 6.1: Valores de f_1 para aisladores circulares	101
TABLA 6.2: Valores de f_2 para un aislador circular	102
TABLA 6.3: Control para el espesor de la goma	103
TABLA 7.1: Requerimiento para el diseño del rodamiento	121
TABLA 8.1: Datos generales de la estructura y del sistema de aislación para el edificio aporticado, y edificio con muros de corte	127
TABLA 8.2: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB	148
TABLA 8.3: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB.....	148
TABLA 8.4: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB	149
TABLA 8.5: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B	151
TABLA 8.6: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB	151
TABLA 8.7: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado	

cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB	152
TABLA 8.8: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB.....	152
TABLA 8.9: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB	153
TABLA 8.10: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C	154
TABLA 8.11: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB	154
TABLA 8.12: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB	155
TABLA 8.13: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB	155
TABLA 8.14: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB	156
TABLA 8.15: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D	157
TABLA 8.16: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB	157
TABLA 8.17: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB	158
TABLA 8.18: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB	158
TABLA 8.19: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB	159

TABLA 8.20: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E	160
TABLA 8.21: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB	160
TABLA 8.22: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB	161
TABLA 8.23: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB.....	161
TABLA 8.24: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB	162
TABLA 8.25: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A.....	163
TABLA 8.26: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB.....	163
TABLA 8.27: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB.....	164
TABLA 8.28: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB	164
TABLA 8.29: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB	165
TABLA 8.30: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B.....	166
TABLA 8.31: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB.....	166
TABLA 8.32: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con	

muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB	167
TABLA 8.33: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB	167
TABLA 8.34: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB	168
TABLA 8.35: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C.....	169
TABLA 8.36: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB	169
TABLA 8.37: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB	170
TABLA 8.38: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB	170
TABLA 8.39: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB.....	171
TABLA 8.40: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D.....	172
TABLA 8.41: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB	172
TABLA 8.42: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB	173
TABLA 8.43: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB	173
TABLA 8.44: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB.....	174

TABLA 8.45: Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E.....	175
TABLA 8.46: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB.....	175
TABLA 8.47: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB.....	176
TABLA 8.48: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB	176
TABLA 8.49: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB.....	177
TABLA 8.50: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con sistema de aislación FPS.....	192
TABLA 8.51: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS.....	192
TABLA 8.52: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS.....	193
TABLA 8.53: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B	194
TABLA 8.54: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS	195
TABLA 8.55: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con sistema de aislación FPS.....	195
TABLA 8.56: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS.....	195
TABLA 8.57: Modos de vibración y masas participativas del edificio	

aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS.....	196
TABLA 8.58: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C	197
TABLA 8.59: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS	197
TABLA 8.60: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con sistema de aislación FPS	198
TABLA 8.61: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS	198
TABLA 8.62: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS.....	199
TABLA 8.63: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D	200
TABLA 8.64: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS	200
TABLA 8.65: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con sistema de aislación FPS	201
TABLA 8.66: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS	201
TABLA 8.67: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS.....	202
TABLA 8.68: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E	203
TABLA 8.69: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS	203

TABLA 8.70: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con sistema de aislación FPS.....	204
TABLA 8.71: Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS.....	204
TABLA 8.72: Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS.....	205
TABLA 8.73: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A.....	206
TABLA 8.74: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS.....	206
TABLA 8.75: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con sistema de aislación FPS.....	207
TABLA 8.76: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS.....	207
TABLA 8.77: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS.....	208
TABLA 8.78: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B.....	209
TABLA 8.79: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS.....	209
TABLA 8.80: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con sistema de aislación FPS.....	210
TABLA 8.81: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS.....	210
TABLA 8.82: Modos de vibración y masas participativas del edificio con	

muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS.....	211
TABLA 8.83: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C.....	212
TABLA 8.84: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS	212
TABLA 8.85: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con sistema de aislación FPS.....	213
TABLA 8.86: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS	213
TABLA 8.87: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS.....	214
TABLA 8.88: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D.....	215
TABLA 8.89: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS	215
TABLA 8.90: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con sistema de aislación FPS.....	216
TABLA 8.91: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS	216
TABLA 8.92: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS.....	217
TABLA 8.93: Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E.....	218
TABLA 8.94: Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS.....	218

TABLA 8.95: Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con sistema de aislación FPS	219
TABLA 8.96: Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS	219
TABLA 8.97: Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS.....	220
TABLA 9.1: Relación de periodos de edificios aporticados empotrados versus edificios aporticados aislados	225
TABLA 9.2: Relación de periodos de edificios con muros de corte empotrados versus edificios con muros de corte aislados.....	226
TABLA 9.3: Reducción de cortantes basales de los edificios aislados versus edificios empotrados.....	226
TABLA 9.4: Reducción de cortantes basales de los edificios aislados con muros de corte versus edificios empotrados con muros de corte	226
TABLA 9.5: Desplazamientos de los edificios aporticados	229
TABLA 9.6: Desplazamientos de los edificios con muros de corte	229
TABLA 9.7: Derivas de piso de los edificios aporticados	231
TABLA 9.8: Derivas de piso de los edificios con muros de corte	232

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Placas tectónicas del planeta	4
FIGURA 2.2: Deslizamiento entre placas.....	5
FIGURA 2.3: Tipos de ondas sísmicas	7
FIGURA 2.4: Aceleración, velocidad y desplazamiento del sismo de northdridge 1994.....	10
FIGURA 3.1: Vista en planta de edificios aporticado.....	18
FIGURA 3.2: Vista en planta del edificio aporticado	19
FIGURA 3.3: Mapa de las zonas sísmicas en el Ecuador.....	20
FIGURA 3.4: Espectro elástico de aceleraciones	25
FIGURA 3.5: Espectro inelástico suelo tipo A.....	30
FIGURA 3.6: Espectro inelástico suelo B.....	31
FIGURA 3.7: Espectro inelástico suelo C	31
FIGURA 3.8: Espectro inelástico suelo D	32
FIGURA 3.9: Espectro inelástico suelo E.....	32
FIGURA 4.1: Deformada de una estructura convencional	50
FIGURA 4.2: Deformada de una estructura con aislamiento sísmico.....	50
FIGURA 4.3: Aceleraciones sísmicas en una estructura aislada.....	51
FIGURA 4.4: Disminución del desplazamiento debido al incremento de amortiguación.	52
FIGURA 4.5: Componentes de un sistema de aislamiento.	53
FIGURA 4.6: Esquema de aislación en edificios sin subsuelos	55
FIGURA 4.7: Esquema de aislación de edificios con subsuelos	56
FIGURA 4.8: Aislador de bajo amortiguamiento (LRB)	61

FIGURA 4.9: Aislador de alto amortiguamiento (HDR)	63
FIGURA 4.10: Esquema de un aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).....	66
FIGURA 4.11: Modelo de un aislador de simple curvatura fabricado por bridgestone	68
FIGURA 4.12: Esquema de un aislador de péndulo de fricción de doble curvatura.....	69
FIGURA 4.13: La fuerza lateral es mayor que la fuerza de fricción del aislador, produciendo un leve desplazamiento.....	70
FIGURA 4.14: Desplazamiento máximo del aislador de fricción con doble curvatura.....	71
FIGURA 4.15: Esquema de un aislador de tripe péndulo de fricción.....	73
FIGURA 4.16: Péndulo interior en movimiento debido al sismo de servicio	73
FIGURA 4.17: Péndulo inferior en movimiento debido al sismo de diseño.....	74
FIGURA 4.18: Movimiento del péndulo superior debido al sismo máximo considerado	74
FIGURA 5.1: Capacidad del sistema de aislamiento y demanda del sismo	86
FIGURA 5.2: Desplazamiento de diseño, máximo y desplazamiento máximo total.....	87
FIGURA 6.1: Parámetros principales del modelo bilineal.....	93
FIGURA 6.2: Cargas, desplazamientos y giros en la goma de un aislador	99
FIGURA 6.3: Área reducida de la goma de un aislador.	100
FIGURA 6.4: Esquema interno de un aislador con núcleo de plomo.....	106
FIGURA 6.5: Método del área reducida	107
FIGURA 7.1: Parámetros del modelo bilineal de un péndulo de fricción	110

FIGURA 7.2: Efecto del parámetro de ajuste a en la transición de u	111
FIGURA 7.3: Coeficientes de fricción	112
FIGURA 7.4: Diagrama de cuerpo libre del aislador en su configuración deformada.....	113
FIGURA 7.5: Método de la columna equivalente	117
FIGURA 7.6: Curva de corrección del momento último.....	119
FIGURA 7.7: Diagrama de las placas laterales	120
FIGURA 7.8: Definición de los parámetros geométricos de los rodamientos	122
FIGURA 7.9: Geometría del rodamiento	125
FIGURA 7.10: Dimensiones de la altura del rodamiento.....	126
FIGURA 7.11: Longitud de la placa cóncava y dimensiones vertical.....	126
FIGURA 8.1: Espectro reducido suelo tipo A	128
FIGURA 8.2: Espectro reducido suelo tipo B	128
FIGURA 8.3: Espectro reducido suelo tipo C	129
FIGURA 8.4: Espectro reducido suelo tipo D	129
FIGURA 8.5: Espectro reducido suelo tipo E	130
FIGURA 8.6: Aislador elastomérico en planta LRB	150
FIGURA 8.7: Aislador elastomérico en elevación	150
FIGURA 8.8: Aislador elastomérico LRB modelado en, edificios aporticados y con muros de corte, empleando los espectro de diseño del suelo tipo A, B, C, D.	178
FIGURA 8.9: Aislador elastomérico lrb modelado en, edificios aporticados y con muros de corte, empleando el espectro de diseño del suelo E	179
FIGURA 8.10: Dimensiones de la placa cóncava	188
FIGURA 8.11: Dimensiones de la placa convexa	189

FIGURA 8.12: Dimensiones del aislador FPS.....	194
FIGURA 8.13: Aislador tipo péndulo de fricción modelado en, edificios aportricados y con muros de corte, empleando el espectro de diseño del suelo tipo A, B, C	221
FIGURA 8.14: Aislador tipo péndulo de fricción modelado en, edificios aportricados y con muros de corte, empleando el espectro de diseño del suelo tipo D, E.....	223
FIGURA 9.1: Cortante de piso edificios aportricados cimentado en suelo tipo C	227
FIGURA 9.2: Cortante de piso edificios con muros de corte cimentado en suelo tipo C	228
FIGURA 9.3: Desplazamientos de los edificios aportricados cimentado en el suelo tipo C	230
FIGURA 9.4: Desplazamientos de los edificios con muros de corte cimentado en el suelo tipo C	231
FIGURA 9.5: Derivas de piso de los edificios aportricados cimentado en el suelo tipo C	233
FIGURA 9.6: Derivas de piso de los edificios con muros de corte cimentado en el suelo tipo C	233

RESUMEN

El presente trabajo demuestra las ventajas del análisis y diseño del sistema de aislación basal, de dos de los aisladores más utilizados en el mercado como son: aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y aisladores tipo péndulo de fricción (FPS).

Para el caso de estudio se analizaron dos edificios de diez niveles, constituidos de hormigón armado, vigas descolgadas y losas bidireccionales, simétricos en planta y regulares en elevación; el primero resistente a carga lateral basado en pórticos y el segundo con muros de corte en ambos sentidos ortogonales.

Utilizando la zona de mayor peligrosidad sísmica del Ecuador, se comparan los resultados del análisis estructural de los edificios aislados versus empotrados, variando los espectros de diseño de acuerdo al tipo de suelo.

ABSTRACT

The present work demonstrate the advantages of the analysis and design of the basal isolation system of two of the most widely used isolators in the market as they are: lead rubber bearing (LRB) and friction pendulum system (FPS).

For this study case, two buildings are analyzed, both with ten levels and regular elevation, the first is a portico based resilient to lateral load structure, and the second one is a bidirectional shear wall structure.

Using the most dangerous seismic area in Ecuador, the results from the structural analysis is are compared between isolated and built-in buildings varying the design spectrum according with each soil type.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo está compuesto por diez capítulos divididos de la siguiente manera:

El capítulo 1, está dedicado a la introducción del problema, a presentar el alcance y los objetivos del proyecto.

El capítulo 2, bosqueja una breve reseña teórica de los fundamentos de tectónica de placas, ondas sísmicas, tipos y características de acelerogramas, tipos de espectros y sus respectivos usos en el análisis sísmico, conceptos que son muy importante para el análisis de estructuras sismorresistente.

En el capítulo 3, se desarrolla la descripción de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 correspondiente al capítulo de peligro sísmico (Diseño Sismo Resistente), se realiza el análisis sísmico estructural de dos edificios de 10 niveles, el primer edificio resistente a carga lateral basado en pórticos y el segundo edificio con muros de corte en ambos sentidos ortogonales, constituidos de hormigón armado, vigas descolgadas y losas bidireccionales, los dos edificios son simétricos en planta y regulares en elevación. Las edificaciones antes mencionadas son analizadas para la zona de mayor peligrosidad sísmica del Ecuador (zona VI), variando los espectros de diseño de acuerdo al tipo de suelo que propone el NEC-2015, modelados con empotramiento en su base, sin tomar en cuenta los posibles efectos de la cimentación.

En el capítulo 4, se describen conceptos, criterios y filosofía de diseño para utilizar el sistema de aislación sísmica, se especifican las; características, ventajas y desventajas de los aisladores más comunes en el mercado como son; aisladores elastoméricos, aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y finalmente aisladores friccionantes.

En el capítulo 5, se detallan los requisitos mínimos de diseño para estructuras aisladas utilizando nehrp recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures fema-450.

En el capítulo 6, se estudian los parámetros del modelo bilineal, características mecánicas, control a corte del espesor de la goma, control de la carga de pandeo y desplazamiento crítico de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB).

En el capítulo 7, describen los parámetros del modelo bilineal características y diseño del aislador de péndulo de fricción con simple curvatura (FPS).

En el capítulo 8, utilizando procesos iterativos se procede a definir, dimensiones, características y propiedades mecánicas de los aisladores; a su vez se realiza el análisis de los edificios mencionados en el capítulo III con los dos sistemas de aislación, los cuales están constituidos por los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y los aisladores tipo péndulo de fricción.

En el capítulo 9, se muestra la comparación de los resultados obtenidos de los análisis estructurales realizados a los edificios aislados versus los edificios empotrados, principalmente se hace énfasis en; relación de periodos, cortantes de pisos, cortantes basales, desplazamientos y finalmente derivas.

Por ultimo en el capítulo 10, se presentan las conclusiones obtenidas en el presente trabajo y recomendaciones para futuros estudios.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Históricamente los proyectistas estructurales han tratado de controlar los desplazamientos y aceleraciones de las estructuras y así poder minimizar los daños producidos por un evento sísmico, en la antigüedad se trataba de disipar la energía de un sismo que afectaban las estructuras poniendo capas de arena entre la base del edificio y el suelo. En la ingeniería moderna los dispositivos como disipadores de energía y aislamiento de vibraciones, se aplicaron por primera vez en el campo de la ingeniería mecánica directamente en el área automotriz, el primer intento moderno de aislar una estructura ante un movimiento telúrico, fue realizado por la Escuela Heinrich Pestalozzi en 1969 (Macedonia), en el cual se utilizó un dispositivo de goma sin placa de refuerzo internas.

Debido a los avances y capacidades de las computadoras modernas se puede realizar análisis estructurales dinámicos no lineales y verificar la eficiencia de los dispositivos ante la respuesta de un evento sísmico en cuestión de minutos, lo que ha llevado en las últimas décadas el crecimiento significativo de construcciones nuevas y reforzamientos de estructuras existentes con el sistema de aislación basal; la verificación del sistema de aislamiento se llevó acabo con el sismo de Northridge en 1994 en los EEUU, y con el sismo de Hyogoken-Nanbu en Japón en 1995, donde las estructuras aisladas se comportaron muy eficientemente y no tuvieron mayor daño estructural.

La aislación sísmica se obtiene introduciendo flexibilidad en la base de la estructura en la dirección horizontal, mientras que al mismo tiempo colocamos amortiguación extra para reducir la amplitud del movimiento causado por las aceleraciones del sismo que causan tanto daño a los elementos estructurales; este concepto está orientado a la reducción significativa de cargas dinámicas, lo contrario al diseño convencional que está basado en un aumento de resistencia. Dependiendo de la sismicidad de la zona, la configuración estructural y el periodo objetivo que se

desea alcanzar se seleccionará los aisladores más adecuados; pueden ser todos del mismo tipo o una combinación de diferentes dispositivos; en el mercado internacional existen varias familias entre ellos tenemos, aisladores friccionantes de primera, segunda y tercera generación, aisladores elastómeros de alto y bajo amortiguamiento con o sin núcleo de plomo.

Los requisitos primordiales de una estructura con aisladores sísmicos consisten en resistir sismos pequeños y moderados; sin daño en elementos estructurales y no estructurales; y a su vez resistir sismos severos sin que exista falla o colapso en el sistema de aislación, que no se produzcan daños significativos en los elementos estructurales, ni daños masivos a elementos no estructurales, principalmente que la superestructura permanezca esencialmente en el rango elástico durante cualquier evento sísmico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Análisis comparativo de aisladores elastoméricos y friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y proporcionar antecedentes de los aisladores de tipo elastoméricos, friccionantes, propiedades, tipos, usos y ventajas.
- Definir claramente los parámetros que se utilizan para el óptimo diseño de un aislador.
- Exponer una metodología de diseño para edificaciones con sistemas de aisladores fundamentada en las disposiciones del Nehr Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA-450).

- Establecer una guía paso a paso de los criterios recomendados para el diseño de estructuras aisladas sísmicamente.
- Modelar varias estructuras con los aisladores elastoméricos y friccionantes, comparar su desempeño y comportamiento versus las estructuras modeladas en forma empotrada, para los espectros de diseño que proponen los diferentes tipos de suelos del Ecuador.

1.2 ALCANCE

Elaborar una investigación bibliográfica comprensiva acerca de los tipos, comportamientos y consideraciones en el uso de aisladores sísmicos, para personas que estén inmersas en el cálculo estructural.

Definir parámetros para el diseño de aisladores elastoméricos y friccionantes, utilizando la metodología que propone el FEMA-450, y esta que a su vez sirva como guía en el análisis de edificaciones aisladas sísmicamente en el Ecuador.

Realizar la comparación de los edificios con el sistema de aislación LRB y FPS, versus los edificios modelados con empotramiento en su base, comparando fuerzas cortantes, desplazamientos y derivas de pisos, y poder comprender las ventajas de los sistemas de aislamientos.

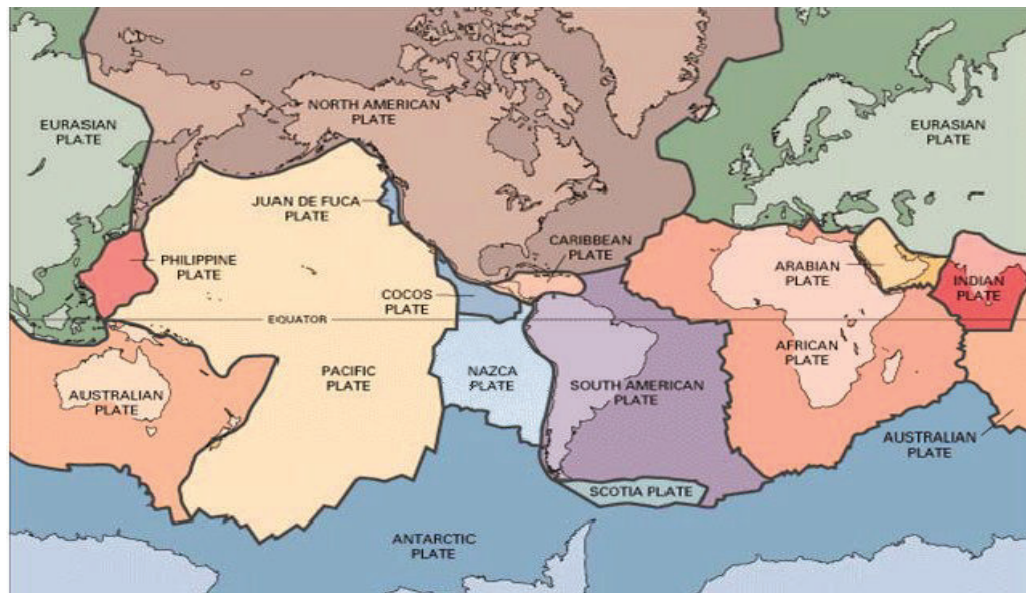
CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA APLICADOS A LA INGENIERÍA SÍSMICA

2.1 TECTÓNICA DE LAS PLACAS.

En la comunidad científica han aceptado el hecho de que la corteza terrestre está en constante movimiento y a determinado 7 grandes placas principales las cuales tenemos, Africana, Norteamericana, Sudamericana, Eurasiática, Australiana, Antártica y finalmente la del Pacífico, y también se ha determinado 7 placas secundarias como son la placas, De Nazca, De Cocos, Filipina, Árabe, Juan de Fuca, Del Caribe y por último la placa de Escocia, como se ilustra en la figura 2.1

FIGURA 2.1 Placas tectónicas del planeta



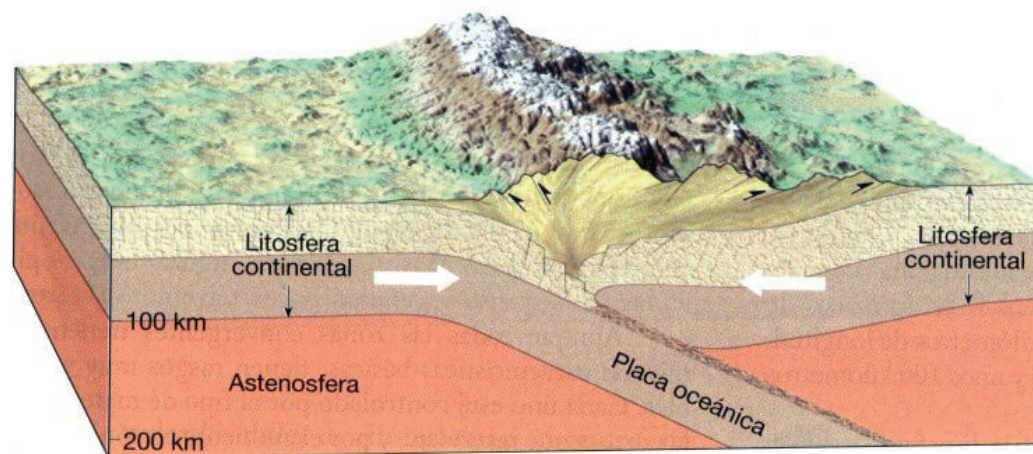
Fuente: Aguilar (2008)

Los movimientos de estas placas son los responsables de la formación de cadenas montañosas, volcanes, sismos y fallas geológicas de la corteza terrestre, como las placas están en movimiento estas chocan entre sí, cuando sucede este fenómeno

una de las dos cede y esta se desplaza con dirección al manto; la región de la zona de choque se denomina zona de subducción (Aguiar, 2008)

En América del Sur, se tiene fundamentalmente el enfrentamiento de la Placa de Nazca o Placa Oceánica con la Placa de Sudamérica o Placa Continental, este enfrentamiento produce el fenómeno de subducción, por el cual la placa de Nazca por ser más rígida y fuerte se introduce por debajo de la Placa Sudamericana y continua moviéndose hacia el manto como se ilustra en la figura 2.2

FIGURA 2.2 Deslizamiento entre placas



Fuente: Corona (2009)

De acuerdo con la teoría, conocida como "modelo del rebote elástico", Herraiz (1997) los sismos son el resultado de un proceso de deformación elástica y acumulación de esfuerzos en una zona de la corteza que se mantiene hasta que se supera la resistencia del material, lo que sucede cuando los esfuerzos de cizalla alcanzan valores próximos a 100 KPa. En este momento la falla experimenta una dislocación, los esfuerzos se relajan total o parcialmente de forma súbita y la energía elástica acumulada se libera bruscamente.

Según Herraiz (1997) parte de la energía liberada se disipa en fenómenos no elásticos en la zona de ruptura y parte se propaga en forma de ondas sísmicas que hacen vibrar el terreno. La generación de un sismo consta de dos etapas: una de acumulación lenta de la energía elástica y otra de relajación súbita. Mientras que la

primera puede prolongarse muchos años, la segunda dura únicamente decenas de segundos.

2.2 MECANISMO FOCAL

Los sismos se generan por la ruptura o el desplazamiento de ciertas áreas de contacto entre placas lo que produce una gran cantidad de energía, a este punto se lo conoce como hipocentro o foco, la proyección perpendicular del hipocentro a la superficie terrestre se lo conoce como epicentro, y finalmente tenemos la distancia focal que es la proyección del hipocentro a cualquier punto de referencia. En general los sismos se dividen en tres grupos, los sismos que ocurren a profundidades menores de 70 km se consideran sismos superficiales, los sismos que están comprendidos entre profundidades de 70 km y 300 km se consideran sismos intermedios, y los sismos que ocurren a profundidades mayores de 300 km se consideran sismos profundos. Desde el punto de vista sísmico los sismos entre más superficiales será mayor es la predisposición de causar daños.

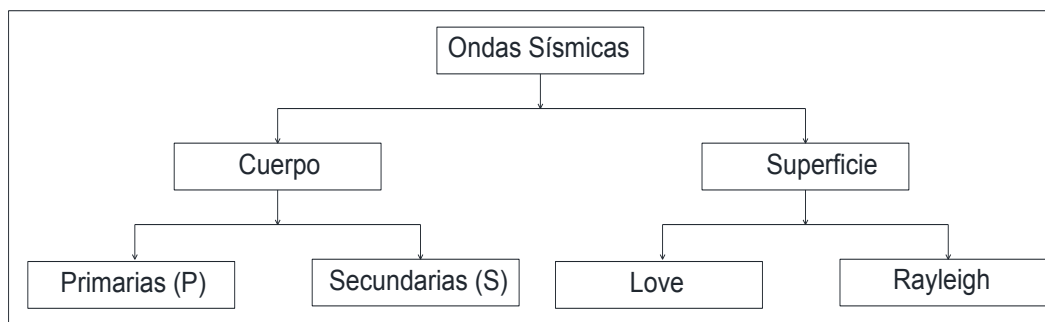
2.3 ONDAS SÍSMICAS

La energía liberada por un sismo se propaga por medio de varios tipos de ondas sísmicas, las cuales se dividen en dos grupos, las ondas de cuerpo y las ondas de superficie. Las ondas de cuerpo se dividen en dos tipos, ondas primarias o también llamadas ondas de dilatación, este tipo de ondas experimentan un movimiento paralelo de las partículas en la dirección de la propagación, las ondas secundarias o también llamadas ondas de cortante manifiestan movimientos de las partículas en la dirección perpendicular a la propagación. Estas ondas viajan grandes distancias y su amplitud se atenúa a medida que se alejan de la zona de ruptura o falla, la velocidad de propagación de las ondas primarias es mayor que de las ondas secundarias, por lo que a medida que se alejan del epicentro crece la diferencia de tiempo de llegada de los dos tipos de ondas.

Cuando las ondas antes mencionadas llegan a la superficie terrestre, se reflejan pero al mismo tiempo inducen ondas de superficies las cuales se dividen en ondas Rayleigh y en ondas Love.

Las ondas de Love producen movimientos horizontales transversales a la dirección de propagación. Las ondas de Rayleigh producen movimientos circulares semejantes al de las olas en el mar. La amplitud de estas ondas decrece marcadamente con la profundidad medida desde la superficie. En la figura 2.3 se puede ver un esquema de los tipos de ondas sísmicas.

FIGURA 2.3 Tipos de ondas sísmicas



Fuente: Catedra Riesgo Sísmico

Elaborado por: Erik Villavicencio

Por otra parte sabemos que un sismo fuerte normalmente viene precedido por una gran cantidad de sismos a los que se denominan premonitores, los mismos que tienen una duración muy variable, y finalmente después de ocurrido el sismo fuerte se producen una serie de sismos de menor magnitud a los que se denominan réplicas, en este tiempo la falla que liberó la energía vuelve paulatinamente a buscar una posición de equilibrio y por lo general en los primeros días las réplicas son numerosas y de gran intensidad y con el pasar del tiempo van disminuyendo.

2.4 ACELEROGRAMAS

Los movimientos fuertes de la corteza de la tierra son medidos por acelerógrafos, que son instrumentos que registran la aceleración como una función de tiempo que se expresa en gales (cm/s^2) o en valores de la aceleración de la gravedad (g).

Los acelerógrafos suelen registrar tres componentes sísmicas, una componente vertical y dos componentes en el sentido horizontal (N-S, E-O). Los registros obtenidos de los acelerógrafos son historias en el tiempo llamados acelerogramas, que son la representación más detallada del movimiento del suelo (Acevedo, 2003). Estos registros contienen una gran cantidad de información sobre las características del sismo tales como, magnitud, aceleración máxima, tiempo de duración, tipo de falla, frecuencia etc.

Hay una variedad de acelerogramas que son utilizados en el diseño sismo-resistente entre estos tenemos; acelerogramas reales, acelerogramas sintéticos y acelerogramas artificiales, todos estos tipos de acelerogramas deben ser compatibles con el nivel de amenaza sísmica definida y deben reflejar la naturaleza del movimiento sísmico esperado en el sitio (Acevedo, 2003).

2.4.1 ACELEROGRAMAS REALES

Acevedo (2003) define que los acelerogramas reales, son registros auténticos de la vibración del suelo producido por la liberación de energía, por lo tanto, tienen todas las características de movimiento sísmico (amplitud, frecuencia y contenido de energía, duración y características de fase), y reflejan todos los factores que influyen en los acelerogramas (características de la fuente, el camino y el lugar).

2.4.2 ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES

Los acelerogramas artificiales se generan para que coincida con un espectro de respuesta de un sitio dado, entre los métodos disponibles está el de Gasparini y Vanmarcke (1976), citado por Acevedo (2003). El uso de estos métodos tiende a

generar registros artificiales que no tienen la apariencia de acelerogramas de un sismo real. Esto es debido al hecho de que el espectro de los códigos es una envolvente de los espectros de sismos ocurridos en diferentes fuentes sísmicas, además a fin de obtener otras características para que el registro sea compatible con el espectro del código, como por ejemplo la duración, es necesario obtener información adicional sobre el movimiento sísmico esperado aparte del espectro de respuesta.

2.4.3 ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

El uso de registros sintéticos es necesario con el fin de superar la falta de registros reales, incluso hoy en día con el gran número de acelerogramas registrados durante las tres últimas décadas todavía puede ser difícil encontrar acelerogramas que cumplan los requisitos de magnitud y distancia, especialmente para las grandes magnitudes y distancias cortas (Acevedo, 2003).

La generación de acelerogramas sintéticos se hace principalmente por métodos deterministas o estocásticos, para Acevedo (2003) los movimientos de período largo se comportan fundamentalmente de manera determinista, mientras que los movimientos de período corto se comportan estocásticamente. Estos métodos son capaces de aproximarse a los efectos de los procesos físicos en los movimientos de tierra observados (procesos fuente del terremoto, de propagación de ondas y de respuesta del suelo superficial).

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACELEROGRAMAS

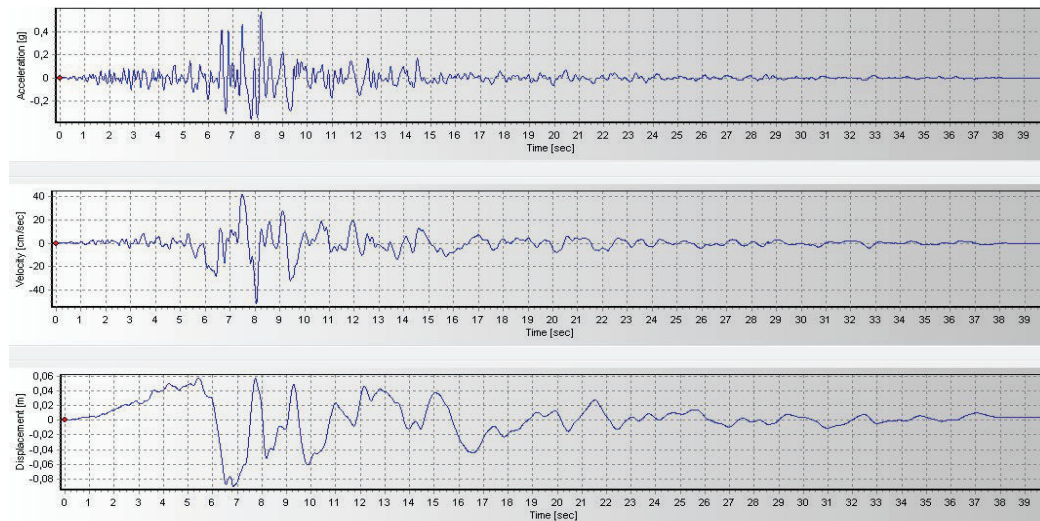
2.5.1 VALORES PICO

Uno de los parámetros más ampliamente asociados con la gravedad es el movimiento del suelo, y es la aceleración máxima del suelo PGA (Peak Ground Acceleration); que es el valor máximo absoluto de la aceleración en una historia de tiempo. Es muy fácil de medir y es el más utilizado entre los valores pico para la práctica ingenieril, porque está relacionado con la fuerza resistida por edificios con

periodos muy cortos. Otro parámetro que se puede obtener directamente de la integración del acelerograma de los datos registrados, es la velocidad máxima del suelo PGV (Peak Ground Velocity), este está relacionado con los daños en tuberías y estructuras subterráneas. Y por último integrando los valores de la velocidad encontramos el desplazamiento máximo del suelo PGD (Peak Ground Displacement), es un buen identificador de daños en las edificaciones, es muy utilizado en el Diseño Basado en Desplazamientos (DBD).

Los valores reportados de velocidad y desplazamientos deben interpretarse siempre con cierta cautela, sobre todo este último. Como podemos observar en la figura 2.4 se observan claramente los valores picos de la aceleración, velocidad y desplazamientos del sismo de Northridge de 1994.

FIGURA 2.4 Aceleración, velocidad y desplazamiento del sismo de Northridge 1994



Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por: Erik Villavicencio

2.5.2 VELOCIDAD MÁXIMA ACUMULADA (CAV)

Es simplemente el área bajo el acelerograma, Benjamín y asociados (1988), demostraron que esta medida está bien correlacionada con el potencial daño

estructural. Por ejemplo, un CAV de 0.30 g.s corresponde a una intensidad 6 en la escala MM, y está definida por la siguiente ecuación:

$$CAV = \int_0^{T_d} |a(t)| dt \quad (2.1)$$

Dónde:

$a(t)$ = tiempo – historia del acelerograma.

T_d = duración del registro.

2.5.3 ACELERACIÓN CUADRÁTICA MEDIA

Acevedo (2003) define la aceleración cuadrática media, como un parámetro que sirve para medir la capacidad de entrada de energía del movimiento del suelo, esta medida es dependiente de la duración del registro y muy útil en la evaluación de la respuesta de sistemas de pocos grados de libertad, también se la puede comparar con el valor del PGA, y está definida por la siguiente ecuación:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt} \quad (2.2)$$

Dónde:

$a(t)$ = tiempo – historia del acelerograma.

T_d = duración del registro.

2.5.4 INTENSIDAD DE AREAS (I_A)

También se la conoce como *Intensidad Sísmica Instrumental*, fue propuesta por el ingeniero chileno Arturo Arias en (1970), esta medida tiene unidades de velocidad y representa la sumatoria de energías totales por unidad de masa, almacenada por

un sistema lineal no amortiguado, con la intensidad de áreas se puede determinar el potencial de daños de las estructuras y está definida por la siguiente ecuación:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^t a^2(t) dt \quad (2.3)$$

Dónde:

$a(t)$ = tiempo – historia del acelerograma.

T_d = duración del registro.

g = valor de la gravedad.

2.5.5 INTENSIDAD ESPECTRAL (SI)

En los apuntes de Sismología e Ingeniería Sísmica (2011), define la intensidad espectral como el área bajo el gráfico del espectro de pseudo-velocidades entre los periodos 0.10s y 2.5s, para un amortiguamiento dado, del gráfico del espectro de pseudo-velocidades entre los periodos de 0,10 y 2,5s. Tiene dimensiones de longitud y por utilizar pseudo-velocidades es directamente proporcional a los esfuerzos producidos en una estructura.

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} SV(T, \xi) dT \quad (2.4)$$

Dónde:

SV = la curva del espectro de velocidad.

T_d = duración del registro.

ξ = factor de amortiguación.

2.6 ESPECTROS DE RESPUESTA

Se define el espectro de respuesta como la respuesta máxima de un conjunto de osciladores de 1GDL que tienen el mismo amortiguamiento, sometidas a una historia de aceleraciones dadas.

Los espectros pueden expresarse en términos de aceleración, velocidad, desplazamiento, o cualquier otro parámetro de interés, por lo regular se representa en abscisas el periodo de la estructura y en las ordenadas la repuesta máxima calculada para varios factores de amortiguamiento, por lo tanto se han desarrollado varios tipos de espectros, los cuales presentan características diferentes y se utilizan con distintos objetivos, entre los más importantes podemos mencionar los espectros de respuesta elástica, los espectro de respuesta inelásticas y los espectros de diseño.

2.6.1 ESPECTROS DE RESPUESTA ELASTICAS

Estos espectros representan parámetros de respuesta máxima para un sismo determinado y por lo general incluyen varias curvas con diferentes factores de amortiguamiento. Son utilizados para estudiar las características del sismo y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto. (Crisafulli & Villafañe, 2002)

2.6.2 ESPECTROS DE RESPUESTA INELÁSTICOS

Para Crisafulli & Villafañe (2002), estos espectros son parecidos a los espectros elásticos pero con la única diferencia que el oscilador de un grado de libertad tiene un comportamiento no-lineal, es decir que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico por acción del sismo. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sismorresistente, dado que por razones prácticas y económicas la mayoría de las construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionarán en campo inelástico.

2.6.3 ESPECTROS DE DISEÑO

El espectro de diseño debe satisfacer ciertos requisitos, ya que está pensado para diseñar nuevas estructuras o para evaluar la seguridad sísmica de las estructuras existentes, a fin de que puedan resistir a sismos futuros. Para el espectro de diseño se debe considerar una familia de curvas suavizadas que consideran el efecto de varios sismos, en otras palabras el espectro de diseño considera una envolvente de espectros de respuesta de los sismos típicos de una zona para un determinado coeficiente de amortiguamiento.

2.7 MAGNITUD

Se define como magnitud a la cantidad de energía liberada por un evento sísmico, esta medida fue introducida por el sismólogo Charles Francis Richter en 1935, esta escala se llamó *magnitud local* (M_L), se determina a partir de las amplitudes de los sismogramas obtenidos de un sismógrafo Wood-Anderson en una escala logarítmica.

Otro tipo de escala es la *magnitud de ondas superficiales* (M_S), mide la amplitud de la mayor onda de superficie con un período cercano a los 20 segundos, es muy útil para sismos superficiales y no funciona para eventos telúricos profundos.

La *magnitud de ondas de cuerpo* (M_b), mide el arribo de las primeras ondas P y sirve para medir los sismos con grandes profundidades focales y los situados a gran distancia de la estación de control.

Sin embargo, a pesar de su utilidad y variedad las escalas de magnitudes antes mencionadas no sirven para describir sismos muy fuertes por que sufren un fenómeno llamado saturación, a partir de 1977 Kanamori desarrollo una escala de magnitudes estándar completamente independiente del tipo de instrumento y se la conoce como *magnitud de momento* (M_W) y se considera la sucesora de la escala de Richter, se calcula a partir del momento sísmico que está dado por la siguiente ecuación:

$$M_o = \mu Ad \quad (2.5)$$

Dónde:

M_o = momento sísmico

μ = rigidez a corte

A = área de la ruptura

d = desplazamiento promedio en el plano de falla

Nuevamente en 1979 Hanks y Kanamori proponen la siguiente ecuación para convertir el momento sísmico en magnitud.

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_o - 6.03 \quad (2.6)$$

2.8 INTENSIDAD

La intensidad es un índice que refleja la fuerza del movimiento del suelo, representada por emociones humanas y daños en las edificaciones en una posición particular durante un sismo. (Singaucho, 2013).

Por razones históricas las escalas de intensidad son medidas en números romanos y existen una variedad de estas que se usan en diferentes regiones, como por ejemplo la *Escala de Mercalli Modificada (MM)*, fue elaborada en 1902 y desde entonces se utiliza en toda América, esta escala consta de 12 grados la cual tiene una correspondencia entre los efectos sobre las personas, edificaciones y naturaleza.

También existe la *Escala Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK)*, que fue propuesta en 1964 y está basada en los datos de la MM y también consta de 12 grados y fue muy utilizada en Europa hasta la década de los años noventa que se comenzó a desarrollar la *Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)*, en esta escala se amplía el tipo de edificación, se hace una reclasificación por el tipo de estructura, se define

mejor los grados de daños sobre las edificaciones y se sustenta estadísticamente, esta escala ha tomado como estándar para medir la intensidad de los eventos sísmicos en toda Europa.

En los países como Taiwán y Japón se utiliza la escala sísmica *llamada Agencia Meteorológica de Japón (JMA)*, su unidad de medida es el Shido y consta de 7 grados, a diferencia de las otras escalas que miden el tamaño del sismo con un número único, esta mide el grado de agitación de la superficie terrestre en un punto.

CAPÍTULO 3

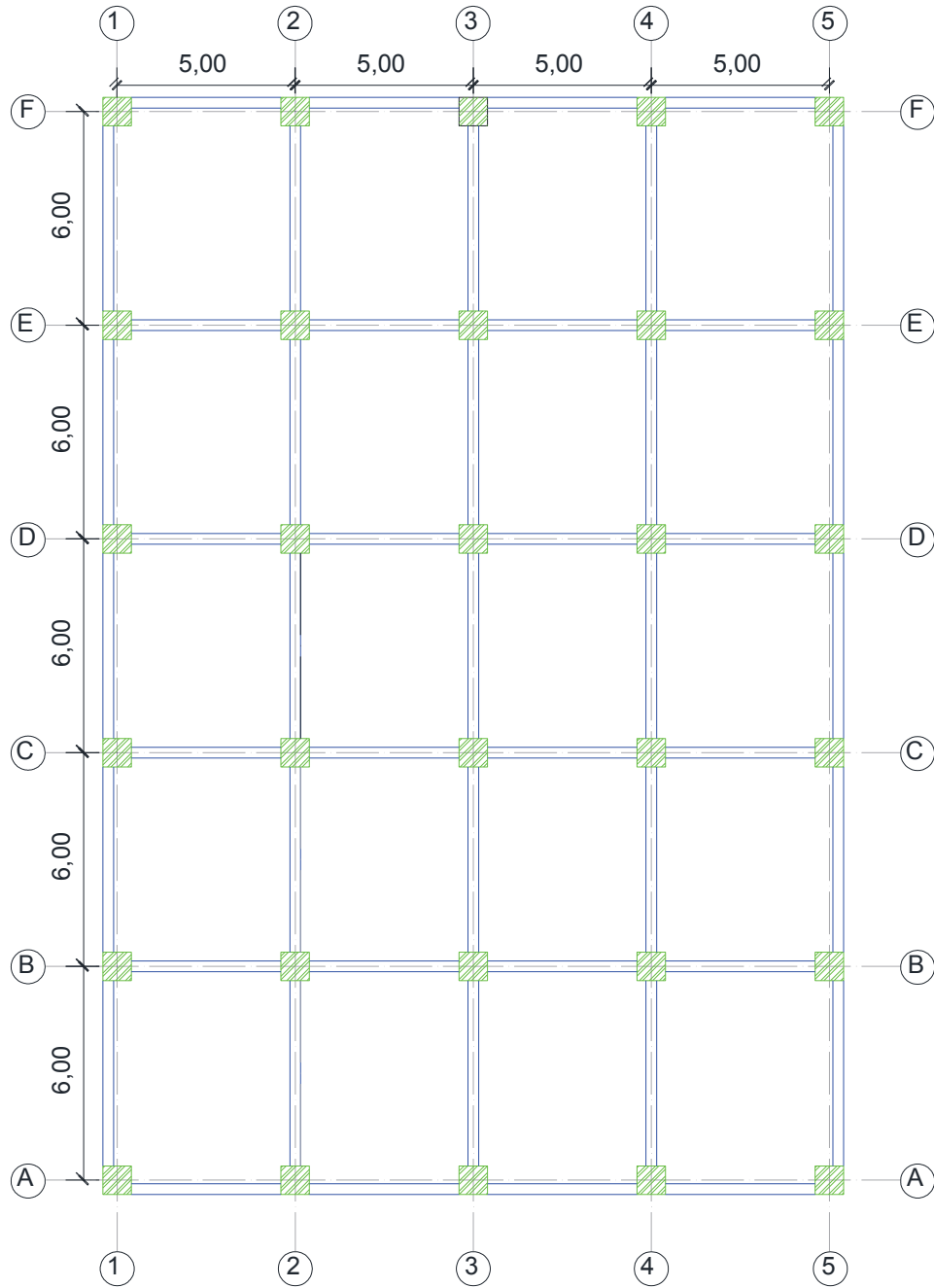
ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS CONVENCIONALES UTILIZANDO LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-2015

3.1 PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO.

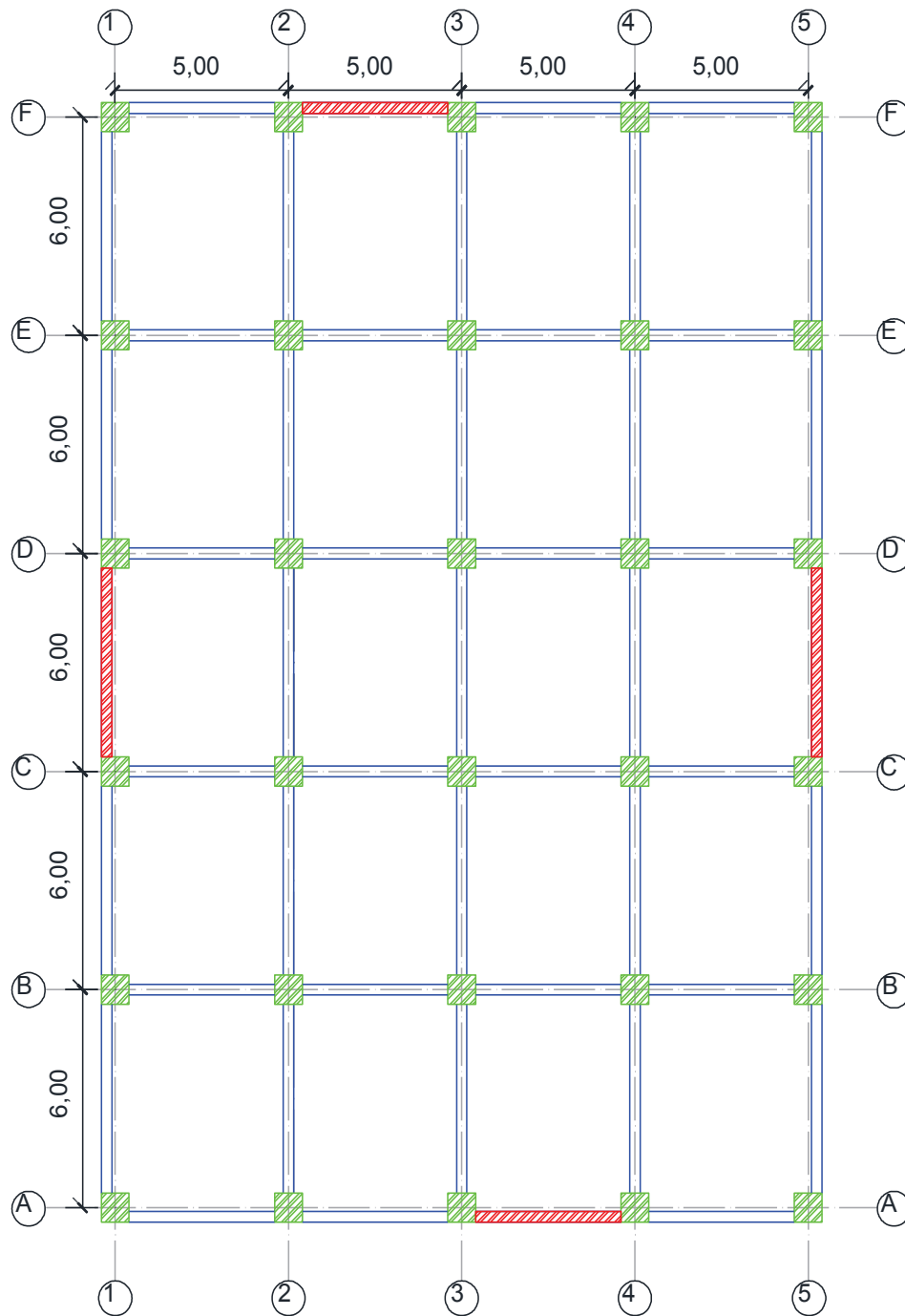
Para el estudio de esta tesis se eligieron dos tipos de edificios cada uno de diez pisos, el primero resistente a carga lateral basado en pórticos y el segundo edificio con muros de corte en ambos sentidos, las edificaciones antes mencionadas son simétricas en planta y regulares en elevación, no se toma en cuenta los posibles efectos de la cimentación ya que el objetivo de este trabajo es comparar el comportamiento sísmico de las estructuras convencionales (empotradas) con respecto a las diseñadas con los sistemas de aislación basal.

Se realiza un análisis estático basado en fuerzas como modo de prediseño, un análisis dinámico de respuesta espectral para tener una idea de las características dinámicas de los edificios con su base empotrada. Los modelos de los edificios son en 3D usando el software Etabs versión 2013, los parámetros, demandas y combinaciones se utilizarán los propuestos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.

La geometría en planta del edificio aporricado en el sentido X consta seis pórticos resistentes a momentos con luces entre ejes de 5.00m, en el sentido Y consta de pórticos resistentes a momento con luces entre ejes de 6.00m, con una altura entre piso de 3.20m, para mejor claridad de las medidas se presenta un modelo típico en planta en la Figura 3.1, para el caso del edificio con muros de corte su geometría es igual al edificio aporricado con la única diferencia que lleva muros de corte en los cuatro ejes perimetrales como se puede observar en la figura 3.2.

FIGURA 3.1 Vista en planta de edificios aporticado

Elaborado por: Erik Villavicencio

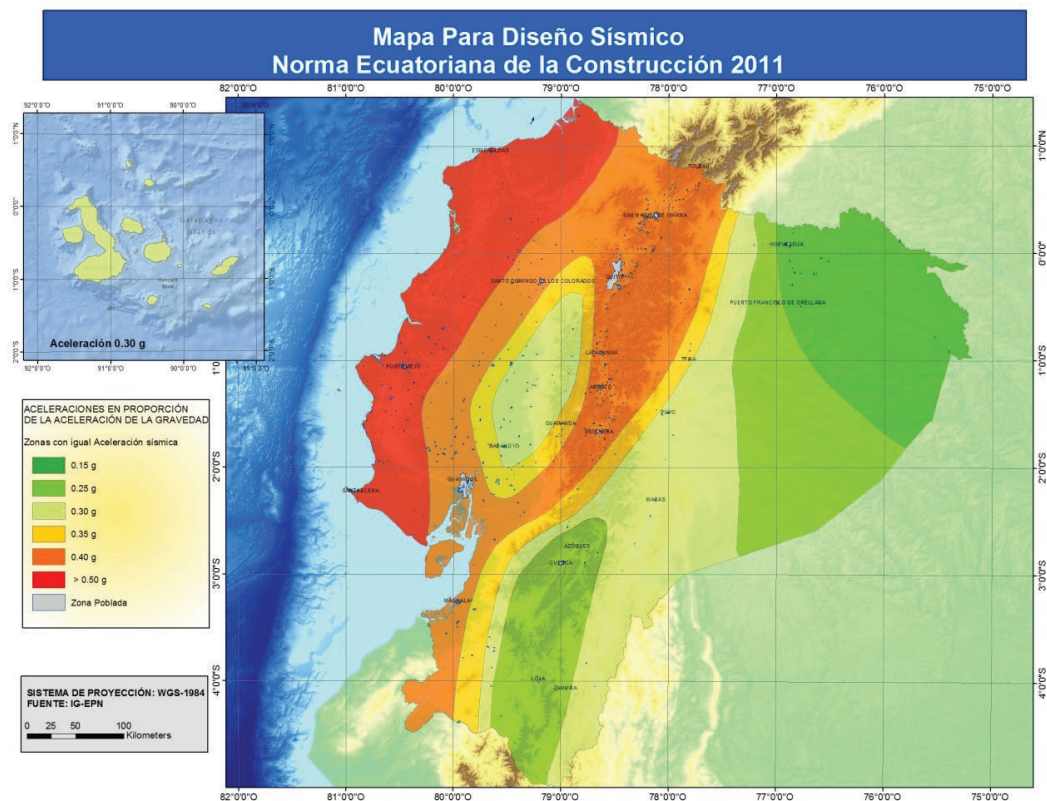
FIGURA 3.2 Vista en planta del edificio aporricado

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.1.1 ZONAS SÍSMICAS Y FACTOR DE ZONA Z.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 está determinada por seis zonas sísmicas y estas están caracterizadas por un **factor de zona Z**, la cual representa la aceleración máxima en roca expresada como fracción de la gravedad esperada para el sismo de diseño, en nuestra memoria se utilizara la zona de mayor demanda sísmica que vendría a ser la **zona VI**, en la figura 3.3, se observa el mapa de zonificación sísmica del Ecuador.

FIGURA 3.3 Mapa de las zonas sísmicas en el Ecuador



Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

A continuación se presenta para una mejor comprensión la tabla 3.1, que representa el factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

TABLA 3.1 Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la Amenaza Sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

3.1.2 TIPOS DE PERFILES DE SUELOS.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 define seis tipos de suelos, que se caracterizan por ser totalmente rocosos hasta totalmente pantanosos (suelo licuables), y se los clasifica en tipo A, B, C, D, E, F.

En nuestro estudio se utilizarán todos los tipos de suelos, excepto el tipo F ya que no están definidos sus respectivos coeficientes de amplificación (F_a , F_d , F_s) y para esto se deben realizar investigaciones geotécnicas específicas del suelo, que permitirán conocer y modelar su comportamiento dinámico, y este no es el objetivo de nuestra investigación.

Como se mencionó en el párrafo anterior se utilizarán los suelos A, B, C, D, E ya que cada uno representa características como, resistencias, densidades y plasticidad diferentes en la tabla 3.2, se puede apreciar las características de los suelos propuestos por la NEC 2015.

TABLA 3.2 Clasificación de los tipos de suelos según la NEC-2015

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	<p>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:</p> <p>F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)</p> <p>F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)</p> <p>F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.</p> <p>F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.</p>	

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

3.1.3 COEFICIENTES DE AMPLIFICACIÓN Y DEAMPLIFICACIÓN DINÁMICA DE PERFILES DE SUELO F_a , F_d y F_s .

En la tabla 3.3 se presentan los valores de los coeficientes F_a , F_d , que corresponden a la amplificación de la aceleración y el desplazamiento de las ordenadas del espectro de respuesta elástico de diseño en roca, y el coeficiente F_s que corresponde a la no linealidad de los suelos.

TABLA 3.3 Tipo de suelo y factores de sitio F_a

Coeficientes F_a , F_d , F_s			
Factor de zona $Z = 0.50$			
Tipos de suelos	F_a	F_d	F_s
A	0.90	0.90	0.75
B	1.00	1.00	0.75
C	1.18	1.06	1.23
D	1.12	1.11	1.40
E	0.85	1.50	2.00

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

3.1.4 COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAN EN PLANTA Φ_P Y COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN Φ_E

Como se expresó anteriormente nuestras edificaciones son simétricas tanto en planta y regulares en elevación, aplicando los criterios de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 nuestros edificios tienen el coeficiente de configuración en planta $\Phi_P = 1$, y configuración en elevación $\Phi_E = 1$.

3.1.5 FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA SÍSMICA R

Para el edificio que está conformado por pórticos especiales resistentes a momentos con vigas peraltadas nuestro factor de resistencia sísmica es $R = 8$.

Para el edificio formado por pórticos especiales sismo resistente conformado con vigas peraltadas y muros de corte nuestro factor de resistencia sísmica es $R = 8$.

3.1.6 COEFICIENTE DE IMPORTANCIA I

Los dos edificios mencionados anteriormente son de uso habitacional y de acuerdo a lo que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 su coeficiente de importancia es **I = 1**.

3.1.7 ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO

El espectro de aceleraciones S_a , para el sismo de diseño obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 0.05, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 intervalos:

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c \quad (3.1)$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \text{ para } T > T_c \quad (3.2)$$

Donde:

T = Periodo fundamental de la estructura.

Z = Aceleración máxima del suelo expresada en función de la gravedad.

Fa = Coeficiente de amplificación de aceleraciones del suelo

r = Coeficiente que depende del tipo del suelo.

Para suelos tipos A, B, C, D **r = 1.00**

Para suelos tipos E **r = 1.50**

η = Relación entre la aceleración espectral y la aceleración máxima del terreno, para las provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos, **$\eta = 2.48$**

Los límites de los periodos para el espectro de diseño T_c y T_o están definidos por las siguientes ecuaciones.

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (3.3)$$

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (3.4)$$

Donde:

F_d = Coeficiente de amplificación de desplazamiento del suelo.

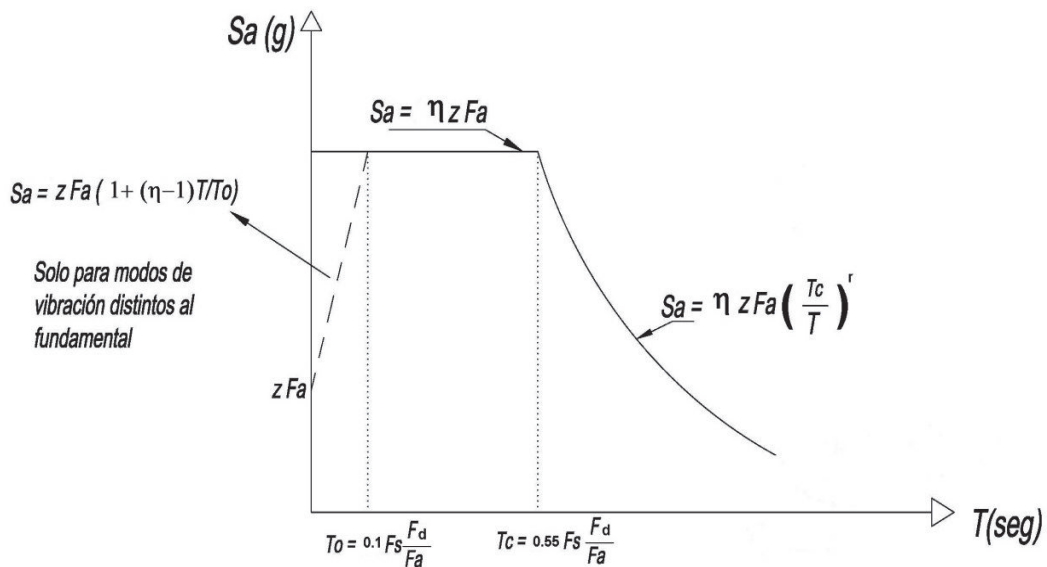
F_s = Coeficiente de no linealidad de los suelos.

Para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de **Sa** debe evaluarse mediante la siguiente expresión.

$$S_a = Z F_a \left[1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right] \text{ para } T \leq T_0 \quad (3.5)$$

Para una mejor comprensión de las ecuaciones descritas anteriormente en la figura 3.4, se presenta el espectro elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño expresado en función de la gravedad.

FIGURA 3.4 Espectro elástico de aceleraciones



Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

3.1.8 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC

Las combinaciones de carga que se van a utilizar en este capítulo para el análisis y diseño de nuestros edificios son las que recomienda la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, y son cargas ultimas de diseño.

$$U1 = 1.4D \quad (3.6)$$

$$U2 = 1.2D + 1.6L \quad (3.7)$$

$$U3 = 1.2D + L + E \quad (3.8)$$

$$U4 = 1.2D + L - E \quad (3.9)$$

$$U5 = 0.9D + E \quad (3.10)$$

$$U6 = 0.9D - E \quad (3.11)$$

Donde:

D = Carga permanente.

L = Carga viva.

E = Carga de sismo.

3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS Y REQUISITOS GENERALES PARA LA MODELACIÓN ESTRUCTURAL

Una estructura puede ser calculada por varios métodos de fuerzas laterales ya sean estáticos o dinámicos, el método escogido dependerá mucho de la configuración estructural en planta como en elevación. Para el análisis de estructuras regulares en planta y en elevación, es suficiente la aplicación de procedimientos estáticos para determinar de fuerzas laterales, para el caso de estructuras irregulares en planta como en elevación se requiere un análisis dinámico. Independiente de la configuración estructural de las edificaciones el requisito mínimo es el método estático basado en fuerzas.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 establece para calcular la carga sísmica reactiva W por sismo, debe ser igual al 100% de la carga muerta total (peso propio y sobre cargas).

En el caso de los elementos de hormigón armado, el cálculo de las rigideces y los valores de las derivas máximas deben estar afectada por las inercias agrietadas, tanto en los métodos estáticos como en los dinámicos como son:

Vigas 0.50I_g

Columns 0.80I_g

Muros estructurales 0.60I_g

Dónde:

I_g es la inercia de la sección geométrica transversal del elemento no agrietado, para los muros estructurales solo se considera la inercia agrietada a los dos primeros pisos de la edificación para estructuras sin subsuelo y para estructuras con subsuelos solo en el primer subsuelo.

3.2.1 MÉTODO DE ESTÁTICO DE FUERZAS LATERALES

3.2.1.1 Cortante Basal de Diseño

El cortante basal de diseño será aplicado en una dirección específica bajo cargas últimas y está definido por la siguiente expresión:

$$V = \frac{I S_a}{R \phi_P \phi_E} W \quad (3.12)$$

Donde:

I = Factor de importancia.

W = Carga sísmica reactiva.

S_a = Aceleración espectral.

R = Factor de reducción de respuesta estructural.

Φ_P = Factor de configuración estructural en planta.

Φ_E = Factor de configuración estructural en elevación.

3.2.1.2 Distribución Vertical de Fuerzas Laterales

El cortante basal debe ser distribuido en todo el edificio mediante fuerzas laterales que son aplicadas al centro de masa la cual debe tener una excentricidad accidental del 5% perpendicular a la dirección de la fuerza en ambos sentidos , y esta distribución puede ser calculado por la siguiente expresión:

$$F_X = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad (3.13)$$

Donde:

V = Cortante basal.

n = Número de pisos de la estructura.

W_x = Peso aginado al piso x siendo una fracción de W

w_i = Peso aginado al piso o nivel i , siendo una fracción de W

h_x = altura del piso x de la estructura

h_i = altura del piso i de la estructura

k = coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T , se evalúa de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ll} \text{Para} & T \leq 0.5s, & k = 1.00 \\ \text{Para} & 0.5s < T \leq 2.5s, & k = 0.75 + 0.50 T \\ \text{Para} & T > 2.5, & k = 2.00 \end{array} \quad (3.14)$$

3.2.1.3 Periodo de Vibración

El periodo de vibración de la estructura para cada dirección principal, puede ser estimado por varios métodos, se describirá brevemente el primer método propuesto

por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 el cual se calcula de forma aproximada con la siguiente ecuación.

$$T = C_t h_n^\alpha \quad (3.15)$$

Donde:

h_n = Altura máxima del edificio de n pisos medido desde la base.

$C_t = 0.055$ y $\alpha = 0.90$ Para estructuras porticadas de hormigón armado.

$C_t = 0.055$ y $\alpha = 0.75$ Para estructuras duales o con diagonales rigidizadoras

3.2.2 ANÁLISIS DE RESPUESTA ESPECTRAL

Para un análisis de respuesta espectral se utiliza un espectro elástico de aceleraciones como el que se presenta en la figura 3.4 antes mencionada. Este espectro debe desarrollarse para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico del 5% y debe ser obtenido para un sitio específico, basado en la geología, tectónica, sismología y características del suelo local.

Este análisis se puede aplicar a cualquier tipo de estructura independientemente de su configuración estructura y se utilizará en un modelo matemático tridimensional preferiblemente. Se deben considerar todos los modos de vibración que contribuyan a la respuesta de la estructura, un requisito indispensable que todos los modos involucren al menos el 90% de la masa total en las direcciones horizontales principales.

El valor del cortante dinámico total en la base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no puede ser menor que el 80% del cortante basal obtenido por el método estático, en el caso de estructuras regulares, ni menor que el 85% para el caso de estructuras irregulares.

El valor de la deriva máxima inelástica Δ_M utilizando cualquier método de análisis se puede calcular con la siguiente expresión.

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E \quad (3.16)$$

Donde:

R = Factor de reducción de resistencia.

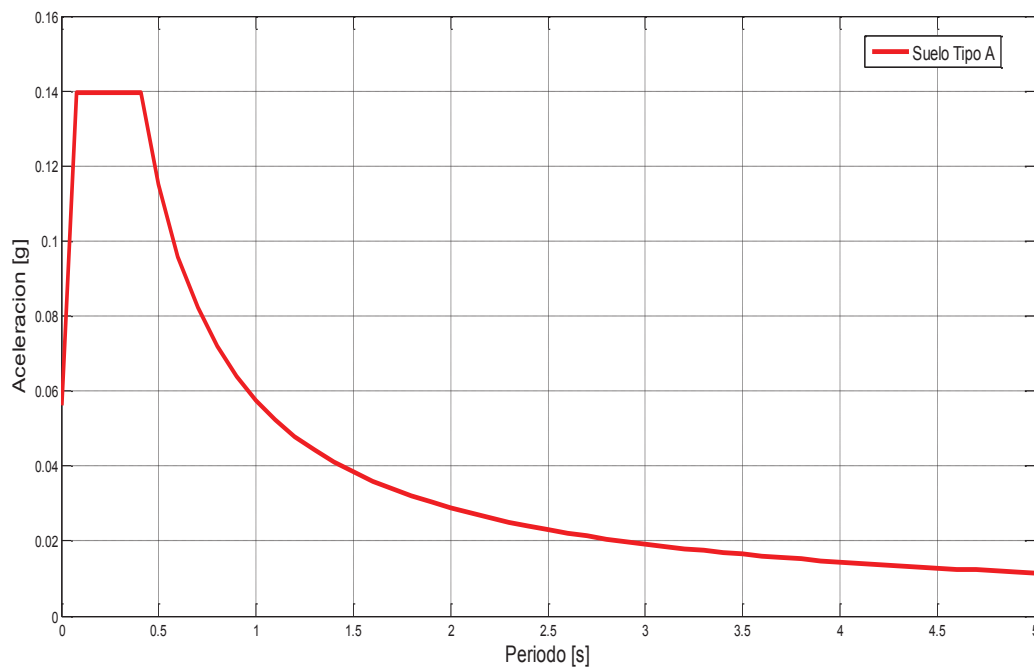
Δ_E = Deriva elástica.

Para estructuras de hormigón armado, metálicas y de madera la deriva máxima inelástica debe ser menor a **0.020** y para estructura conformada por mampostería la deriva máxima inelástica debe ser menos a **0.010**.

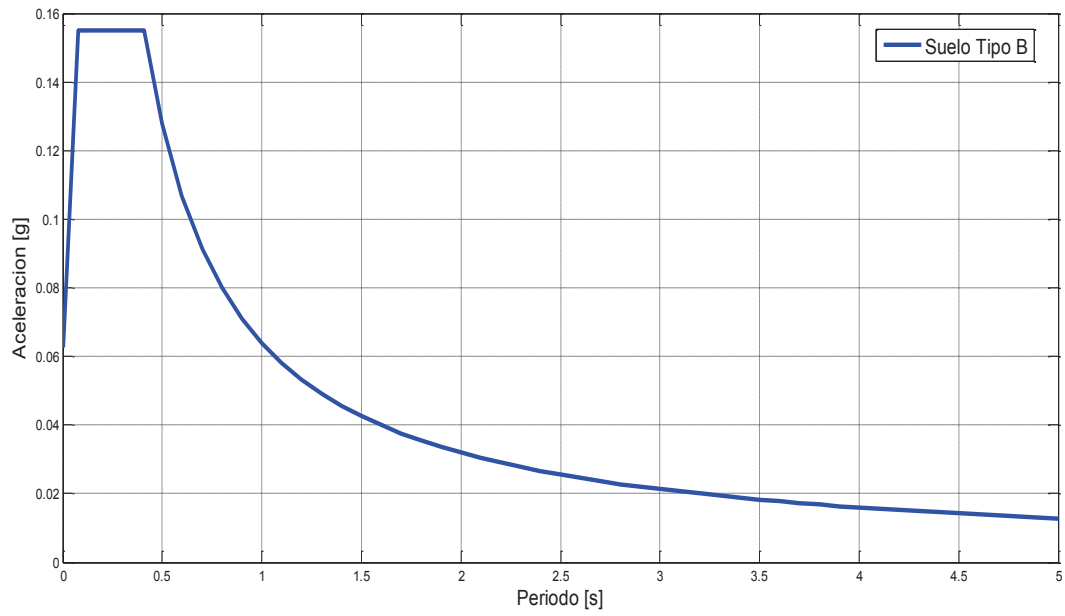
3.3 ESPECTROS INELÁSTICOS NEC-2015

A continuación se presentan los espectros inelásticos de los suelos A, B, C, D, E con los cuales se va a realizar el análisis modal espectral para los edificios aporticados y con muros de corte.

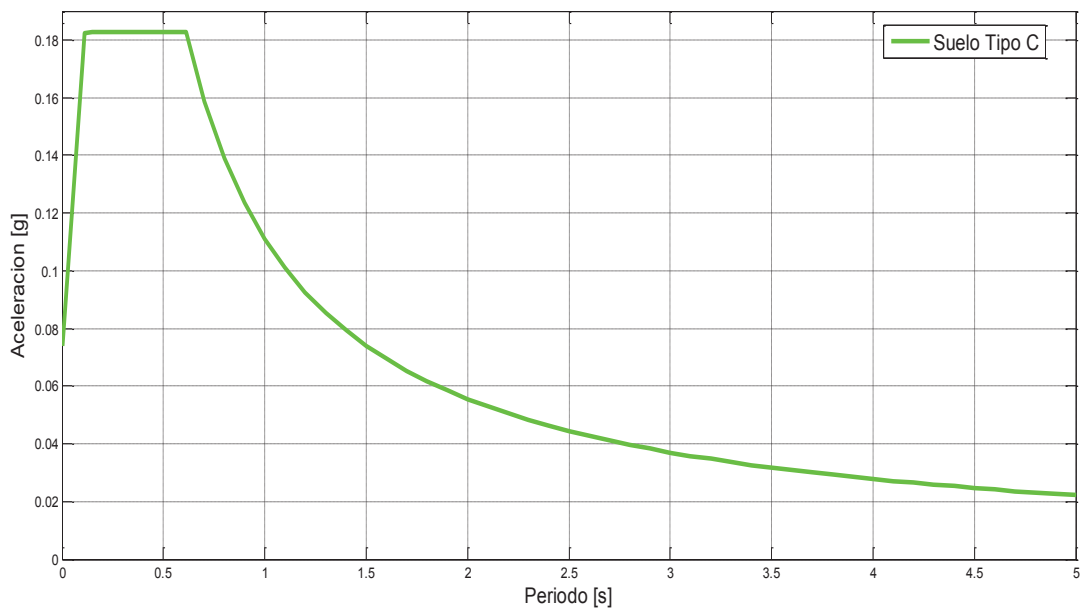
FIGURA 3.5 Espectro inelástico suelo tipo A



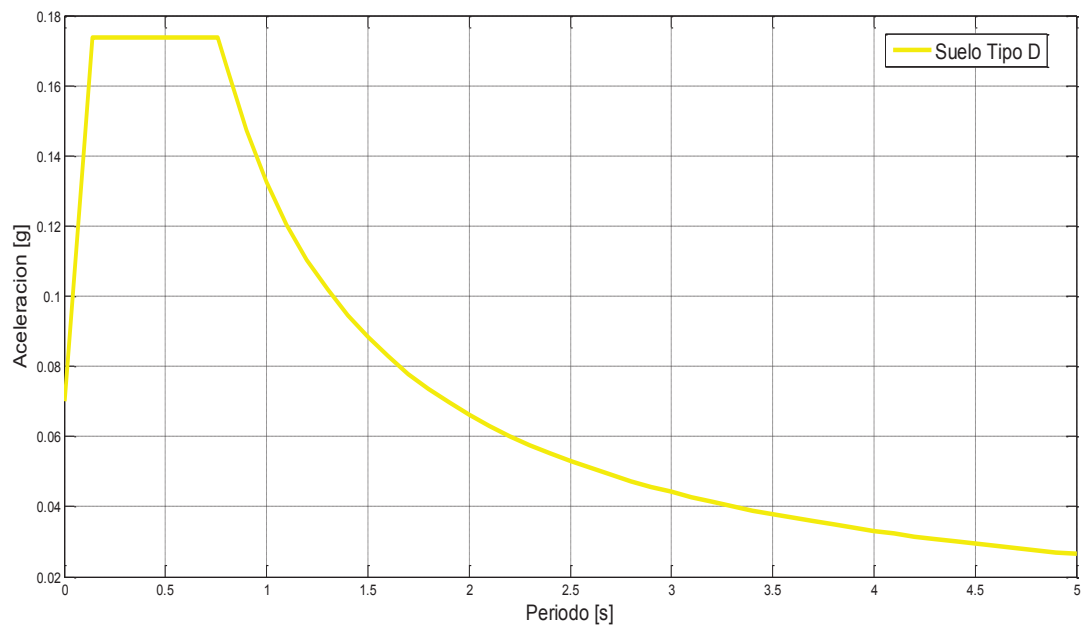
Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 3.6 Espectro inelástico suelo B

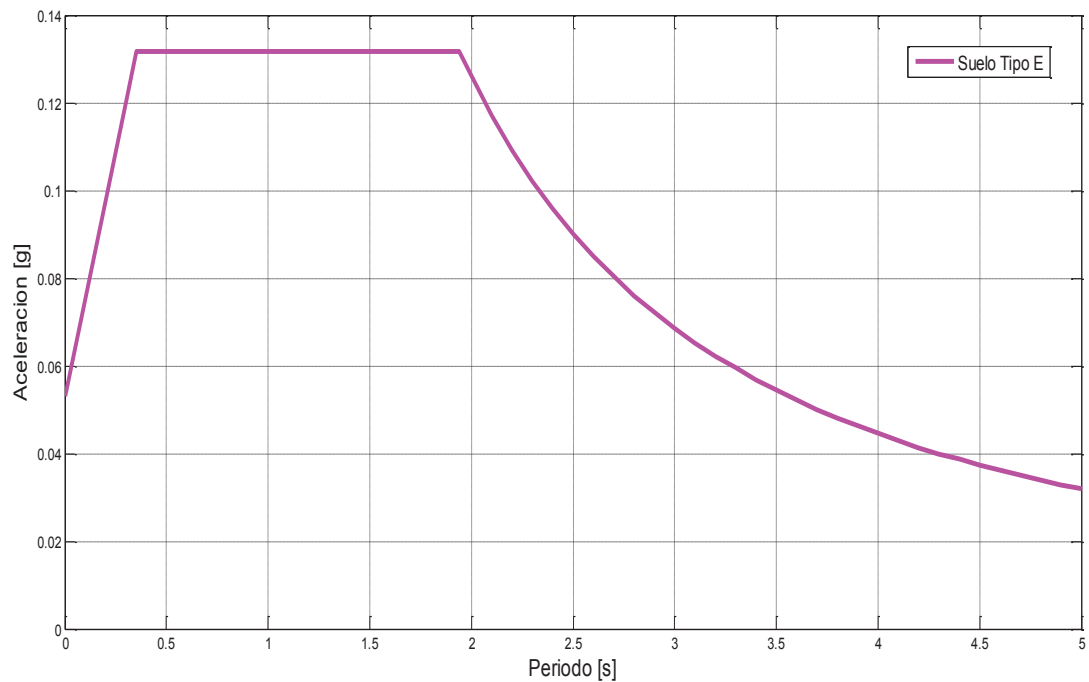
Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 3.7 Espectro inelástico suelo C

Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 3.8 Espectro inelástico suelo D

Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 3.9 Espectro inelástico suelo E

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.4 ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS APORTICADOS

Se realizará el análisis de los edificios aporticados con base empotrada en todos los suelos que presenta la norma ecuatoriana de la construcción NEC-2015, no se toma en cuenta los efectos de la cimentación ya que no es el objetivo de esta investigación. Para el análisis se utilizará el mismo modelo de la figura 3.1, tomando en cuenta todas sus características, materiales, resistencias y secciones de elementos como, vigas, columnas y losa.

Cabe mencionar que para el cálculo del peso sísmico se utilizará el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva, propuesto por el FEMA-450, debemos aclarar que se utiliza esta ecuación para tener el mismo peso sísmico de los edificios aislados y por ende las mismas masas, a continuación se presentan los datos generales, sobre cargas de terminados, carga viva, peso sísmico, coeficientes estructurales, periodos de vibración y masas participativas.

Datos generales

Resistencia del hormigón: $f'c = 280\text{kg/cm}^2$.

Fluencia del acero de refuerzo: $Fy = 4200\text{kg/cm}^2$.

Módulo de elasticidad del hormigón: $Ec = 14000\sqrt{f'c} = 234264.807\text{kg/cm}^2$.

Módulo de elasticidad del acero de refuerzo: $Es = 2'038000\text{kg/cm}^2$.

Vigas = $0.30\text{m} \times 0.60\text{m}$

Columnas = $0.80\text{m} \times 0.80\text{m}$

Losa bidireccional aligerada $e = 0.25\text{m}$

Altura entre piso $h = 3.20\text{m}$

TABLA 3.4 Sobre carga de terminados y carga viva

Bloques/m ²	0.096	Ton/m ²
Enlucido/m ²	0.088	Ton/m ²
Recubrimiento/m ²	0.044	Ton/m ²
Pared/m ²	0.250	Ton/m ²
Total sobre carga	0.478	Ton/m²
Carga viva	0.250	Ton/m²

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.5 Peso sísmico del edificio aporticado

Nivel	Sobre Carga ton/m ²	Carga Viva ton/m ²	Área Losa m ²	Peso Losa ton	Peso Columnas ton	Peso de Vigas ton	Wi Sísmico ton
10	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	673.42
9	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
8	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
7	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
6	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
5	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
4	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
3	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
2	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
1	0.478	0.250	600	175.68	147.46	99.71	747.15
Peso sísmico del edificio							7397.77

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.6 Coeficientes estructurales para el análisis estático y dinámico de los edificios aporticados

Tipo de suelo		A	B	C	D	E
Factor de zona	Z	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Factor de sitio	Fa	0.90	1.00	1.18	1.12	0.85
Factor de sitio	Fd	0.90	1.00	1.06	1.11	1.50
Factor de sitio	Fs	0.75	0.75	1.23	1.40	2.00
Factor de importancia	I	1	1	1	1	1
Coef. de resistencia	R	8	8	8	8	8
Irreg en elevación	ΦE	1	1	1	1	1
Irreg en planta	ΦP	1	1	1	1	1
Altura edificio	h	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Pórticos hormigón	Ct	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
	α	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Coef de suelo	r	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50
Ampf espectral	n	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
Periodo límite inferior	To	0.075	0.075	0.110	0.139	0.353
Periodo estructura	T	1.245	1.245	1.245	1.245	1.245
Periodo límite superior	Tc	0.413	0.413	0.608	0.763	1.941
Acel espectral	Sa	0.370	0.411	0.714	0.852	1.054
Coef sísmico	C	0.046	0.051	0.089	0.106	0.132

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.7 Periodos de vibración y masas participativas

Modo	Periodo seg	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	1.314	0.000	0.784	0.000	0.000	0.784	0.000
2	1.262	0.785	0.000	0.000	0.785	0.784	0.000
3	1.115	0.000	0.000	0.787	0.785	0.784	0.787
4	0.409	0.000	0.103	0.000	0.785	0.887	0.787
5	0.394	0.104	0.000	0.000	0.889	0.887	0.787
6	0.349	0.000	0.000	0.102	0.889	0.887	0.889
7	0.219	0.000	0.043	0.000	0.889	0.931	0.889
8	0.212	0.043	0.000	0.000	0.932	0.931	0.889
9	0.188	0.000	0.000	0.043	0.932	0.931	0.932
10	0.138	0.000	0.025	0.000	0.932	0.956	0.932
11	0.134	0.025	0.000	0.000	0.957	0.956	0.932
12	0.119	0.000	0.000	0.025	0.957	0.956	0.956
13	0.094	0.000	0.017	0.000	0.957	0.972	0.956
14	0.093	0.016	0.000	0.000	0.973	0.972	0.956
15	0.082	0.000	0.000	0.016	0.973	0.972	0.973
16	0.069	0.000	0.011	0.000	0.973	0.984	0.973
17	0.068	0.011	0.000	0.000	0.984	0.984	0.973
18	0.060	0.000	0.000	0.011	0.984	0.984	0.984
19	0.053	0.000	0.008	0.000	0.984	0.991	0.984
20	0.053	0.008	0.000	0.000	0.992	0.991	0.984
21	0.047	0.000	0.000	0.008	0.992	0.991	0.992
22	0.043	0.000	0.005	0.000	0.992	0.997	0.992
23	0.043	0.005	0.000	0.000	0.997	0.997	0.992
24	0.038	0.000	0.000	0.005	0.997	0.997	0.997
25	0.037	0.000	0.003	0.000	0.997	0.999	0.997
26	0.037	0.003	0.000	0.000	0.999	0.999	0.997
27	0.034	0.000	0.001	0.000	0.999	1.000	0.997
28	0.034	0.001	0.000	0.000	1.000	1.000	0.997
29	0.033	0.000	0.000	0.003	1.000	1.000	0.999
30	0.030	0.000	0.000	0.001	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.4.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO A

TABLA 3.8 Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo A

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	293.362	70.188	283.055	69.507
9	28.80		51.593		49.942
8	25.60		36.416		34.629
7	22.40		25.900		24.140
6	19.20		20.340		18.741
5	16.00		19.167		17.863
4	12.80		20.464		19.565
3	9.60		21.177		20.698
2	6.40		18.196		18.037
1	3.20		9.922		9.933

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.9 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	2.40	2.50	0.00268	0.00260
9	2.30	2.40	0.00378	0.00366
8	2.10	2.20	0.00479	0.00463
7	1.90	2.00	0.00562	0.00542
6	1.70	1.80	0.00628	0.00605
5	1.40	1.50	0.00684	0.00661
4	1.10	1.20	0.00728	0.00704
3	0.80	0.80	0.00741	0.00715
2	0.50	0.50	0.00662	0.00635
1	0.20	0.20	0.00340	0.00322

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.4.2 RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO B

TABLA 3.10 Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo B

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	325.819	77.973	314.324	77.197
9	28.80		57.306		55.462
8	25.60		40.440		38.451
7	22.40		28.753		26.800
6	19.20		22.576		20.803
5	16.00		21.276		19.830
4	12.80		22.726		21.725
3	9.60		23.525		22.987
2	6.40		20.218		20.034
1	3.20		11.026		11.035

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.11 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	2.60	2.70	0.00298	0.00289
9	2.50	2.60	0.00420	0.00406
8	2.40	2.50	0.00533	0.00514
7	2.20	2.20	0.00623	0.00602
6	1.90	2.00	0.00697	0.00673
5	1.60	1.70	0.00760	0.00733
4	1.30	1.30	0.00809	0.00782
3	0.90	0.90	0.00823	0.00794
2	0.50	0.50	0.00736	0.00704
1	0.20	0.20	0.00378	0.00357

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.4.3 RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO C

TABLA 3.12 Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo C

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	559.371	111.969	558.831	114.152
9	28.80		93.925		93.946
8	25.60		75.528		74.790
7	22.40		62.336		61.301
6	19.20		52.961		51.983
5	16.00		46.721		46.049
4	12.80		41.746		41.513
3	9.60		35.574		35.756
2	6.40		26.288		26.702
1	3.20		12.323		12.639

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.13 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	4.70	5.10	0.00466	0.00466
9	4.60	4.90	0.00673	0.00672
8	4.30	4.60	0.00883	0.00883
7	3.90	4.20	0.01070	0.01072
6	3.40	3.70	0.01231	0.01235
5	2.90	3.10	0.01362	0.01369
4	2.30	2.40	0.01453	0.01460
3	1.60	1.70	0.01466	0.01469
2	0.90	1.00	0.01294	0.01287
1	0.30	0.30	0.00658	0.00646

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.4.4 RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO CIMENTADO EN SUELO TIPO D

TABLA 3.14 Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo D

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	661.861	121.943	666.017	124.737
9	28.80		109.520		110.232
8	25.60		92.579		92.568
7	22.40		79.620		79.379
6	19.20		68.712		68.416
5	16.00		59.447		59.347
4	12.80		50.461		50.635
3	9.60		40.161		40.520
2	6.40		27.584		28.051
1	3.20		11.834		12.134

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.15 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	5.70	6.20	0.00531	0.00533
9	5.50	6.00	0.00775	0.00778
8	5.10	5.60	0.01031	0.01038
7	4.70	5.10	0.01267	0.01279
6	4.10	4.50	0.01471	0.01488
5	3.50	3.80	0.01636	0.01658
4	2.70	2.90	0.01746	0.01769
3	1.90	2.10	0.01756	0.01774
2	1.10	1.20	0.01544	0.01548
1	0.40	0.40	0.00783	0.00773

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.4.5 RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO E

TABLA 3.16 Cortantes dinámicos del edificio aporticado cimentado suelo tipo E

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	820.929	133.013	819.807	132.954
9	28.80		134.362		134.130
8	25.60		121.318		121.202
7	22.40		107.807		107.851
6	19.20		93.984		94.096
5	16.00		79.653		79.698
4	12.80		64.301		64.191
3	9.60		47.348		47.083
2	6.40		28.736		28.410
1	3.20		10.406		10.193

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.17 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	7.20	7.80	0.00626	0.00619
9	6.90	7.50	0.00928	0.00921
8	6.50	7.10	0.01260	0.01257
7	5.90	6.40	0.01573	0.01577
6	5.20	5.70	0.01846	0.01858
5	4.40	4.70	0.02065	0.02083
4	3.40	3.70	0.02206	0.02224
3	2.40	2.60	0.02211	0.02222
2	1.40	1.50	0.01934	0.01928
1	0.50	0.50	0.00977	0.00959

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.5 ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS CON MUROS DE CORTE

Se realizará el análisis de los edificios con muros de corte con base empotrada en todos los suelos que presenta la norma ecuatoriana de la construcción NEC-2015, igual que los edificios aporricados tampoco se tomara en cuenta los efectos de la cimentación. Para el análisis se utilizará el mismo modelo de la figura 3.2, tomando en cuenta todas sus características, materiales, resistencias y secciones de elementos como, vigas, columnas y losa.

Cabe mencionar que para el cálculo del peso sísmico se utilizará el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva, propuesto por el FEMA-450, debemos aclarar que se utiliza esta ecuación para tener el mismo peso sísmico de los edificios aislados y por ende las mismas masas, a continuación se presentan los datos generales, sobre cargas, carga viva y finalmente el peso sísmico del edificio.

La sobre carga de terminados y carga viva que se aplica a los modelos con muro de corte son los mismo valores de la tabla 3.4.

Datos generales

Resistencia del hormigón: $f'c = 280\text{kg/cm}^2$.

Fluencia del acero de refuerzo: $Fy = 4200\text{kg/cm}^2$.

Módulo de elasticidad del hormigón: $Ec = 14000\sqrt{f'c} = 234264.807\text{kg/cm}^2$.

Módulo de elasticidad del acero de refuerzo: $Es = 2'038000\text{kg/cm}^2$.

Vigas = $0.30\text{m} \times 0.60\text{m}$

Columnas = $0.80\text{m} \times 0.80\text{m}$

Muro de corte $e = 0.30\text{m}$

Losa bidireccional aligerada $e = 0.25\text{m}$

Altura entre piso $h = 3.20\text{m}$

TABLA 3.18 Peso sísmico del edificio con muros de corte

Nivel	Sobre Carga ton/m ²	Carga Viva ton/m ²	Área Losa m ²	Peso Losa ton	Peso Columnas ton	Peso de Vigas ton	Peso de Muro ton	Wi Sísmico ton
10	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	686.96
9	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
8	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
7	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
6	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
5	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
4	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
3	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
2	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
1	0.478	0.250	600	175.68	147.46	91.59	43.32	782.35
Peso sísmico del edificio								7728.11

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.19 Coeficientes estructurales para el análisis estático y dinámico de los edificios con muros de corte

Tipo de suelo		A	B	C	D	E
Factor de zona	Z	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Factor de sitio	Fa	0.90	1.00	1.18	1.12	0.85
Factor de sitio	Fd	0.90	1.00	1.06	1.11	1.50
Factor de sitio	Fs	0.75	0.75	1.23	1.40	2.00
Factor de importancia	I	1	1	1	1	1
Coef de resistencia	R	8	8	8	8	8
Irreg en elevación	ΦE	1	1	1	1	1
Irreg en planta	ΦP	1	1	1	1	1
Altura edificio	h	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Pórticos hormigón	Ct	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
	α	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Coef de suelo	r	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50
Ampf espectral	n	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
Periodo inferior	To	0.075	0.075	0.110	0.139	0.353
Periodo estructura	T	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740
Periodo superior	Tc	0.413	0.413	0.608	0.763	1.941
Acel espectral	Sa	0.622	0.691	1.202	1.432	1.054
Coef sísmico	C	0.078	0.086	0.15	0.179	0.132

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.20 Periodos de vibración y masas participativas

Modo	Periodo seg	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	0.813	0.720	0.000	0.000	0.720	0.000	0.000
2	0.770	0.000	0.709	0.000	0.720	0.709	0.000
3	0.566	0.000	0.000	0.701	0.720	0.709	0.701
4	0.221	0.162	0.000	0.000	0.882	0.709	0.701
5	0.200	0.000	0.174	0.000	0.882	0.883	0.701
6	0.141	0.000	0.000	0.180	0.882	0.883	0.881
7	0.118	0.054	0.000	0.000	0.935	0.883	0.881
8	0.102	0.000	0.056	0.000	0.935	0.940	0.881
9	0.086	0.022	0.000	0.000	0.957	0.940	0.881
10	0.073	0.000	0.023	0.000	0.958	0.963	0.881
11	0.069	0.000	0.000	0.060	0.958	0.963	0.941
12	0.068	0.013	0.000	0.000	0.970	0.963	0.941
13	0.059	0.000	0.013	0.000	0.970	0.976	0.941
14	0.056	0.009	0.000	0.000	0.979	0.976	0.941
15	0.049	0.000	0.009	0.000	0.979	0.984	0.941
16	0.048	0.000	0.000	0.024	0.979	0.984	0.965
17	0.048	0.000	0.000	0.000	0.979	0.984	0.965
18	0.046	0.000	0.000	0.000	0.979	0.984	0.965
19	0.046	0.006	0.000	0.000	0.985	0.984	0.965
20	0.041	0.000	0.000	0.000	0.985	0.984	0.965
21	0.041	0.001	0.004	0.000	0.986	0.989	0.965
22	0.041	0.001	0.002	0.000	0.987	0.990	0.965
23	0.040	0.000	0.000	0.000	0.987	0.990	0.965
24	0.040	0.000	0.000	0.010	0.987	0.990	0.975
25	0.039	0.004	0.000	0.000	0.991	0.990	0.975
26	0.039	0.000	0.000	0.000	0.991	0.990	0.975
27	0.037	0.000	0.000	0.000	0.991	0.990	0.975
28	0.037	0.000	0.000	0.001	0.991	0.990	0.976
29	0.037	0.000	0.000	0.001	0.991	0.990	0.977
30	0.036	0.002	0.000	0.000	0.992	0.990	0.977

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.5.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO A

TABLA 3.21 Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo A

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	512.710	112.147	509.480	111.974
9	28.80		92.568		91.971
8	25.60		65.650		64.986
7	22.40		49.436		49.322
6	19.20		41.969		41.958
5	16.00		39.230		39.059
4	12.80		37.554		37.204
3	9.60		34.125		33.538
2	6.40		26.659		26.222
1	3.20		13.373		13.247

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.22 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	1.90	1.70	0.00387	0.00358
9	1.70	1.60	0.00427	0.00388
8	1.50	1.40	0.00454	0.00406
7	1.30	1.20	0.00475	0.00417
6	1.10	1.00	0.00483	0.00418
5	0.90	0.80	0.00475	0.00404
4	0.60	0.50	0.00447	0.00374
3	0.40	0.40	0.00392	0.00323
2	0.20	0.20	0.00305	0.00249
1	0.10	0.10	0.00158	0.00130

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.5.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO B

TABLA 3.23 Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo B

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	566.513	126.911	567.438	126.268
9	28.80		100.894		101.685
8	25.60		70.786		71.440
7	22.40		54.518		54.787
6	19.20		46.793		47.041
5	16.00		43.478		43.632
4	12.80		41.258		41.214
3	9.60		37.319		37.181
2	6.40		29.378		29.165
1	3.20		15.178		15.024

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.24 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	2.10	1.90	0.00426	0.00397
9	1.90	1.70	0.00470	0.00431
8	1.70	1.50	0.00500	0.00451
7	1.50	1.30	0.00523	0.00463
6	1.20	1.10	0.00532	0.00464
5	1.00	0.80	0.00523	0.00449
4	0.70	0.60	0.00492	0.00416
3	0.50	0.40	0.00432	0.00359
2	0.30	0.20	0.00336	0.00277
1	0.10	0.10	0.00174	0.00145

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.5.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO C

TABLA 3.25 Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo C

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	980.449	196.510	982.050	197.731
9	28.80		176.244		178.642
8	25.60		139.425		141.133
7	22.40		114.522		114.831
6	19.20		96.747		96.130
5	16.00		81.995		81.204
4	12.80		68.109		67.412
3	9.60		53.624		52.861
2	6.40		36.745		35.955
1	3.20		16.528		16.151

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.26 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	3.80	3.50	0.00761	0.00717
9	3.50	3.20	0.00841	0.00778
8	3.10	2.80	0.00900	0.00817
7	2.70	2.40	0.00946	0.00844
6	2.20	2.00	0.00968	0.00847
5	1.70	1.50	0.00954	0.00822
4	1.30	1.10	0.00896	0.00760
3	0.80	0.70	0.00783	0.00655
2	0.40	0.40	0.00604	0.00500
1	0.20	0.10	0.00310	0.00258

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.5.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO D

TABLA 3.27 Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo D

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	1184.694	226.485	1183.680	229.096
9	28.80		213.976		216.563
8	25.60		176.585		177.804
7	22.40		147.271		146.943
6	19.20		123.240		121.900
5	16.00		101.838		100.173
4	12.80		81.227		79.656
3	9.60		60.195		58.873
2	6.40		38.124		37.217
1	3.20		15.754		15.455

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.28 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	4.70	4.40	0.00930	0.00876
9	4.30	3.90	0.01028	0.00950
8	3.80	3.40	0.01102	0.01000
7	3.30	2.90	0.01162	0.01034
6	2.70	2.40	0.01189	0.01040
5	2.10	1.90	0.01174	0.01009
4	1.60	1.40	0.01102	0.00933
3	1.00	0.90	0.00962	0.00802
2	0.60	0.50	0.00740	0.00611
1	0.20	0.20	0.00378	0.00314

Elaborado por: Erik Villavicencio

3.5.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO E

TABLA 3.29 Cortantes dinámicos del edificio con muros de corte cimentado suelo tipo E

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10	32.00	855.808	157.100	852.522	159.640
9	28.80		154.919		156.449
8	25.60		132.339		132.546
7	22.40		111.995		111.181
6	19.20		93.176		91.724
5	16.00		75.245		73.538
4	12.80		57.713		56.102
3	9.60		40.423		39.202
2	6.40		23.813		23.169
1	3.20		9.085		8.971

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 3.30 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E

Nivel	Desplazamiento		Deriva inelástica	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	3.50	3.20	0.00678	0.00638
9	3.10	2.90	0.00749	0.00692
8	2.80	2.50	0.00805	0.00729
7	2.40	2.10	0.00850	0.00755
6	2.00	1.80	0.00871	0.00760
5	1.60	1.40	0.00860	0.00738
4	1.10	1.00	0.00808	0.00682
3	0.70	0.60	0.00704	0.00586
2	0.40	0.30	0.00541	0.00446
1	0.10	0.10	0.00275	0.00228

Elaborado por: Erik Villavicencio

CAPÍTULO 4

AISLAMIENTO SÍSMICO

4.1 CONCEPTO DE AISLACIÓN SÍSMICA

La aislación sísmica se obtiene introduciendo flexibilidad en la base de la estructura en la dirección horizontal, mientras que al mismo tiempo se coloca amortiguación extra para reducir la amplitud del movimiento causado por las aceleraciones del sismo que causan tanto daño a los elementos estructurales.

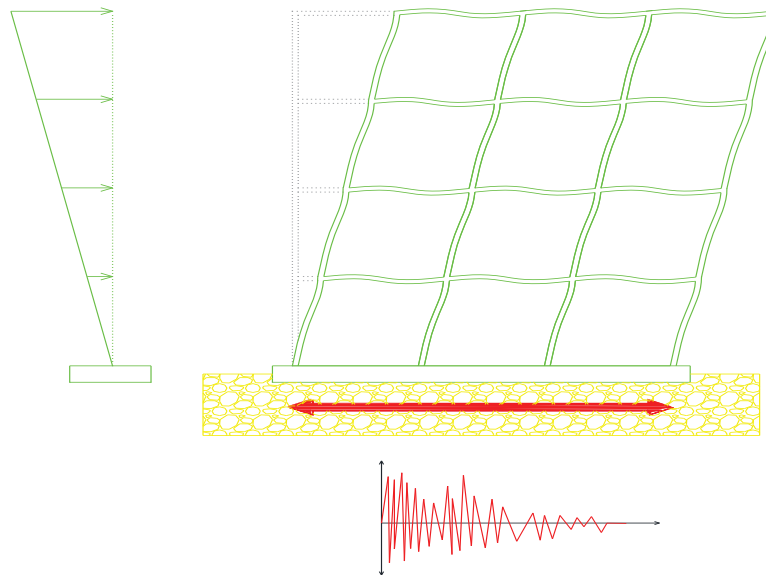
En los últimos años la aislación sísmica ha tenido una gran aceptación en el diseño sísmico resistente tanto en el reforzamiento como el diseño de estructuras ya que el concepto de aislamiento está orientado a una reducción significativa de cargas dinámicas, lo contrario al diseño convencional que está basado en un aumento de resistencia. Los aisladores sísmicos se ubican estratégicamente en partes específicas de la estructura, las cuales en un evento sísmico, proveen a la estructura la suficiente flexibilidad para diferenciar la mayor cantidad posible del periodo natural de la estructura con el periodo natural del sismo, así evitando que se produzca resonancia lo cual podría provocar daños severos o el colapso de la estructura. (Chambi, 2014)

En la figura 4.1 se muestra una estructura diseñada convencionalmente, su diagrama de deformaciones es típicamente triangular y se da principalmente en los elementos estructurales, se concluye que una estructura convencional presenta amplificaciones, en la aceleración y desplazamientos y son directamente proporcionales a su altura.

En la figura 4.2 se observa una estructura diseñada con aislamiento sísmico, se percibe que su deformación se da casi en la totalidad en los aisladores y muy poco en la superestructura, se concluye que una estructura con aislamiento sísmico la

deformación se aproxima a una forma rectangular y la superestructura se mueve como un cuerpo rígido.

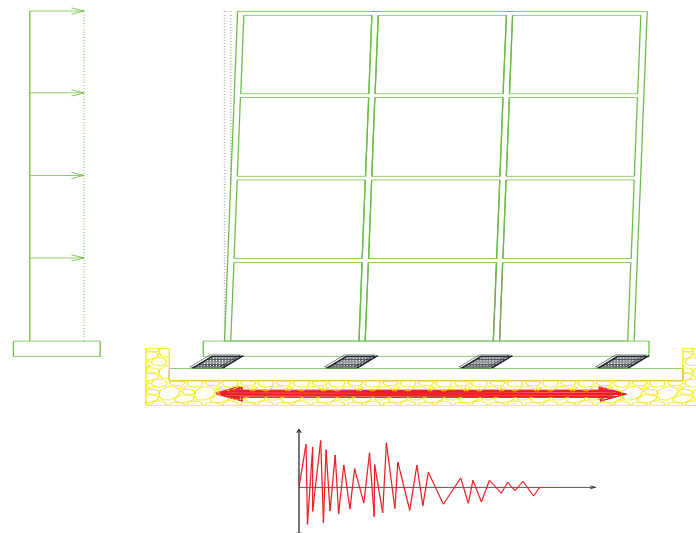
FIGURA 4.1 Deformada de una estructura convencional



Fuente: (Jumaat, 2011)

Elaborado por: Erik Villavicencio

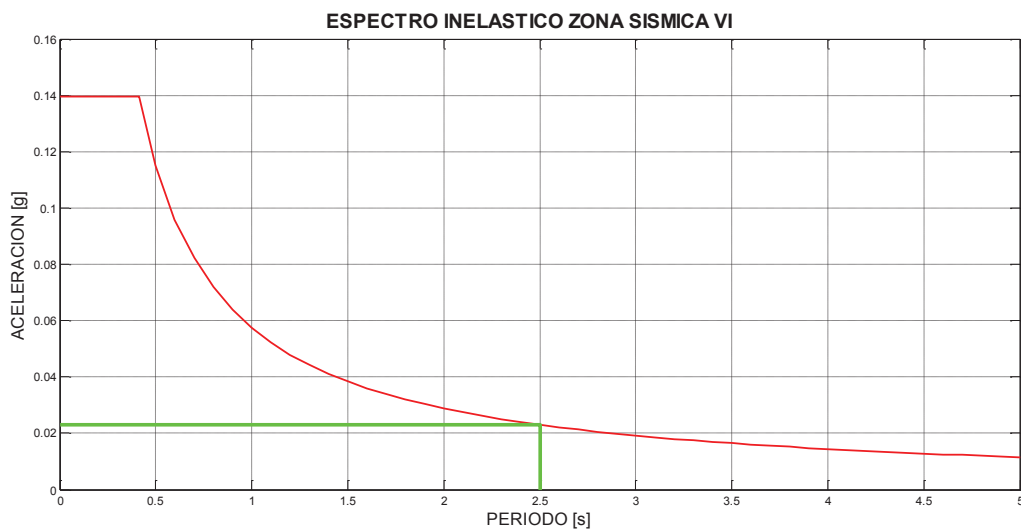
FIGURA 4.2 Deformada de una estructura con aislamiento sísmico



Fuente: (Jumaat, 2011)

Por ejemplo si se fuera a diseñar una edificación rígida para una zona sísmica VI, esta tendría un periodo de vibración de 0.8 segundos se observa que va a estar sometida una aceleración de 0.072g, y si la misma edificación estuviera aislada y se adoptara un periodo de aislamiento de 2.5 segundos esta tendría una aceleración de 0.023g, en la figura 4.3 se percibe que se reduce considerablemente las fuerzas y por ende se reducirán los daños en elementos estructurales como no estructurales.

FIGURA 4.3 Aceleraciones sísmicas en una estructura aislada.

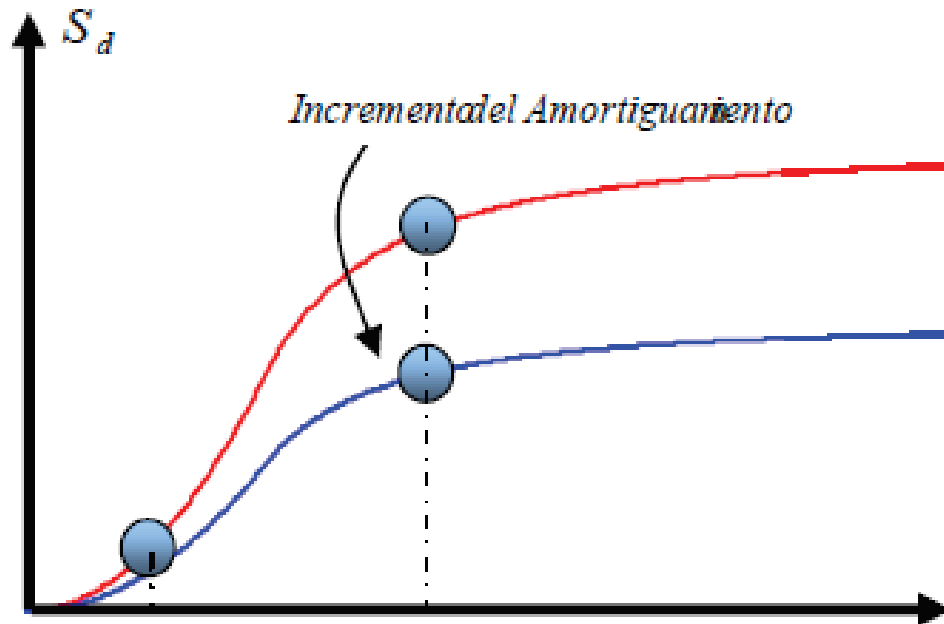


Elaborado por: Erik Villavicencio

Para Mesa Blandón & Sánchez García (2010) los sistemas aislados logran conseguir su éxito al alejar el periodo de la estructura convencional y llevarlo al periodo de la estructura aislada, entre más diferencia exista el aislamiento será mayor.

Sin embargo, la reducción de la fuerza es acompañada por un aumento en la demanda de desplazamiento, pero se puede contrarrestar incrementando el amortiguamiento en los aisladores y así evitar problemas de estabilidad, como se observa en la figura 4.4.

FIGURA 4.4 Disminución del desplazamiento debido al incremento de amortiguación



Elaborado por: (Jumaat, 2011)

Todo sistema de aislamiento tiene que tener intrincadamente en sus propiedades los siguientes conceptos básicos para su correcto desempeño sísmico.

- *Flexibilidad* para alargar el periodo de la edificación para poder reducir la fuerza sísmica actuante.
- *Amortiguamiento* para poder disipar la energía y evitar desplazamientos excesivos y tener un buen desempeño sísmico.
- *Rigidez* para poder soportar cargas de servicio, viento y frenado.

4.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AISLACIÓN SÍSMICA

Sabemos que los aisladores sísmicos separan la estructura del suelo, pero no todos estos dispositivos son iguales en, forma, materiales y diseño, esto se estudiara posteriormente en otros capítulos, pero sin embargo toda estructura aislada debe tener tres tipos de componentes principales como son: interfaz de aislamiento, unidad de aislamiento y sistema de aislamiento.

4.2.1 INTERFAZ DE AISLAMIENTO

“Es el límite imaginario que existe entre la parte superior de la estructura, la cual está aislada, y la inferior que se mueve rígidamente con el terreno” (Mesa *et al.*, 2010).

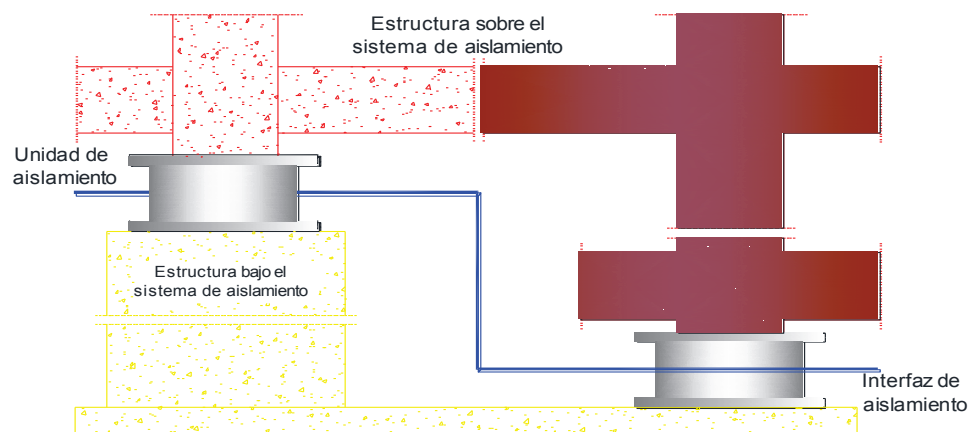
4.2.2 UNIDAD DE AISLAMIENTO

Es un elemento estructural muy flexible en la dirección horizontal ante cargas sísmicas, y muy rígido en la dirección vertical ante carga gravitacionales. (Mesa *et al.*, 2010).

4.2.3 SISTEMA DE AISLAMIENTO

“Es el conjunto de sistemas estructurales que incluye a: todas las unidades de aislamiento, disipadores de energía y sistemas de restricción de desplazamientos” (Mesa *et al.*, 2010). En la figura 4.5 podemos apreciar mucho mejor las componentes de un sistema de aislación sísmica independientemente del tipo de dispositivo que se tenga.

FIGURA 4.5 Componentes de un sistema de aislamiento



Elaborado por: Erik Villavicencio

4.3 CRITERIOS PARA EMPLEAR EL SISTEMA DE AISLAMIENTO

Para obtener un buen aislamiento sísmico se debe alargar el periodo de respuesta de la estructura, las cuales deben ser de periodo natural corto menores a 1 segundo, que por lo general son edificios aporricados de hormigón armado menores o iguales a 10 pisos y para edificios en acero menores o iguales a 5 pisos. (Farzad & James M, 1999).

Algunos suelos de acuerdo a su geología tienden a aumentar el periodo de vibración del sismo y pueden causar resonancia en el sistema de aislación empeorando la respuesta de la estructura un ejemplo claro de este tipo de suelos es la ciudad de México, por lo que es recomendable utilizar el sistema de aislamiento en suelos duros y no en suelos muy blandos o pantanosos. (Mesa *et al.*, 2010).

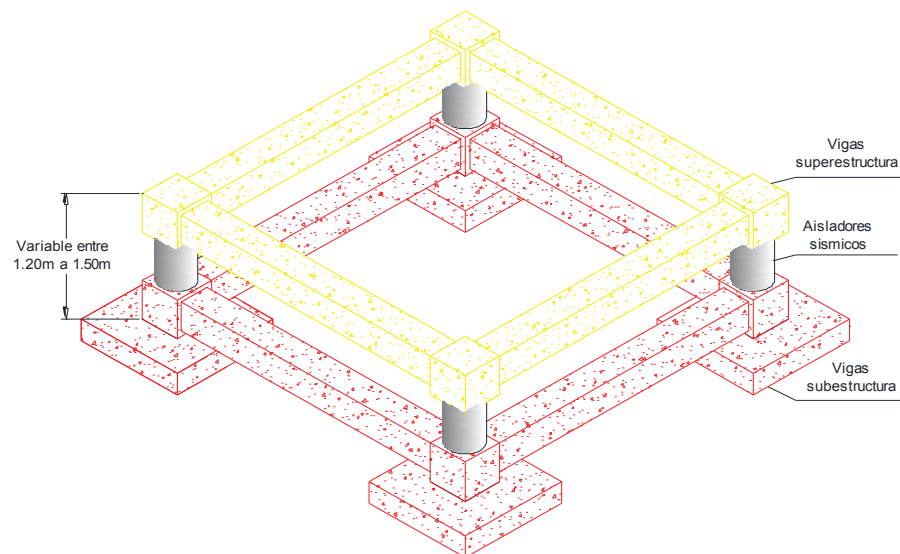
Hay que tener muy en cuenta la configuración estructural, las características dinámicas y las condiciones del suelo ya que el sistema de aislamiento de base requiere un plano de separación para grandes desplazamientos horizontales, en zonas sísmicas bajas pueden presentarse desplazamientos hasta de 15 centímetros y para zonas sísmicas moderadas y altas desplazamientos mayores de 1 metro, y si por algún motivo hubiera una obstrucción tales como edificaciones adyacentes, muros de contención y cualquier otro elemento, el sistema de aislamiento no sería totalmente eficaz y el choque entre edificaciones causarían grandes aceleraciones de impacto, dañando los elementos estructurales.

Dependiendo de la sismicidad de la zona, la configuración estructural y el periodo objetivo que se desea alcanzar se seleccionará los aisladores más adecuados, pueden ser todos del mismo tipo o una combinación de diferentes dispositivos; en el mercado internacional existen varias familias entre ellos tenemos, aisladores friccionantes de primera, segunda y tercera generación, aisladores elastómeros de alto y bajo amortiguamiento; por lo regular estos dispositivos se colocan debajo de la planta baja apoyando las columnas, no es recomendable poner un sistema de aislación en un lugar inclinado por que puede representar serios problemas de

torsión y concentración de esfuerzos, lo recomendable es colocar el sistema de aislación en un plano totalmente horizontal (Farzad & James M, 1999).

Para edificaciones sin subsuelos los aisladores se pueden colocar directamente sobre la cimentación, lo recomendable sería colocar vigas inferiores bien rígidas que amarren toda la subestructura y lo mismo para la parte de la superestructura, y así poder garantizar que se desplace como un cuerpo rígido propone Aguiar Falconí (2011), algunos proyectistas dejan entre la cimentación y el primer nivel un espacio de 1.20m a 1.50m para permitir la inspección o posible sustitución de algún aislador como se muestra en la figura 4.6.

FIGURA 4.6 Esquema de aislación en edificios sin subsuelos

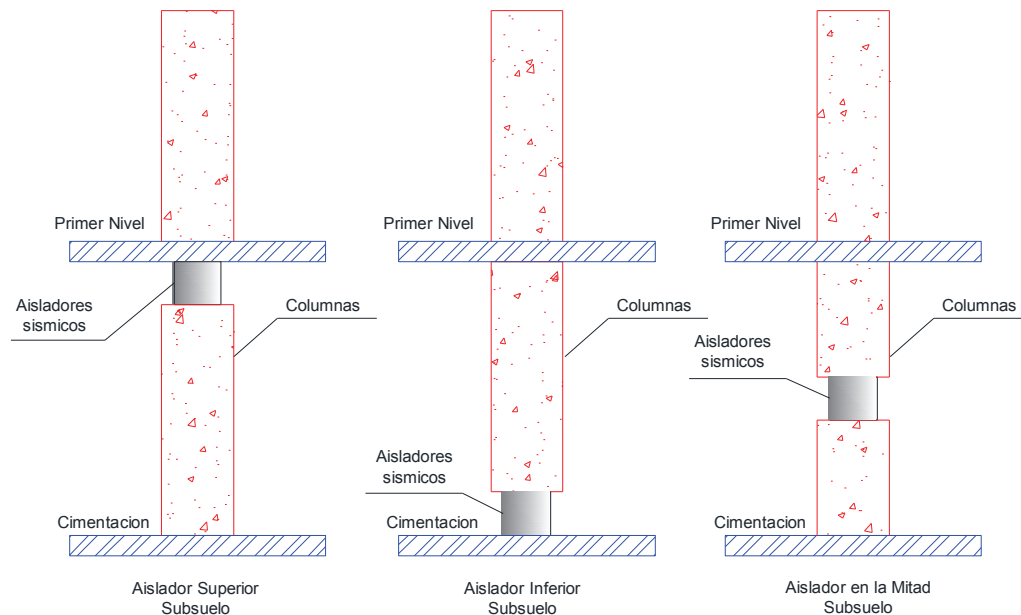


Elaborado por: Erik Villavicencio

En cambio cuando los edificios tienen subsuelos Trevor E (2011) recomienda varias opciones para la instalación de los aisladores, una de ellas es poner los dispositivos en la parte superior o inferior de la columna, esta debe ser diseñada para el momento de voladizo desarrollado por la fuerza de corte del aislador, por lo regular dichos elementos requieren secciones bien robustas; que otra forma es colocar los aisladores en la mitad de las columnas, este procedimiento tiene la ventaja de dividir el momento en dos partes y por ende salen elementos verticales menos robustos

como se muestra en la figura 4.7; lo antes mencionado en los dos párrafos anteriores es esquemático ya que cada proyecto tiene condiciones únicas y cada estructura es diferente a cualquier otra queda a mejor criterio del proyectista donde colocar los aisladores sísmicos.

FIGURA 4.7 Esquema de aislación de edificios con subsuelos



Fuente: (Trevor E, 2001)

Elaborado por: Erik Villavicencio

Con el sistema de aislamiento por lo regular las fuerzas sísmicas se reducen a un factor de al menos 3 y en situaciones ideales y perfectas por un factor de 8, esto se refleja con la reducción de secciones de elementos estructurales y esto influye directamente en los costos directos de ejecución del proyecto. Seguidamente tenemos los costos indirectos como son los daños, reparación y operatividad de las estructuras que en las estructuras aisladas es mínimo, analizando todos los costos una estructura con dispositivo de aislación es más económica en un 10% a 20% que una estructura convencional.

4.4 FILOSOFÍA DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO SÍSMICO

Los requisitos primordiales de una estructura con aisladores sísmicos es que su desempeño objetivo sea la protección de la vida y la reducción del daño de la estructura y sus contenidos durante un sismo severo.

El diseño según el FEMA - 450 de una estructura con aisladores está orientado a cumplir los siguientes objetivos de desempeño.

- 1) Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio.
- 2) Resistir sismos severos sin que exista falla o colapso en el sistema de aislación, que no se produzcan daños significativos en los elementos estructurales, ni daños masivos a elementos no estructurales.

Estos objetivos de desempeño buscan, que la superestructura permanezca esencialmente elástica durante el **Sismo de Diseño (SD)**, por lo que el desplazamiento lateral debe ocurrir en la interfaz de aislación y no en la superestructura; siendo la capacidad de desplazamiento la propiedad más importante y esta debe ser verificado bajo la acción del **Sismo Máximo Considerado (SMC)**, mientras que la resistencia del sistema de aislamiento y de la estructura debe satisfacer la demanda del sismo de diseño únicamente (2/3 de la intensidad del SMC).

Los edificios aislados deberán resistir fuerzas de viento y gravitacionales sin la activación del sistema de aislamiento. Es decir, se debe evitar que bajo efectos del viento, el sistema de aislamiento se desplace lateralmente puesto que esto podría resultar muy incómodo para los ocupantes del edificio y además estos desplazamientos pudieran no ser recuperables luego de que el viento haya cesado. (Aguiar Falconí, Almazán, Dechent, & Suárez, 2008).

4.5 TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS

En la actualidad se han desarrollado muchos tipos de aisladores sísmicos, unos han quedado solo en conceptos, otros en una infinidad de proyectos donde han sido utilizados y puestos a pruebas ante eventos sísmicos de considerable magnitud presentando un buen desempeño sísmico.

En el presente trabajo de tesis se analizarán y se estudiarán dos tipos de aisladores sísmicos los cuales son los más importantes y comunes en el mercado internacional; además tienen estudios de autores y universidades que constan de un muy buen respaldo teórico, experimental y práctico desde hace muchos años.

Entre los sistemas de aislación tenemos:

- 1) Aislador Elastomérico.
 - a) Aislador Elastomérico de Bajo Amortiguamiento (LDR).
 - b) Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento (HDR).
- 2) Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB).
- 3) Rodamientos Deslizantes.
 - a) Aislador de Péndulo de Fricción con Simple Curvatura (FPS)
 - b) Aislador de Péndulo de Fricción con Doble Curvatura (FP-DC)
 - c) Aislador de Péndulo de Fricción con Triple Curvatura (FP-TC)

4.5.1 AISLADORES ELASTOMÉRICOS

Un aislador elastomérico no es más que un tipo de sándwich compuesto de capas alternadas de goma y de acero unidas entre sí, mediante un proceso de vulcanizado a temperaturas alrededor de 140 °C por un lapso de tiempo entre 4 y 8 horas y así formar un solo elemento, flexible en la dirección horizontal, y muy rígido en la dirección vertical

Las láminas de goma que van alternadas tienen una gran flexibilidad y tienen la capacidad de deformarse en el plano horizontal que permite a la estructura

desplazarse lateralmente bajo el movimiento producido por algún evento sísmico, mientras que las láminas de acero evitan el abultamiento del elastómero y le proporcionan una gran rigidez vertical ante cargas de servicio. También se colocan en la parte superior e inferior dos placas de acero con sus respectivos pernos de anclaje los mismos que conectan la subestructura con la superestructura.

Las láminas de goma cumplen dos funciones principales, una como mencionamos en el anterior párrafo es la flexibilidad y la otra función muy importante es darle mayor amortiguamiento a la estructura, esto lo podemos conseguir agregando aditivos, carbón, aceites, resinas etc. (Auqui Parra, 2010)

La mayoría de los aisladores elastoméricos se diseñan de geometría cilíndrica ya que con esto las propiedades del aislador no se ven afectadas por la dirección de la carga horizontal aplicada, repartiéndose los esfuerzos uniformemente. Los aisladores tienen una vida útil mínimo de 50 años.

Características generales de los aisladores elastoméricos:

- **Capacidad de carga y tamaño de los aisladores:** En la mayoría de aisladores a medida que aumenta la carga vertical requiere aumento de sección horizontal, pero la altura se mantiene constante, independientemente de las cargas verticales.
- **Absorción:** Los desplazamientos originados por los sismos pueden ser controlado primordialmente aumentando amortiguación a la goma de los aisladores.
- **Durabilidad bajo cargas cíclicas:** Los aislador de goma se mantiene más o menos estables durante los ciclos de carga, en ensayos que se aplican desplazamientos cíclicos, la goma del aislador muestra que el factor de fricción se mantiene estable.

Dentro de la familia de los aisladores elastoméricos existen dos tipos que son los más usados en el mercado internacional; aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDR Low Damping Rubber) y los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR High Damping Rubber).

4.5.1.1 Aisladores de Bajo Amortiguamiento (LDR).

Tienen las mismas características y forma mencionadas en los párrafos anteriores con la única diferencia que utilizan un elastómero natural de bajo amortiguamiento, y su elasticidad horizontal le permite volver a las estructuras a su posición original, su rigidez lateral es controlada por el bajo módulo de corte del caucho.

Estos aisladores tienen una rigidez horizontal muy baja, y al presentarse una fuerte vibración del sismo los dispositivos comienzan a funcionar y se crea un tipo de filtro donde las vibraciones se reducen y se convierten en un movimiento de baja velocidad incrementando el periodo de la estructura, en la figura 4.8, se observa la geometría y sección de un aislador de bajo amortiguamiento (LDR).

Características generales de los aisladores de bajo amortiguamiento (LDR):

- El amortiguamiento viscoso crítico de este tipo de aisladores está entre el 2% al 7%. (Farzad & James M, 1999)
- Se genera un comportamiento prácticamente lineal-elástico a bajas deformaciones y lineal viscoso a grandes deformaciones.
- La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 100%.

Ventajas:

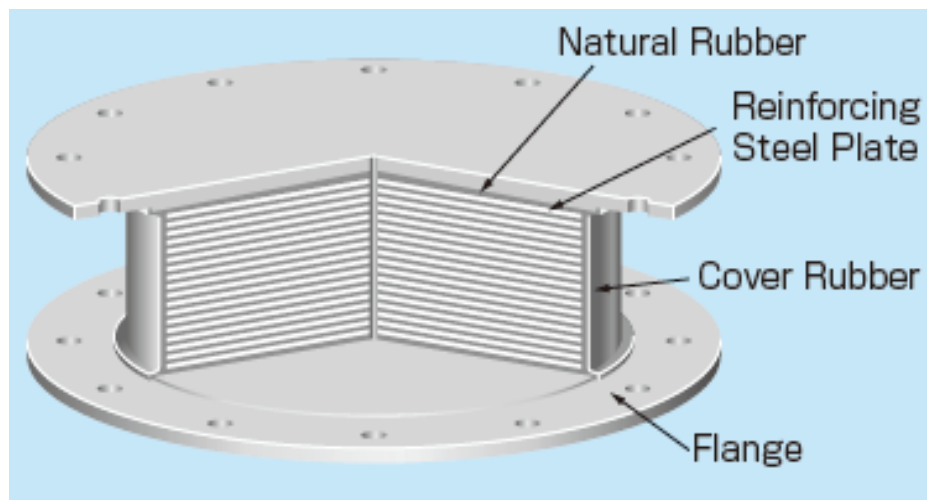
- Bajas aceleraciones en la estructura.
- Fácil de fabricar.

- Bajo costo.
- No se afecta con el paso del tiempo, temperatura, ambiente y cualquier condición ambiental.
- Es muy simple para modelar en cualquier software.

Desventajas:

- Alto desplazamiento debido al bajo amortiguamiento del elastómero.
- Van acompañados de otros sistemas para proporcionar mayor amortiguamiento a las estructuras.

FIGURA 4.8 Aislador de bajo amortiguamiento (LRD)



Fuente: Catalogo Bridgestone producto de aislamiento sísmico

4.5.1.2 Aisladores de Alto Amortiguamiento (HDR).

Tienen las mismas características y formas mencionadas en los puntos anteriores con la única diferencia que utiliza un elastómero de alto amortiguamiento, que está

compuesto por aditivos como el carbón, resinas, polímeros y otros químicos que le dan a la goma mejores propiedades ante altas deformaciones laterales.

Aunque la mayoría de la amortiguación proporcionada por los aisladores de HDR es de naturaleza histéretica hay un componente viscoso que es dependiente de la frecuencia. Este amortiguamiento viscoso es difícil de cuantificar por eso solo se cuantifica niveles de desplazamiento moderados y cuando se superan estos valores se extrapola para los desplazamientos superiores. Por esta razón la amortiguación proporcionada por la histéresis de la goma se puede utilizar en el diseño adoptando el concepto de amortiguamiento viscoso equivalente igual que el LDR.

Características generales de los aisladores de alto amortiguamiento (HDR):

- El amortiguamiento viscoso crítico de este tipo de aisladores está entre el 8% al 15%.
- Para deformaciones por corte menores que el 20%, el material tiene un comportamiento no lineal y se caracteriza por su alta rigidez y amortiguamiento, el cual tiende a minimizar 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.
- La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 300%.

Ventajas:

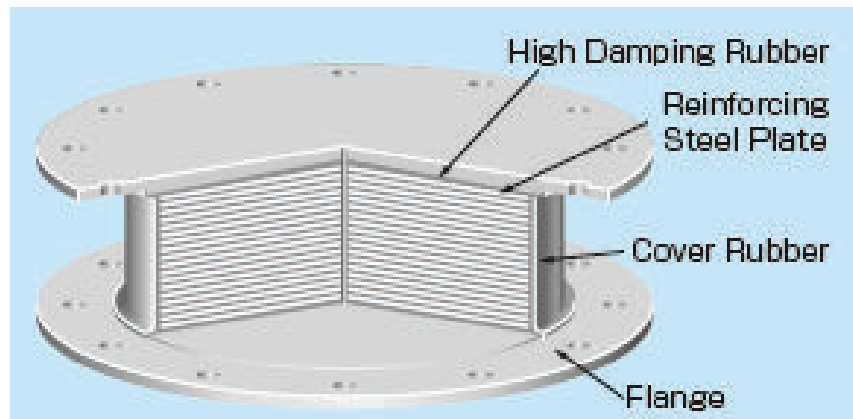
- Muy rígido a cargas de servicio y flexible antes cargas laterales.
- Fácil de fabricar, depende de los tipos de aditivos.
- Amortiguamiento suficiente ante cargas laterales, no necesita otros sistemas o dispositivos adicionales para aumentar el amortiguamiento de la estructura.
- Simple para modelar en cualquier software.

Desventajas:

- Mucho cuidado con las condiciones ambientales pueden ser perjudiciales para ciertos aditivos y pueden hacer variar su amortiguación.

En la figura 4.9, se puede observar el modelo de un aislador de alto amortiguamiento HRD.

FIGURA 4.9 Aislador de alto amortiguamiento (HDR)



Fuente: Catalogo Bridgestone producto de aislamiento sísmico

4.5.2 AISLADOR CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)

Es un tipo de aislador elastomérico que contienen capas delgadas de caucho natural de baja amortiguación intercaladas con placas de acero que tienen un orificio en el centro que es rellenado con un núcleo de plomo como se observa en la figura 4.10.

Esta unión entre las placas de acero, la goma elastomérica y el núcleo de plomo se la realiza mediante un proceso de alta presión llamado vulcanización. El núcleo de plomo ayuda a incrementar la disipación de energía, y al estar sometido a algún evento sísmico el aislador se deforma lateralmente y el núcleo de plomo fluye incurriendo en deformaciones plásticas y disipando la energía en forma de calor, también el núcleo de plomo proporciona rigidez ante cargas verticales. (Auqui Parra, 2010)

Las gomas de elastómero controlan la rigidez post-fluencia del dispositivo, mientras que el núcleo de plomo solo contribuye aproximadamente en un 10% a la rigidez post-fluencia, en cambio el núcleo de plomo controla la rigidez inicial, la fuerza de fluencia, y el desplazamiento de fluencia del dispositivo. (Monrroy Rocano, Cando Cando, Ortega Sarmiento, & Puerres Guilcazo , 2012)

Según NCh2745 (2003) bajo deformación lateral, el plomo se deforma en un estado de corte puro y fluye a una tensión cercana a los 10 MPa a temperatura ambiente, produciendo numerosos ciclos histeréticos estables.

Para el diseño de este tipo de aisladores se deben generar algunos datos como son, diámetro exterior del aislador, diámetro interior del núcleo del plomo, altura y número de espesor de las placas de confinamiento.

Características generales de los aisladores con núcleo de plomo (LRB):

- El amortiguamiento viscoso crítico de los aisladores con núcleo de plomo esta entre el 15% al 35%.
- En este tipo de aislador hay una relación bilineal entre la relación fuerza cortante y el desplazamiento lateral.

- El esfuerzo de deformación a corte del plomo τ_y se lo considera con un valor igual a 10 MPa.
- Como regla práctica, la rigidez inicial del aislador es entre 6,5 y 10 veces su rigidez de post-fluencia.
- Por otra parte, la rigidez post-fluencia del aislador k_p es en general mayor que la rigidez de la goma del aislador sin el corazón de plomo.
- La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta el 200%.

Ventajas:

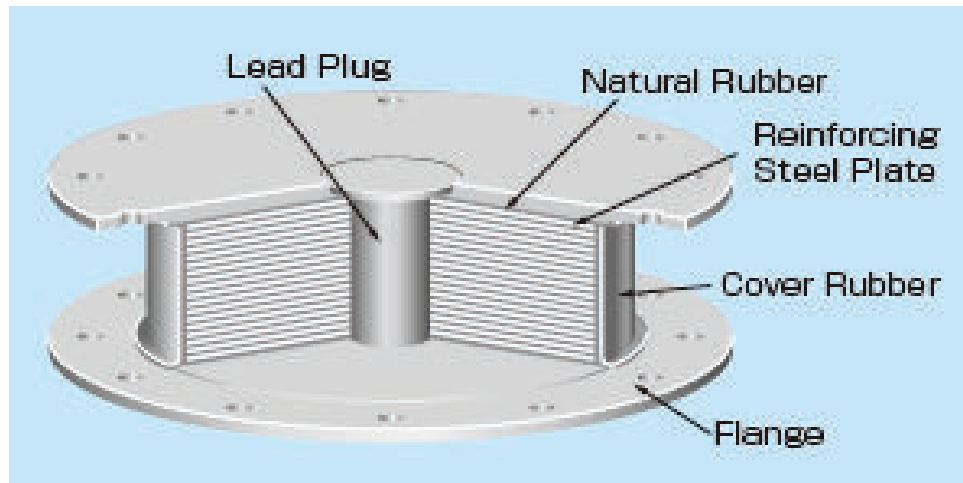
- De la familia de los aisladores elastoméricos es el más estudiado y utilizado por los ingenieros estructurales a nivel mundial.
- A pasado grandes pruebas ante eventos sísmicos importantes demostrando su potencial y efectividad.
- Mayor amortiguamiento lo que reduce sustancialmente los desplazamientos.
- Suprime la necesidad de otros dispositivos como amortiguadores.
- Amplia variedad de rigidez/amortiguación dependiendo del amortiguamiento y del núcleo de plomo.

Desventajas:

- Costo elevado del aislador.

- Sus propiedades se pueden modelar como dos componentes separados o como único elemento bi-lineal.

FIGURA 4.10 Esquema de un aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).



Fuente: Catalogo Bridgestone producto de aislamiento sísmico

4.5.3 RODAMIENTOS DESLIZANTES.

Este es otro tipo de dispositivo contrario a los estudiados anteriormente, y se basan principalmente en la acción de deslizamiento que es la base para lograr una buena disipación de energía. El deslizamiento es controlado por medio de la fricción y se logra amortiguar la energía horizontal provocada por algún evento sísmico.

En el mercado internacional existen un sinnúmero de rodamientos deslizantes que trabajan principalmente por medio de la ley de Coulomb, uno de los más utilizados son los sistemas de péndulo de fricción (FPS Friction Pendulum System).

Estos tipos de dispositivos tienen una articulación que se desliza y se apoya en una superficie esférica y cóncava de acero inoxidable revestida de Politetra Fluoro Etileno sobre la que se soporta la estructura. Entre los sistemas de péndulo de fricción tenemos: Aislador de Péndulo de Fricción con Simple Curvatura, Aislador

de Péndulo de Fricción con Doble Curvatura, Aislador de Péndulo de Fricción con Triple Curvatura.

4.5.3.1 Aislador de Péndulo de Fricción con Simple Curvatura (FPS)

El aislador de péndulo de fricción de simple curvatura consta de un control deslizante articulado que descansa sobre una superficie esférica cóncava. El deslizador está recubierto con un tejido de teflón revestido por un material compuesto que tiene un coeficiente de fricción aproximadamente entre el 5% al 10%, y la superficie esférica está cubierta por acero inoxidable pulido, como se puede observar en la figura 4.11, fabricado y patentado por Earthquake Protection Systems (EPS).

Este tipo de aislador tiene su nombre de péndulo de fricción por que trabaja como un péndulo simple, su funcionamiento es muy sencillo, cuando ocurre un sismo el deslizador articulado se mueve a lo largo de la superficie cóncava causando que la estructura se mueva con un movimiento armónico simple, lo importante de este dispositivo es que al tener una forma cóncava tiende a volver a su origen debido a la fuerza de gravedad que es la fuerza restauradora del sistema.

Las cargas laterales como el viento y sismos pequeños deben ser menor a las fuerzas de fricción del dispositivo, para que la estructura no tenga desplazamientos innecesarios y molestos para los usuarios y responda como una edificación convencional, para que el sistema de péndulo de fricción sea activado es necesario que las fuerzas externas sobrepasen las fuerzas de fricción estática y la estructura trabaje en su periodo aislado y tenga un buen desempeño estructural.

En otras palabras el aislamiento sísmico de este tipo de dispositivo está en función del radio de curvatura de la superficie cóncava y es directamente proporcional al periodo de vibración de la estructura. (Aguilar *et al.*, 2008).

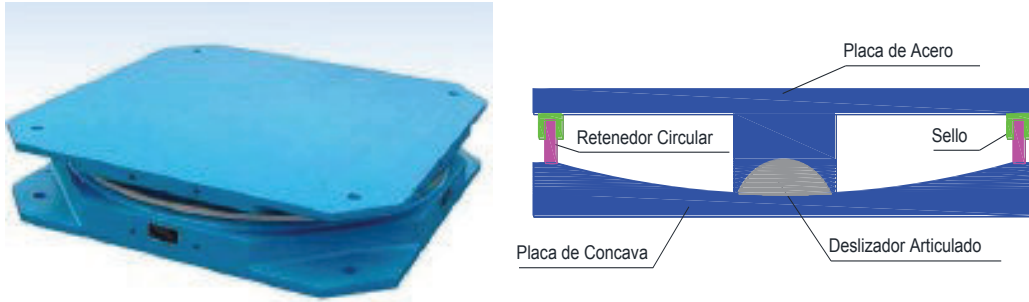
Características generales del aislador de péndulo de fricción con simple curvatura:

- Los rangos de amortiguamiento se encuentran entre 10% hasta 40% dependiendo del coeficiente de fricción.
- En los aisladores de péndulo de fricción con simple curvatura el período de la estructura es independiente de la masa de la estructura soportada, lo cual es una gran ventaja sobre los aisladores de tipo elastomérico, ya que menos factores son involucrados en la selección del aislador.
- Se puede variar el periodo de aislamiento simplemente cambiando el radio de la superficie cóncava.
- Proporciona desplazamientos y periodos largos ante la presencia de sismos de pulsos largos.
- Sus propiedades mecánicas no son afectadas por el envejecimiento o la temperatura.
- Tiene gran capacidad de carga axial, gran capacidad de desplazamiento y no tienen problemas de estabilidad.

Ventajas:

- Muy fácil de instalar, se reducen costos de instalación, mantenimiento muy fácil con una simple visualización se detecta cualquier anomalía.
- Utilizados y probados en una gran gama de edificios, puentes torres, silos, etc.
- Altura mucho más baja que otros dispositivos de aislación.

FIGURA 4.11 Modelo de un aislador de simple curvatura fabricado por bridgestone



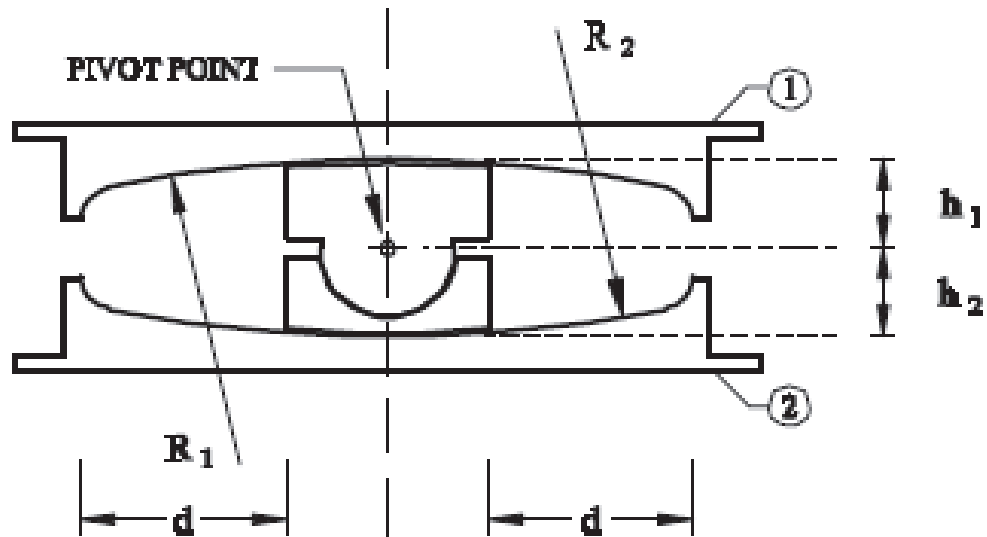
Fuente: Catalogo Earthquake Protection Systems

4.5.3.2 Aislador Péndulo de Fricción de Doble Curvatura (DFPS).

Este tipo de aislador es un avance tecnológico de los sistemas de péndulo de fricción son también llamados de segunda generación; consiste en dos superficies paralelas cóncavas de radio superior R_1 y radio inferior R_2 , estos radios no necesariamente deben ser iguales, de igual manera sucede con los coeficientes de fricción de cada superficie (Constantinou, 2004). Este tipo de aisladores poseen un dispositivo deslizante articulado que separa las dos superficies antes mencionadas ayudando a la distribución de presión, acoplado mejor los movimientos diferenciales de las superficies de deslizamiento, como se muestra en la figura 4.12.

Para Constantinou (2004), el sistema de péndulo de fricción de doble curvatura para ser activado y obtener su máximo desplazamiento pasa por diferentes etapas, la primera etapa sería que al estar sometido a una fuerza lateral mucho menor a la fuerza de fricción de las dos superficies cóncavas la edificación se comportaría como un edificio convencional.

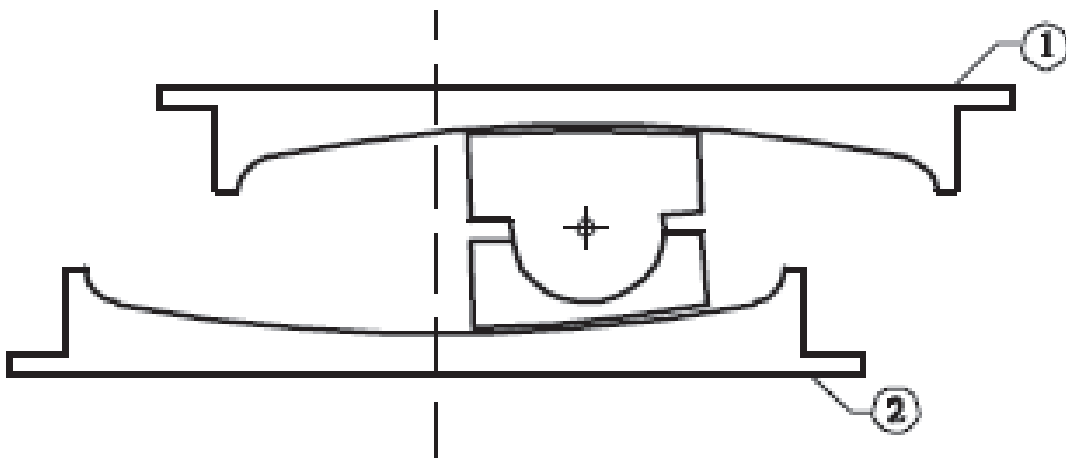
FIGURA 4.12 Esquema de un aislador de péndulo de fricción de doble curvatura



Fuente: (Constantinou, 2004)

Si aumenta la fuerza lateral y ésta supera la fuerza de fricción del dispositivo; es decir que el coeficiente de fricción de la superficie inferior S_2 es menor al coeficiente de fricción de la superficie superior S_1 o viceversa se producirá un movimiento inicial y generará pequeños desplazamientos horizontales como se observa en la figura 4.13.

FIGURA 4.13 La fuerza lateral es mayor que la fuerza de fricción del aislador, produciendo un leve desplazamiento

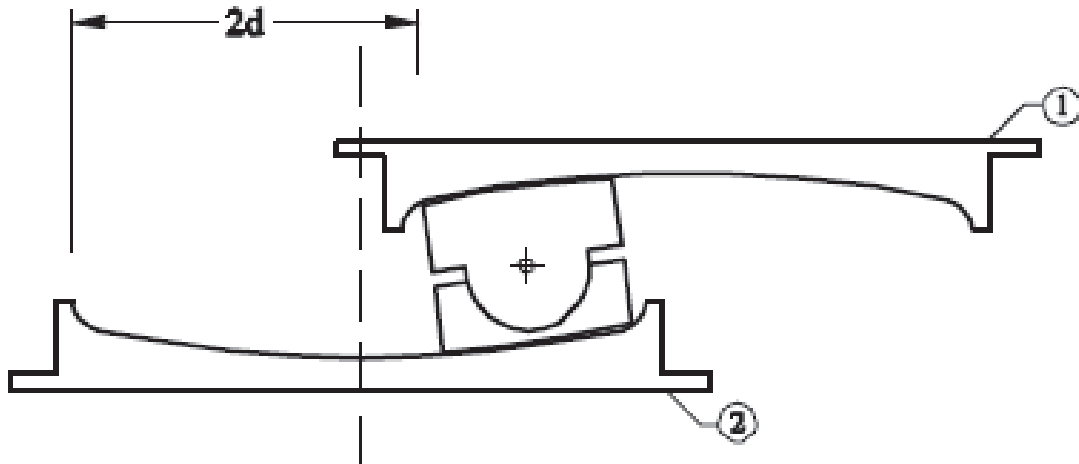


Fuente: (Constantinou, 2004)

Al seguir incrementando las fuerzas laterales puede llegar a tener un desplazamiento máximo, este desplazamiento puede llegar a dos veces el diámetro

de la superficie S_1 , como se muestra en la figura 4.14, como todo sistema de péndulo de fricción la gravedad es la fuerza restauradora del sistema.

FIGURA 4.14 Desplazamiento máximo del aislador de fricción con doble curvatura.



Fuente: (Constantinou, 2004)

Características generales del aislador de péndulo de fricción con doble curvatura:

- Tiene la capacidad de suspender progresivamente diferentes propiedades histéretica en distintas etapas de la respuesta del desplazamiento.
- Las características dinámicas se deben a la acción de los dos péndulos de fricción que son mecanismos independientes de la función de entrada sísmica.
- Su rigidez y amortiguación varían en proporción a las amplitudes del desplazamiento y esto le permite optimizar el rendimiento para los diferentes niveles de entrada de la fuerza sísmica.
- El momento $P - \Delta$ en un aislador de simple curvatura se transfiere directamente a su única superficie cóncava, mientras que en los aisladores

de doble curvatura el momento $P - \Delta$ se divide entre las dos superficies cóncavas.

Ventajas:

- La deformación lateral se divide entre la superficie superior y la superficie inferior cóncava y por lo tanto el diámetro requerido para los platos es mucho menor que para el sistema de péndulo de fricción con simple curvatura.
- Los momentos internos producidos por los desplazamientos laterales son distribuidos equitativamente en las superficies superior e inferior y por lo tanto las placas están menos esforzadas que el sistema de péndulo de fricción de simple curvatura.
- Los radios y los coeficientes de fricción del péndulo no necesariamente deben ser iguales para obtener el periodo deseado y un buen desempeño sísmico.

4.5.3.3 Aislador de Péndulo de Fricción con Tripe Curvatura (TFPS).

El aislador de péndulo de fricción de tripe curvatura o también llamado de tercera generación es un avance tecnológico de sus sucesores, el primero llamado péndulo de fricción con simple curvatura (FPS) y el segundo el péndulo de fricción con doble curvatura (DFPS), este tipo de dispositivo está compuesto de cuatro superficies cóncavas y tres mecanismos pendulares independientes.

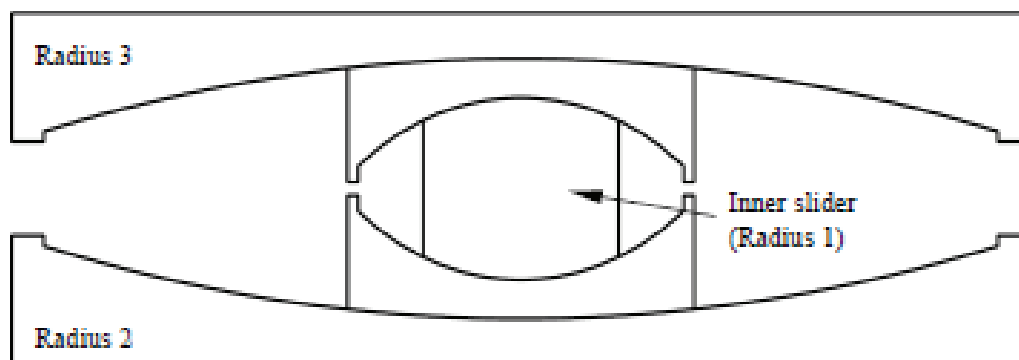
Estos mecanismos afirma Mahin (2011) se componen de un deslizador exterior que tiene las superficies cóncavas superior e inferior y está a la vez llevan otro deslizador interior e incluye un cilindro con un bajo coeficiente de fricción en ambos lados formando un primer mecanismo de péndulo, este mecanismo sirve típicamente para reducir las aceleraciones máximas que actúan sobre la estructura aislada y sus elementos, ayudando a minimizar la participación de los modos

superiores de la estructura, y reduciendo la fuerza de corte que se producen durante los sismos leves.

Mahin (2011) demuestra que el segundo péndulo se forma con el deslizamiento exterior de la parte superior e inferior de los platos y a la vez la superficie interna que es la parte esférica del cilindro se está desplazando con respecto a la placa inferior exterior, este mecanismo de péndulo sirve para minimizar las fuerzas de corte que se producen en la estructura durante el sismo de diseño.

Por otra parte la superficie de deslizamiento superior está en contacto con la superficie esférica de un radio particular de curvatura, formando el tercer mecanismo de péndulo, y sirve especialmente para reducir los desplazamientos de los rodamientos que se puedan producir durante el sismo máximo considerado en la figura 4.15, observamos un esquema de un triple péndulo de fricción.

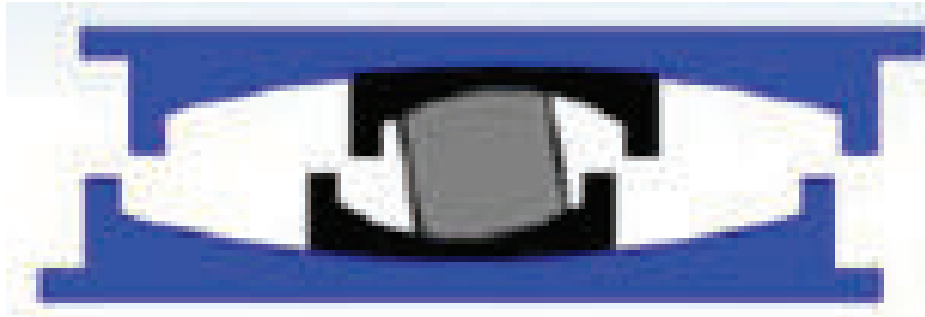
FIGURA 4.15 Esquema de un aislador de tripe péndulo de fricción



Fuente: (Mahin, 2011)

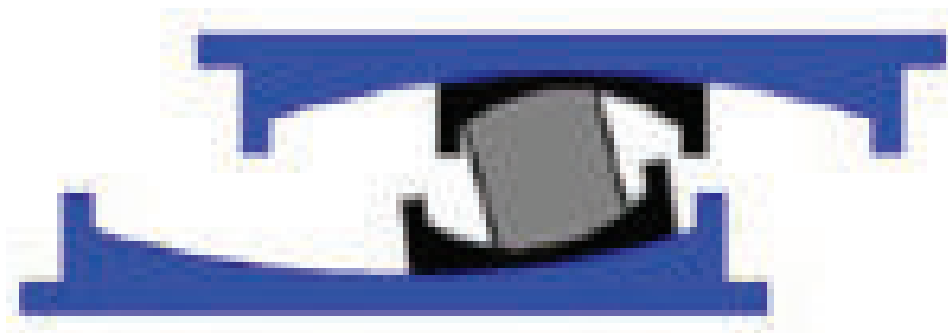
En las siguientes figuras (4.16 - 4.17 - 4.18) se observa el movimiento del aislador antes diferentes sollicitaciones sísmicas.

FIGURA 4.16 Péndulo interior en movimiento debido al sismo de servicio



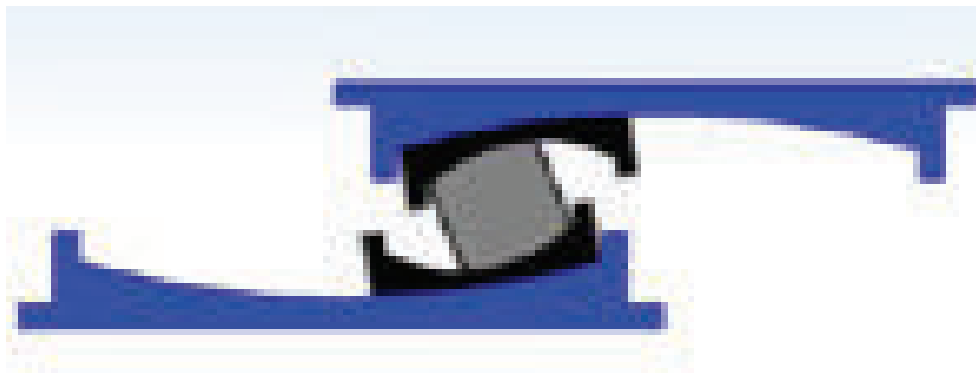
Fuente: (Constantinou, 2004)

FIGURA 4.17 Péndulo inferior en movimiento debido al sismo de diseño



Fuente: (Constantinou, 2004)

FIGURA 4.18 Movimiento del péndulo superior debido al sismo máximo considerado



Fuente: (Constantinou, 2004)

Características generales del aislador de péndulo de fricción con tripe curvatura:

- El periodo es independiente de la masa estructural y este se elige seleccionando el radio de rodamiento, del coeficiente de fricción depende del grado de amortiguación y el núcleo central absorbe la carga axial.
- A mayores desplazamientos se incrementa la longitud del péndulo aumentando el amortiguamiento lo que disminuye las fuerzas sísmicas.
- Las propiedades de cada uno de los tres péndulos son elegidas para activarse sucesivamente para diferentes esfuerzos sísmicos.

Ventajas:

- Mejora el rendimiento estructural a un costo menor.
- Tres aisladores sísmicos incorporados en un tripe péndulo.
- El triple péndulo trabaja a diferentes sollicitaciones sísmicas.

CAPÍTULO 5

REQUISITOS MÍNIMOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS AISLADAS UTILIZANDO NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES FEMA-450

Según las disposiciones de la normativa sísmica para edificios nuevos y otras estructuras FEMA – 450 (2003), está orientada a cumplir los siguientes objetivos de desempeño sísmico:

- Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en los elementos estructurales y no estructurales y contenidos del edificio.
- Resistir sismos severos sin que se produzca falla en el sistema de aislación, daño significativo en los elementos estructurales y no estructurales.

5.1 CONCEPTOS GENERALES.

Desplazamiento de diseño ($D_D - D'_D$) : desplazamiento lateral producido por el sismo de diseño (SD) sin tomar en cuenta el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación.

Desplazamiento total de diseño (D_{TD}) : desplazamiento lateral producido por el sismo de diseño, tomando en cuenta el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación o para un elemento del mismo.

Desplazamiento máximo ($D_M - D'_M$) : desplazamiento lateral producido por el sismo máximo considerado (SMC), sin tomar en cuenta el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental.

Desplazamiento total máximo (D_{TM}) : desplazamiento lateral producido por el sismo máximo considerado, tomando en cuenta el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, necesario para la verificación de la estabilidad del sistema de aislación o para un elemento del mismo, para el diseño de las separaciones entre edificios, y para los ensayos bajo carga vertical de los prototipos de los aisladores.

Amortiguamiento efectivo (β_{eff}) : valor del amortiguamiento viscoso equivalente que se obtiene de la energía disipada durante la respuesta cíclica del sistema de aislación.

Rigidez efectiva (k_{eff}): valor de la fuerza lateral en el sistema de aislación, o un elemento del mismo, dividido por el desplazamiento lateral correspondiente.

Sismo de diseño (SDI) : nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene como mínimo el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Sismo máximo considerado (SMC) : nivel máximo del movimiento del suelo que puede ocurrir dentro del esquema geológico conocido que tiene un 2% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años. (FEMA-450, 2003)

5.2 MÉTODOS DE DISEÑO

El análisis de estructuras aisladas sísmicamente puede ser enfocado por dos métodos diferentes, el primero **basado en fuerzas**, que parte de un periodo deseado donde la estructura va a desempeñarse sísmicamente y producirá desplazamientos y fuerzas de diseño. El segundo método **basado en**

desplazamientos, parte de un desplazamiento meta para el desempeño sísmico de la estructura y producirá fuerzas de diseño.

En este trabajo se emplea el método basado en fuerzas, el cual el FEMA – 450 (2003) propone los siguientes métodos de análisis.

1. Análisis estático equivalente
2. Análisis de respuesta espectral
3. Análisis tiempo – historia

El análisis estático equivalente es utilizado para el prediseño de elementos de la superestructura y prediseño de los aisladores, el análisis de respuesta espectral es útil para el diseño y verificación de la superestructura que debe desempeñarse en el rango elástico para movimientos sísmicos de diseño, y finalmente el análisis tiempo – historia es útil para verificar el desplazamiento máximo del sistema de aislación para movimientos fuertes del terreno (FEMA-450, 2003).

5.3 ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE

El análisis estático equivalente que propone el FEMA – 450 (2003) puede ser utilizado para el diseño de una estructura con sistema de aislación cuando cumpla los siguientes requisitos:

1. La estructura por encima del sistema de aislamiento no sea mayor a 4 pisos o 20m de altura.
2. La estructura se encuentre cimentada en suelos tipos A, B, C, D y su aceleración espectral para un periodo de 1s sea menor o igual a 0.60g.
3. La estructura tenga una configuración regular tanto en planta como en elevación.

4. El periodo efectivo de la estructura aislada para el sismo máximo considerado T_M sea menor o igual a 3s.
5. El periodo efectivo de la estructura aislada para el sismo de diseño T_D sea mayor que 3 veces el periodo elástico de la estructura considerada empotrada en su base.
6. Que el sistema de aislamiento cumpla con las siguientes condiciones:
 - a) La rigidez efectiva (secante) para el desplazamiento de diseño sea mayor que un tercio de la rigidez efectiva (secante) al 20% del desplazamiento de diseño.
 - b) El sistema de aislamiento sea capaz de producir una fuerza de restauración, esta se diseña de tal manera que la fuerza lateral para el desplazamiento total de diseño sea por lo menos 2.5% del peso que soportan los aisladores mayor que la fuerza lateral para el 50% del desplazamiento total de diseño.
 - c) El sistema de aislación debe permitir el desplazamiento sísmico máximo esperado.

5.3.1 DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO

El sistema de aislamiento debe ser diseñado y construido para soportar desplazamientos laterales producidos por eventos sísmicos, que actúen en ambas direcciones principales horizontales de la estructura, estos desplazamientos se calcularán con la siguiente ecuación:

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_{D1} T_D}{B_D} \quad (5.1)$$

Donde:

- g = Aceleración de la gravedad.
- S_{D1} = La aceleración espectral de diseño para un periodo de 1seg se tomara $S_{D1} = 0.50g$ que corresponde a un periodo de retorno de 475 años.
- T_D = Periodo efectivo de la estructura al desplazamiento de diseño en la dirección considerada.
- B_D = Coeficiente numérico relacionado con la amortiguación efectiva del sistema de aislación para el desplazamiento de diseño.

Los coeficientes de amortiguamiento efectivo lo podemos obtener de la siguiente tabla 5.1:

TABLA 5.1 Factores de modificación de respuesta del amortiguamiento

Amortiguamiento efectivo B_D O B_M (Porcentaje del valor critico)	B_D O B_M Factor
≤ 2	0.80
5	1.00
10	1.20
20	1.50
30	1.70
40	1.90
≥ 50	2.00

Fuente: (FEMA-450, 2003)

5.3.2 PERIODO EFECTIVO DEL DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO

El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento de diseño, se debe determinar usando las características de fuerza-deformación del sistema de aislación de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \cdot k_{Dmin}}} \quad (5.2)$$

Donde

- W = Peso de la carga muerta sísmica total de la estructura.
- k_{Dmin} = Rigidez efectiva o secante mínima del sistema de aislación para el desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada.
- g = Aceleración de la gravedad.

5.3.3 DESPLAZAMIENTO MÁXIMO

El desplazamiento máximo del sistema de aislación, en la dirección más crítica debe calcularse con la siguiente expresión:

$$D_M = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \frac{S_{M1} T_M}{B_M} \quad (5.3)$$

Donde:

- g = Aceleración de la gravedad
- S_{M1} = La aceleración espectral máxima probable para un periodo de 1seg se tomara $S_{M1} = 0.75g$ que corresponde a un periodo de retorno de 2500 años.
- T_M = Periodo efectivo de la estructura al desplazamiento máximo en la dirección considerada.
- B_M = Coeficiente numérico relacionado con la amortiguación efectiva del sistema de aislación para el desplazamiento del sismo máximo considerado.

5.3.4 PERIODO EFECTIVO CORRESPONDIENTE AL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO

El período efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento máximo, se debe determinar utilizando las características de fuerza-deformación del sistema de aislación de acuerdo con la ecuación:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \cdot k_{Mmin}}} \quad (5.4)$$

Donde

W = Peso de la carga muerta sísmica total de la estructura.

k_{Dmin} = Rigidez efectiva o secante mínima del sistema de aislación correspondiente al desplazamiento máximo en la dirección horizontal considerada.

g = Aceleración de la gravedad.

5.3.5 DESPLAZAMIENTO TOTAL DE DISEÑO

El desplazamiento total de diseño debe incluir desplazamientos adicionales debido a la torsión natural y accidental calculada considerando la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislación y la ubicación menos favorable de la excentricidad de la masa y se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (5.5)$$

Donde:

D_D = Desplazamiento de diseño.

y = Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aisladores y el elemento de interés (aislador más alejado) medido perpendicularmente en la dirección de la carga sísmica de diseño.

e = Excentricidad horizontal real medida en planta entre el centro de masa

de la superestructura y el centro de rigidez del sistema de aislación mas la excentricidad accidental, igual al 5% de la dimensión máxima de la planta perpendicular a la dirección de la carga sísmica de diseño.

b^2 = Dimensión más corta de la planta de la estructura, medida perpendicularmente a d .

d^2 = Dimensión más larga en planta de la estructura.

5.3.6 DESPLAZAMIENTO TOTAL MAXIMO

El desplazamiento total máximo debe incluir desplazamientos adicionales debido a la torsión natural y accidental calculada considerando la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislación y la ubicación menos favorable de la excentricidad de la masa y se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (5.6)$$

Donde:

D_M = Desplazamiento máximo.

y = Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aisladores y el elemento de interés (aislador más alejado) medido perpendicularmente a la dirección de la carga sísmica máxima considerada.

e = Excentricidad horizontal real medida en planta entre el centro de masa de la superestructura y el centro de rigidez del sistema de aislación mas la excentricidad accidental, igual al 5% de la dimensión máxima de la planta perpendicular a la dirección de la carga sísmica máxima considerada.

b^2 = Dimensión más corta de la planta de la estructura, medida perpendicularmente a d .

d^2 = Dimensión más larga en planta de la estructura.

El desplazamiento total de diseño D_{TD} , y el desplazamiento total máximo D_{TM} , se pueden tomar menores que lo indicado en las ecuaciones (5.5) y (5.6), **pero no**

menores que 1,1 veces el D_D ni 1,1 veces el D_M , respectivamente, siempre que se demuestre mediante cálculos que el sistema de aislación está debidamente configurado para resistir la torsión. (FEMA-450, 2003)

5.3.7 FUERZA LATERAL MÍNIMA DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO

El sistema de aislación, la fundación y todos los elementos estructurales bajo el sistema de aislación se deben diseñar y construir para resistir una fuerza sísmica lateral mínima, dicha fuerza se calcula con la siguiente expresión:

$$V_b = k_{Dmax}.D_D \quad (5.7)$$

Donde:

k_{Dmax} = Rigidez efectiva o secante máxima del sistema de aislamiento, al desplazamiento de diseño en la dirección horizontal considerada.

D_D = Desplazamiento de diseño.

5.3.8 FUERZA LATERAL MÍNIMA DE LA SUPERESTRUCTURA

La superestructura se debe diseñar y construir para resistir como mínimo una fuerza de corte o carga lateral cumpliendo los requerimientos como si fuera una estructura no aislada, la cual se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$V_S = \frac{V_b}{R_I} \quad (5.8)$$

Donde:

V_b = Fuerza lateral mínima del sistema de aislación.

R_I = Coeficiente de reducción sísmica para estructuras aisladas.

El coeficiente de reducción sísmica para estructuras aisladas se puede obtener de la tabla 5.2

TABLA 5.2 Factor de reducción para el diseño de la superestructura

Sistemas estructural	Descripcion de los sistemas resistentes a las fuerzas laterales	R_I
Porticos	Acero estructural	2.0
	Hormigon armado	2.0
Muros de corte	Acero estructural	2.0
	Hormigon armado	2.0
	Albañileria confinada	2.0
	Albañileria armada	1.6
Sistemas arriostrados	Concentricos	1.6
	Excentricos	2.0
Estructuras en voladizo		1.4

Fuente: (FEMA-450, 2003)

Elaborado por: Erik Villavicencio

El FEMA - 450 (2003) propone, que la fuerza lateral mínima de la superestructura V_s en ningún caso debe ser menor que:

1. La fuerza lateral requerida para una estructura de base fija del mismo peso y con un periodo igual al periodo aislado T_D .
2. La fuerza lateral requerida para resistir la carga factorada de viento.
3. La fuerza lateral para activar completamente el sistema de aislamiento multiplicado por 1.5.

5.3.9 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS VERTICALES PARA LA SUPERESTRUCTURA

El cortante basal debe ser distribuido en todo el edificio mediante fuerzas laterales que son aplicadas al centro de masa la cual debe tener una excentricidad

accidental del 5% perpendicular a la dirección de la fuerza en ambos sentidos, y esta distribución puede ser calculada por la siguiente expresión:

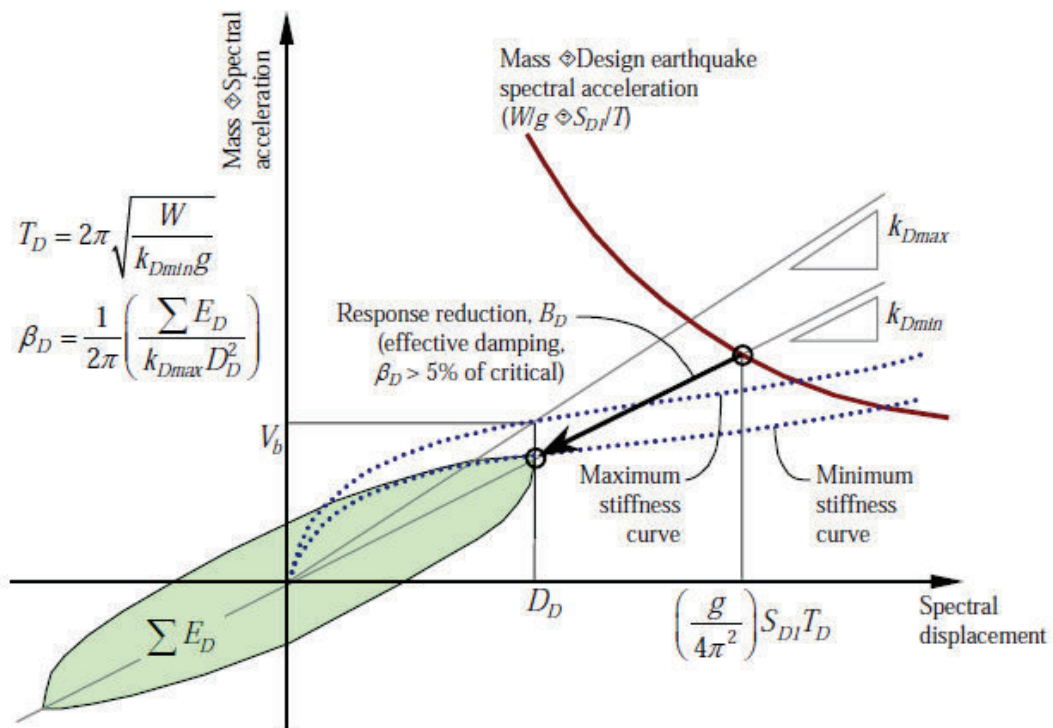
$$F_X = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} V_S \quad (5.9)$$

Donde:

- V_S = Fuerza total de diseño o cortante basal aislado.
- n = Número de pisos de la estructura.
- W_x = Peso aginado al piso x siendo una fracción de W .
- w_i = Peso aginado al piso o nivel i , siendo una fracción de W .
- h_x = Altura del piso x de la estructura.
- h_i = Altura del piso i de la estructura.

Haciendo un pequeño repaso de lo antes mencionado, el cálculo del periodo de diseño T_D o también llamado periodo efectivo se basa en la rigidez efectiva mínima o secante del sistema de aislamiento k_{Dmin} , esto se ha determinado haciendo pruebas en laboratorios a dispositivos individuales, así mismo se ha calculado el área mínima del bucle E_D que viene a ser la amortiguación efectiva del aislador. El uso de la rigidez efectiva mínima y el amortiguamiento efectivo produce alargamiento del periodo efectivo o de diseño y por ende hay un mayor desplazamiento del sistema, para mejor comprensión de lo descrito se presenta la figura 5.1, que relaciona la capacidad del sistema de aislamiento y la demanda del sismo.

FIGURA 5.1 Capacidad del sistema de aislamiento y demanda del sismo

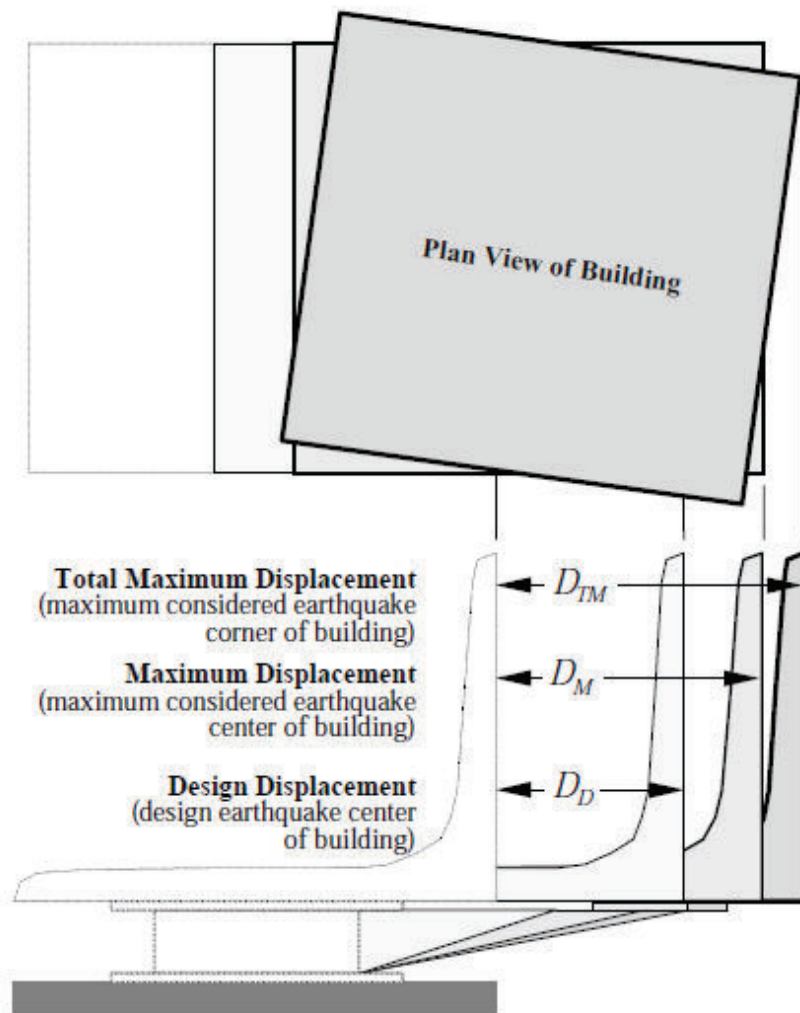


Fuente: (FEMA-451, 2006)

El desplazamiento de diseño D_D y el desplazamiento máximo D_M , representan desplazamientos en el centro de masa del sistema de aislación despreciando los desplazamientos ocurridos por excentricidad o torsión accidental. En pruebas realizadas en laboratorios se aprecia un aumento del desplazamiento de los dispositivos colocados en las esquinas producidas por el 5% de la excentricidad de la masa, donde en edificios de planta cuadrada los desplazamientos pueden llegar hasta el 15% y hasta el 30% si el edificio es alargado en planta (FEMA-451, 2006).

En la figura 5.2, se aprecia el desplazamiento de diseño D_D , el desplazamiento máximo D_M , en el centro de masa del edificio, y el desplazamiento total máximo D_{TM} en las esquinas de un edificio con sistema de aislación.

FIGURA 5.2 Desplazamiento de diseño, máximo y desplazamiento máximo total



Fuente: (FEMA-451, 2006)

5.4 ANÁLISIS DE RESPUESTA ESPECTRAL

Mientras que el método estático equivalente es útil para un prediseño preliminar del sistema de aislamiento, en el análisis de respuesta espectral se considera la flexibilidad de la superestructura y la participación de sus modos de vibración en la respuesta global de la estructura. (Aguar *et al.*, 2008).

El análisis de respuesta espectral nos permite conocer con más claridad las características dinámicas del sistema de aislamiento, presentando algunas ventajas como las que se presentan a continuación:

1. Mejor distribución espacial de las unidades de aislamiento.
2. Calcular con mayor precisión los desplazamientos en ambas direcciones horizontales producidos por la torsión accidental por encima del sistema de aislamiento.
3. A ayuda a evaluar las fuerzas de volcamiento de los aisladores, para los efectos de carga vertical y carga bilateral.

Las disposiciones antes mencionadas alientan al uso de los análisis dinámicos, pero también hay que reconocer que para modelos muy complicados hay mayores probabilidades de error en el diseño. Para evitar en lo posible estos errores las disposiciones del FEMA - 450 (2003) establece límites para el análisis dinámico. Los límites distinguen entre el análisis de la respuesta espectral y el análisis de historia en el tiempo, en todos los casos, el límite inferior en el análisis dinámico es establecido como un porcentaje del parámetro de diseño correspondiente calculado utilizando el procedimiento de la fuerza lateral equivalente, en la Tabla 5.3, se presenta un resumen de criterios mínimos.

TABLA 5.3 Resumen de los criterios mínimos de diseño para análisis dinámico

Parámetros de diseño	Respuesta espectral	Tiempo historia
Desplazamiento total de diseño D_{TD}	90% D_{TD}	90% D_{TD}
Desplazamiento total máximo D_{TM}	80% D_{TM}	80% D_{TM}
Fuerza de diseño del sistema de aislación V_b	90% V_b	90% V_b
Fuerza de diseño de la superestructura irregular V_S	100% V_S	80% V_S
Fuerza de diseño de la superestructura regular V_S	80% V_S	60% V_S

Fuente: (FEMA-451, 2006)

Para determinar el desplazamiento total de diseño y el desplazamiento máximo de diseño, se utilizara el 100% del espectro de diseño aplicado en una dirección y el 30% aplicado en la otra dirección ortogonal.

5.4.1 DESPLAZAMIENTOS DE DISEÑO

Los límites estipulados en la tabla 5.3, se deben evaluar usando los valores de D_{TD} y D_{TM} determinado de acuerdo a lo especificado en la sección 5.3 de esta tesis, excepto que D'_D se puede usar en lugar de D_D y D'_M se puede usar en lugar de D_M , donde D'_D y D'_M se calculan con las ecuaciones siguientes:

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_D}\right)^2}} \quad (5.10)$$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \quad (5.11)$$

Donde:

T = Es el período de la superestructura con base fija y comportamiento elástico.

D_D = Desplazamiento de diseño.

D_M = Desplazamiento máximo.

T_D = Período efectivo de la estructura al desplazamiento de diseño en la dirección considerada.

T_M = Período efectivo de la estructura al desplazamiento máximo en la dirección considerada.

5.4.2 ESPECTRO DE RESPUESTA

El espectro de diseño para el máximo sismo considerado no debe ser tomado como menos que 1.5 veces el espectro de respuesta para el sismo de diseño.

5.4.3 ESCALAMIENTO DE LOS ESPECTRO DE RESPUESTA

Para cada par de movimientos horizontales debe crearse un espectro de respuesta de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS en inglés) con 5% de la

respuesta amortiguada. El espectro SRSS promedio en todas las direcciones no debe ser menor de 1.3 veces el correspondiente espectro de diseño.

El factor de escala se determina entre $0.5T_D$ y $1.25T_M$, según la sección 13.3.2 del FEMA - 450 (2003), el promedio de los espectros de respuestas, calculados haciendo uso del método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS), no debe ser menor que el 10% del espectro de diseño multiplicado por 1.3, en los respectivos periodos.

5.4.4 DERIVA DE PISO

Las derivas de piso se calculan igual como nos indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción con la única aclaración que el FEMA-450 (2003) recomienda; cuando se utilice el método estático de la fuerza lateral equivalente y el método dinámico de espectro de respuesta las derivas no deben ser mayor a **0.015**, y cuando se utilice el método de respuesta en el tiempo las derivas no deben ser mayor a **0.020**.

CAPÍTULO 6

PARÁMETROS DEL MODELO BILINEAL, CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, CONTROL A CORTE DEL ESPESOR DE LA GOMA, CONTROL DE LA CARGA DE PANDEO Y DESPLAZAMIENTO CRÍTICO, DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO

Como explicamos en los capítulos anteriores la superestructura es mucho más rígida que el sistema de aislamiento y por ende esta se moverá como un cuerpo rígido y tendrá una respuesta lineal, por consiguiente los desplazamientos se darán en el sistema de aislamiento y estos tendrán respuestas y propiedades no lineales. Para el estudio y diseño no lineal de los aisladores sísmicos los investigadores han aceptado con gran acogida el modelo matemático bilineal, esto se debe a que caracteriza las propiedades mecánicas de los aisladores adecuadamente pero también a que es válido tanto para aisladores elastoméricos como para aisladores de fricción. (Mesa *et al.*, 2010).

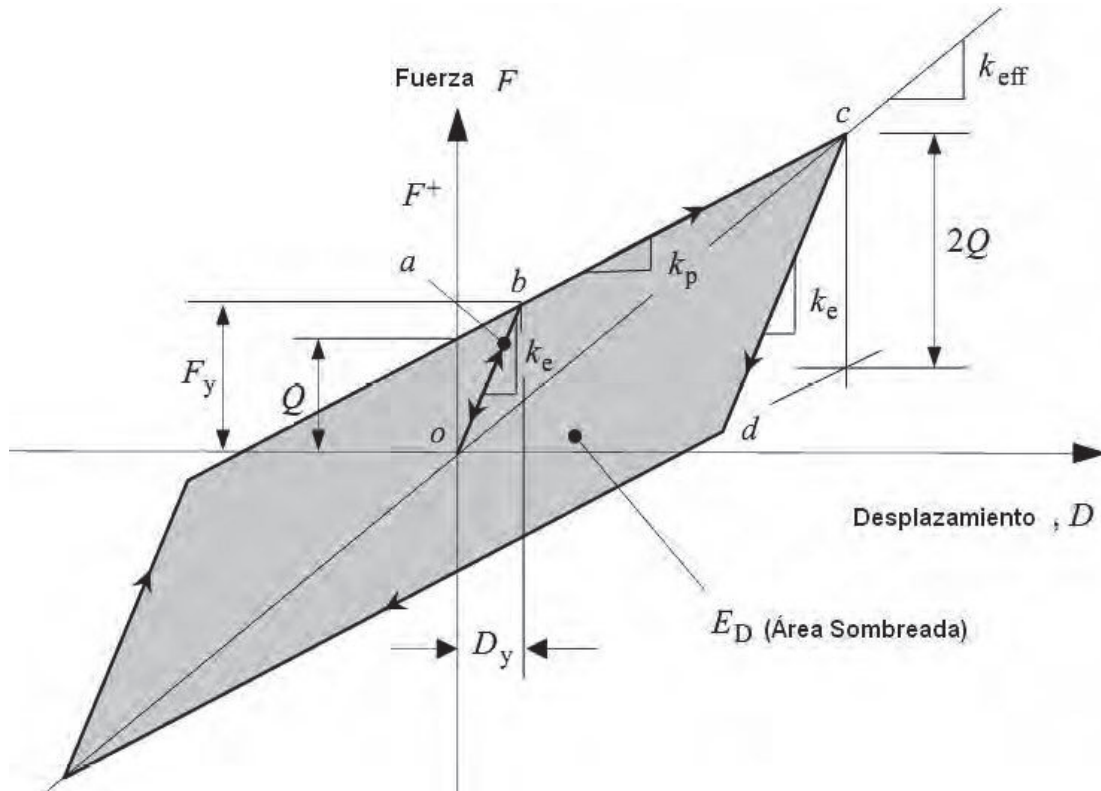
6.1 PARÁMETROS DEL MODELO BILINEAL PARA AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NUCLEO DE PLOMO

El modelo bilineal es usado para expresar la relación de la fuerza cortante y el desplazamiento lateral en la figura 6.1, se pueden apreciar los tres parámetros más importantes los cuales son:

- Rigidez elástica k_e
- Rigidez post fluencia k_p
- Fuerza característica Q

Para Farzad & James M (1999) estos tres parámetros reflejan adecuadamente las características mecánicas de los aisladores y suministran una estimación satisfactoria del comportamiento no lineal de un aislador.

FIGURA 6.1 Parámetros principales del modelo bilineal



Fuente: (Mesa *et al.*, 2010)

“Cuando una fuerza cortante se comienza a aplicar al aislador, se da una relación lineal entre el cortante y el desplazamiento lateral, expresada por oa , una vez que el cortante llega al punto b comienza la fluencia en el aislador, más allá del punto b se dan grandes desplazamientos con pequeños incrementos en el cortante, su rigidez está definida como Rigidez post fluencia k_p . Si la descarga inicia en el punto c , la trayectoria de descarga no es la previa sino sigue la trayectoria cd que tiene la misma rigidez inicial de oa . El valor de cortante de cd es igual a $2F_y$, donde F_y es la fuerza de fluencia, más allá del punto d , la trayectoria de descarga es paralela a bc con la misma magnitud de k_p .” (Mesa *et al.*, 2010)

Según Farzad *et al.*, 1999, la rigidez elástica k_e se estima en los laboratorios por medio de curvas de apoyos elastoméricos o como un múltiplo de la rigidez post fluencia k_p , para apoyos con núcleo de plomo Q está dado por el esfuerzo de fluencia del plomo por el área del plomo.

La rigidez efectiva o rigidez secante k_{eff} , está definida por la línea secante del valor pico en la curva de histéresis y es una cantidad dependiente del desplazamiento, la podemos definir por la siguiente ecuación:

$$k_{eff} = k_p + \frac{Q}{D} \quad (6.1)$$

Donde:

k_p = Rigidez post fluencia.

Q = Fuerza característica.

D = Desplazamiento correspondiente.

De la ecuación anterior podemos obtener el desplazamiento de fluencia D_y el cual algunos investigadores asumen este valor igual a 1pulg, en nuestro trabajo este valor se puede obtener con la siguiente expresión:

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \quad (6.2)$$

Donde:

k_e = Rigidez elástica.

k_p = Rigidez post fluencia.

Q = Fuerza característica.

La fuerza de fluencia F_y cuando el aislador comienza a trabajar en el rango no lineal, se produce por el desplazamiento de fluencia, se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$F_y = Q + k_p D_y \quad (6.3)$$

Donde:

Q = Fuerza característica.

k_p = Rigidez post fluencia.

D_y = Desplazamiento de fluencia.

La energía disipada por ciclo E_D es considerada como el área del ciclo de histéresis y se puede calcular por la siguiente expresión:

$$E_D = 4Q(D - D_y) \quad (6.4)$$

Donde:

Q = Fuerza característica.

D = Desplazamiento lateral correspondiente.

D_y = Desplazamiento de fluencia.

Para estructuras con el sistema de aislación lo importante es incrementar el amortiguamiento efectivo β_{eff} está dado por la siguiente ecuación:

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi k_{eff} D^2} \quad (6.5)$$

Donde:

E_D = Energía disipada por cada ciclo.

D = Desplazamiento lateral correspondiente.

k_{eff} = Rigidez efectiva.

En los cálculos prácticos de diseño, la rigidez efectiva y el amortiguamiento efectivo son determinados en el desplazamiento de diseño D_D y en el desplazamiento máximo D_M .

6.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO

Para Mesa *et al.*, 2010, la fuerza característica “Q” de los aisladores con núcleo de plomo es controlada principalmente por la fuerza cortante del núcleo de plomo, el cortante de fluencia ocurre en el núcleo de plomo a bajos niveles de esfuerzo cortante, sin embargo, el comportamiento histerético del aislador es bastante estable inclusive cuando éste es sometido a muchos ciclos de carga.

La fuerza característica **Q** se la puede obtener con la siguiente ecuación:

$$Q = A_p \tau_y \quad (6.6)$$

Donde:

A_p = Área de la sección transversal del plomo.

τ_y = Esfuerzo de fluencia del plomo a nivel de fluencia.

También podemos calcular la rigidez post fluencia k_p con la siguiente ecuación:

$$k_p = \frac{AG}{H_r} \quad (6.7)$$

Donde:

A = Área de la sección transversal del aislador que trabaja a corte.

G = Modulo cortante de la goma.

H_r = Sumatoria de la altura de la goma del aislador.

La rigidez elástica k_e es un poco difícil de calcular por lo que se sugiere que la rigidez elástica sea x veces la rigidez post fluencia y se la puede calcular cuando se utilizan catálogos de proveedores con la siguiente ecuación:

$$k_e = x k_p \quad (6.8)$$

Donde:

x = Valor que fluctúa según los catálogos de los fabricantes entre 6.5 y 10.

k_p = Rigidez post fluencia.

En cambio si se hace un diseño específico de un aislador se puede calcular la rigidez elástica por medio de la siguiente expresión:

$$k_e = \frac{F_y}{D_y} \quad (6.8.A)$$

Donde:

F_y = Fuerza de fluencia en el rango no lineal

D_y = Desplazamiento de fluencia.

En base a la ecuación anterior se puede calcular el desplazamiento de fluencia D_y reemplazando los valores en la ecuación 6.2 obtenemos la siguiente expresión:

$$D_y = \frac{Q}{(X - 1)k_p} \quad (6.9)$$

Donde:

Q = Fuerza característica.

k_p = Rigidez post fluencia.

Otra rigidez importante en los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo es la rigidez vertical k_v que esta expresada como EI por analogía con la teoría de la viga (Farzad *et al.*, 1999).

$$k_v = \frac{AE_c}{H_r} \quad (6.10)$$

Donde:

A = Área de la sección transversal de la goma.

E_c = Módulo de compresión instantánea del compuesto de caucho – acero.

H_r = Sumatoria de la altura de la goma del aislador.

El módulo de compresión E_c está controlado por un factor de forma, para aisladores circulares con o sin núcleo de plomo se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{De^2 - Di^2}{4De t_r} \quad (6.11)$$

Donde:

D_e = Diámetro exterior de la goma.

D_i = Diámetro interior o diámetro del plomo.

t_r = Espesor de cada lámina de goma.

Para calcular el módulo de compresión de la goma existen varias formas, en este trabajo se utilizara lo recomendado por los autores I. Kalpakidis, M. C. Constantinou, A. Filiatrault, & R. A. Ecker Lay (2011), para el valor del módulo volumétrico K se aconseja utilizar un valor promedio de **20000 kg/cm²**.

$$E_c = 6GKS^2 \quad (6.12)$$

Donde:

G = Modulo cortante de la goma.

S = Factor de forma.

K = Módulo de compresibilidad de la goma.

También es recomendable calcular la frecuencia vertical del aislador con la única condición que $f_v > 14Hz$, la cual se puede calcular por la siguiente expresión:

$$f_v = \sqrt{6} \cdot S \cdot f_h \quad (6.13)$$

Donde:

S = Factor de forma.

f_h = Frecuencia horizontal $f_h = 0.4Hz$.

Por otra parte también se puede calcular la altura total de la goma H_r con la siguiente ecuación:

$$Hr = \frac{D_M}{\gamma_S} \quad (6.14)$$

Donde:

D_M = Desplazamiento máximo.

γ_S = Deformación angular de corte máximo

El número de capas de goma n se lo puede calcular con la siguiente expresión:

$$n = \frac{Hr}{t_r} \quad (6.15)$$

Donde:

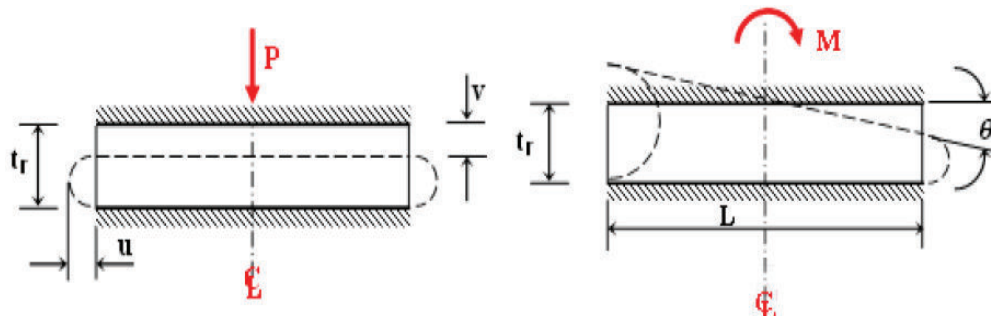
H_r = Altura total de la goma.

t_r = Espesor de cada lámina de goma.

6.3 CONTROL DEL ESPESOR DE LA GOMA DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO

Para calcular el espesor de la goma de los aisladores elastoméricos se utilizará las recomendaciones de Constantinou (2011), como se indica en la figura 6.2, se presenta una goma elastomérica de espesor t_r que ha sufrido un desplazamiento vertical v , un desplazamiento horizontal u , y un giro θ , producto del momento M y la carga axial P .

FIGURA 6.2 Cargas, desplazamientos y giros en la goma de un aislador



Fuente: (Aguar, Microzonificación Sísmica de Quito, 2013)

Constantinou (2011), recomienda que una vez realizado el análisis sísmico del sistema de aislación y se han determinado fuerzas, momentos, desplazamientos y giros en los nudos en cada uno de los aisladores, para las combinaciones que estipula el NEC-2015, se procede a calcular el área reducida A_r que está definida por la superposición, entre la parte superior y el fondo de la goma del elastómero la cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$A_r = A \left(\frac{\delta - \text{sen}\delta}{\pi} \right) \quad (6.16)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_i^2) \quad (6.17)$$

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{u}{D_e} \right) \quad (6.18)$$

Donde:

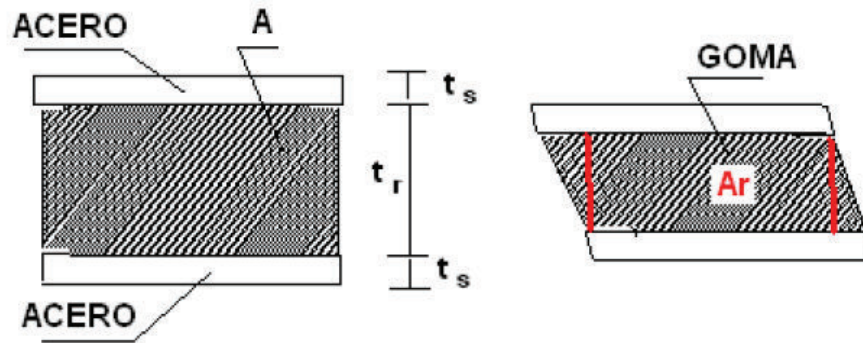
A = Área de la sección de la goma.

D_e = Diámetro exterior de la goma.

D_i = Diámetro del plomo.

En la figura 6.3, se puede apreciar las variables antes mencionadas.

FIGURA 6.3 Área reducida de la goma de un aislador



Fuente: (Aguilar, Microzonificación Sísmica de Quito, 2013)

Calculada el área reducida se procede a calcular las: deformaciones angulares por compresión γ_c , deformaciones angulares por rotación θ , deformaciones angulares por desplazamiento horizontal γ_s .

Las deformaciones angulares por compresión ocurren cuando actúa la carga axial última P_u y se obtiene con la siguiente expresión:

$$\gamma_c = \frac{P_u}{A_r G S} f_1 \leq 3.5 \quad (6.19)$$

Donde:

P_u = Carga última axial.

A_r = Área reducida de la goma.

G = Módulo cortante de la goma.

S = Factor de forma.

f_1 = Factor de compresión propuesto por Constantinou (2011).

Se debe verificar que $\gamma_c \leq 3.5$ únicamente para el estado de cargas verticales, sin sismo. Con sismo γ_c puede ser mayor a 3.5, más adelante se indicará todos los controles que debe satisfacer. El factor f_1 se indica en la Tabla 6.1, donde S es el factor de forma, k es el módulo volumétrico de la goma y G el módulo de corte de la goma.

TABLA 6.1 Valores de f_1 para aisladores circulares

S	k/G			
	2000	4000	6000	∞
5.00	1.02	1.01	1.01	1.00
7.50	1.05	1.03	1.02	1.00
10.00	1.10	1.05	1.03	1.00
12.50	1.15	1.08	1.05	1.00
15.00	1.20	1.11	1.07	1.00
17.50	1.27	1.14	1.10	1.00
20.00	1.34	1.18	1.13	1.00
22.50	1.41	1.23	1.16	1.00
25.00	1.49	1.27	1.19	1.00
27.50	1.57	1.32	1.23	1.00
30.00	1.66	1.37	1.26	1.00

Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

Con la siguiente ecuación se calcula la deformación angular por rotación.

$$\gamma_r = \frac{D_e^2 \theta}{H_r t_r} f_2 \quad (6.20)$$

Donde:

D_e = Diámetro exterior de la goma.

θ = Rotación del aislador antes cargas verticales.

H_r = Altura total de la goma.

t_r = Espesor de cada lámina de goma.

f_2 = Factor por rotación propuesto por Constantinou (2011).

El factor que afecta la deformación angular por rotación se presenta en la tabla 6.2, propuesta por Constantinou (2011).

TABLA 6.2 Valores de f_2 para un aislador circular

S	k/G			
	2000	4000	6000	∞
5.00	0.37	0.37	0.37	0.37
7.50	0.36	0.36	0.37	0.37
10.00	0.34	0.36	0.36	0.37
12.50	0.33	0.35	0.36	0.37
15.00	0.32	0.34	0.35	0.37
17.50	0.30	0.33	0.34	0.37
20.00	0.28	0.32	0.33	0.37
22.50	0.27	0.31	0.32	0.37
25.00	0.25	0.29	0.32	0.37
27.50	0.24	0.28	0.31	0.37
30.00	0.23	0.27	0.30	0.37

Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

Finalmente la deformación angular por corte se calcula con la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \frac{\Delta}{H_r} \quad (6.21)$$

Donde:

Δ = Desplazamiento lateral.

H_r = Altura total de la goma.

Para tener un buen comportamiento de la goma, se debe verificar si el espesor asumido es el correcto, cumpliendo con los siguientes estados de carga y las recomendaciones propuestas por Constantinou (2011), presentamos la tabla 6.3.

TABLA 6.3 Control para el espesor de la goma

Estado de carga	Control
$1.2D + 1.6L$	$\gamma_c + \gamma_r + \gamma_s < 6$
$1.2D + 0.5L + 1.0S_{SD}$	$\gamma_c + \frac{1}{2}\gamma_r + \gamma_s < 7$
$1.2D + 0.25L + 1.0S_{SMC}$	$\gamma_c + \frac{1}{4}\gamma_r + \gamma_s < 9$

6.4 CONTROL DE CARGAS DE PANDEO

En los aisladores elastoméricos se comprueba su estabilidad tanto en su forma no deformada como en su forma deformada, para calcular la carga crítica de pandeo en su forma no deformada se obtiene con la siguiente ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi\sqrt{\lambda}GSAr}{H_r} \quad (6.22)$$

Donde:

- $\lambda = 2$ Para aisladores circulares.
- $G =$ Modulo cortante de la goma.
- $S =$ Factor de forma.
- $A =$ Área de la sección de la goma.
- $r =$ Radio de giro.
- $H_r =$ Altura total de la goma.

El radio de giro se calcula de la siguiente expresión:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (6.23)$$

Donde:

- $I =$ Momento de inercia del aislador.
- $A =$ Área de la sección de la goma.

Para aisladores con o sin núcleos de plomos se tiene la expresión más detallada y se la puede calcular con la siguiente ecuación:

$$P_{cr} = 0.2181 \frac{GD_e^4 \left(1 - \frac{D_i}{D_e}\right) \left(1 - \frac{D_i^2}{D_e^2}\right)}{t_r H_r \left(1 + \frac{D_i^2}{D_e^2}\right)} \quad (6.24)$$

Cuando el aislador está sometido a una carga lateral la carga crítica de pandeo se la obtiene de la siguiente ecuación:

$$P'_{cr} = P_{cr} \frac{A_r}{A} \quad (6.25)$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica en posición no deformada.

A_r = Área reducida de la goma.

A = Área de la sección de la goma.

Para un buen desempeño sísmico y poder controlar el desplazamiento lateral de los aisladores, se debe verificar la siguiente expresión:

$$P'_{cr} > 0.15P_{cr} \quad (6.26)$$

Para tener un factor de seguridad para cargas verticales se debe verificar la siguiente ecuación:

$$\frac{P'_{cr}}{P_U} > 2 \quad (6.27)$$

Para tener un factor de seguridad para cargas verticales más el sismo máximo considerado se debe verificar la siguiente ecuación:

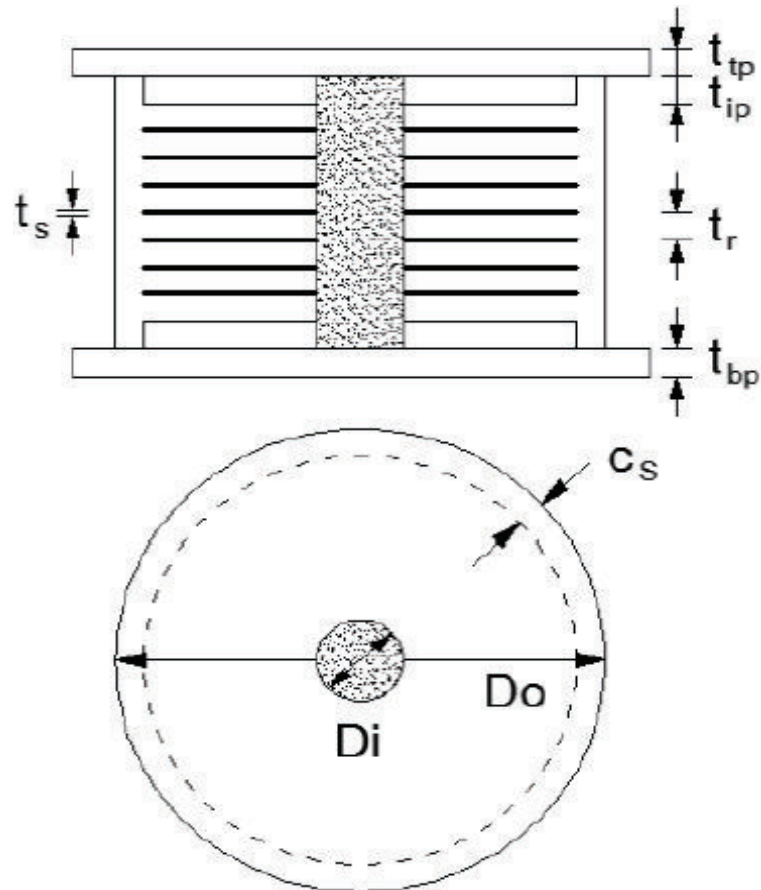
$$\frac{P'_{cr}}{P_U} > 1.1 \quad (6.28)$$

6.5 DISEÑO DE LAS PLACAS EXTERIORES

Para el diseño de las placas exteriores tenemos que tener en cuenta que dichas placas consisten en una placa interior y una placa exterior de montaje unido mediante pernos avellanados, estos pernos tienen gran resistencia al corte por

cizalladura por lo que las dos placas antes mencionadas trabajan como si fueran un elemento compuesto, en la figura 6.4, podemos observar un esquema de la parte interna de un aislador elastómero con núcleo de plomo.

FIGURA 6.4 Esquema interno de un aislador con núcleo de plomo



Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

El método del área reducida propuesto por DeWolf y Ricker (2000), consiste en remplazar al aislador por una columna rectangular equivalente, con dimensiones $0.75 * b * L$ donde las variables se definen con las siguientes expresiones.

$$b = \frac{A_r}{L} \quad (6.29)$$

$$L = D_0 - 2C_s \quad (6.30)$$

Dónde:

A_r = Área reducida de la goma.

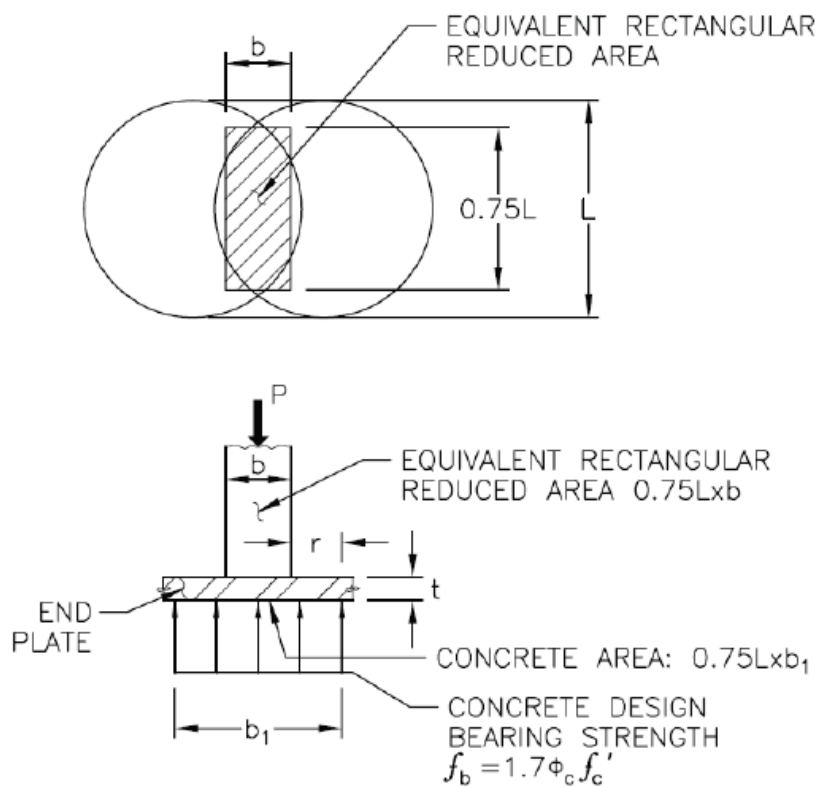
L = Longitud de la placa cuadrada.

D_0 = Diámetro externo (sin descontar el diámetro del núcleo de plomo).

C_s = Recubrimiento de la goma.

Utilizando el método del área reducida, como una columna equivalente mostrada en la figura 6.5, se definen las siguientes ecuaciones.

FIGURA 6.5 Método del área reducida



Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

Placa superior

$$t = t_{tp} + t_{ip} \quad (6.31)$$

Placa inferior

$$t = t_{bp} + t_{ip} \quad (6.32)$$

Donde:

t_{tp} = Espesor de la placa metálica superior.

t_{bp} = Espesor de la placa metálica inferior.

t_{ip} = Espesor de la placa metálica interna, embebida en el aislador.

El espesor de la placa t queda definido por medio de la siguiente ecuación:

$$t \geq \sqrt{\frac{4M_U}{\phi_b F_y}} \quad (6.33)$$

Donde:

M_U = Momento flector último de la placa.

ϕ_b = Factor de minoración de esfuerzo.

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

Cabe recalcar que el factor de minoración de esfuerzo ϕ_b , se considera un valor para el sismo de diseño **SDI = 0.09** y para el sismo máximo considerado **SMC = 1.00**.

Para calcular el momento flector último de la placa de acero se utiliza las siguientes expresiones:

$$f_b = 1.7\phi_c f'_c \quad (6.34)$$

$$r = \frac{b_1 - b}{2} \quad (6.35)$$

$$b_1 = \frac{Pu}{0.75L f_b} \quad (6.36)$$

$$M_U = \frac{f_b r^2}{2} \quad (6.37)$$

Donde:

f_b = Esfuerzo de la placa.

ϕ_c = Factor de minoración de esfuerzo.

f'_c = Resistencia del hormigón a compresión.

r = Brazo de palanca.

P_u = Carga axial ultima que llega al aislador utilizando las combinaciones de la tabla 6.3.

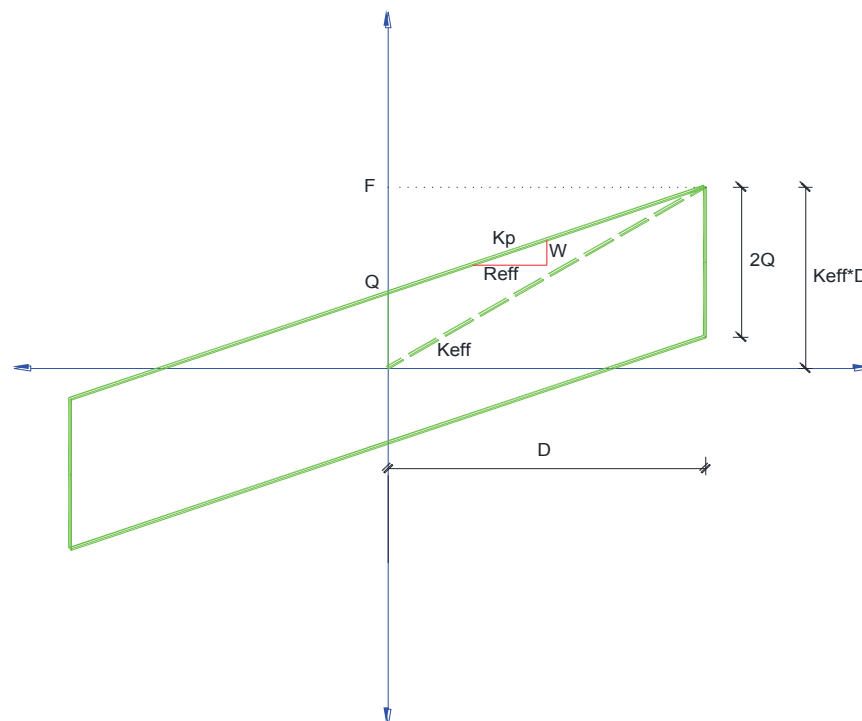
El factor de minoración de esfuerzo ϕ_c , se considera un valor para el sismo de diseño **$SDI = 0.65$** y para el sismo máximo considerado **$SMC = 1.00$** .

CAPÍTULO 7

PARÁMETROS DEL MODELO BILINEAL CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DEL AISLADOR DE PÉNDULO DE FRICCIÓN CON SIMPLE CURVATURA (FPS)

En la mayoría de los sistemas de aislación sísmica y en especial los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y los aisladores de péndulo de fricción con simple curvatura, pueden ser representados por un modelo bilineal descrito en el capítulo anterior, por tal razón dichos parámetros se verán a continuación aplicando e interpolando los conceptos básicos de fricción.

FIGURA 7.1 Parámetros del modelo bilineal de un péndulo de fricción



Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

Elaborado por: Erik Villavicencio

7.1 PARÁMETROS DEL MODELO BILINEAL PARA AISLADORES DE PÉNDULO DE FRICCIÓN CON SIMPLE CURVATURA

La fuerza característica Q que utiliza el sistema de péndulo de fricción esta expresado por la siguiente ecuación:

$$Q = \mu W \quad (7.1)$$

Donde:

μ = Coeficiente de fricción.

W = Fuerza axial aplicada sobre el aislador.

El coeficiente de fricción dinámico μ que está relacionado con la velocidad de deslizamiento ha sido ampliamente estudiado por (Constantinou, 2004), la misma que se obtiene:

$$\mu = \mu_{max} - (\mu_{max} - \mu_{min})e^{-a|v|} \quad (7.2)$$

Donde:

μ_{max} = Coeficiente de fricción máximo.

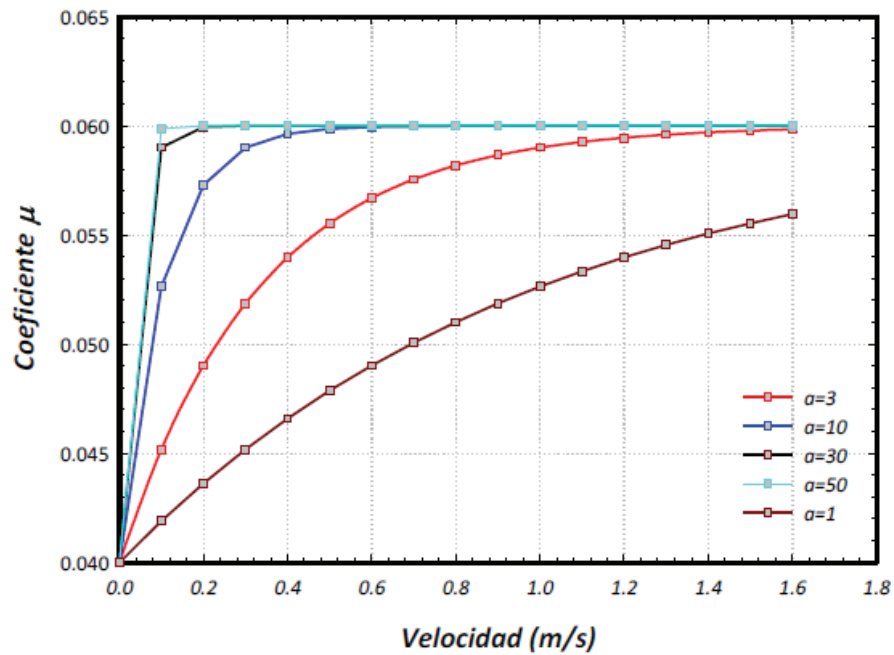
μ_{min} = Coeficiente de fricción mínimo.

a = Parámetro de ajuste obtenido experimentalmente entre μ_{min} y μ_{max}

v = Velocidad del aislador al deslizamiento.

En la figura 7.2, se puede apreciar la variación del coeficiente de fricción μ para diferentes valores de a , también en la figura 7.3, se presentan los coeficientes estáticos y dinámicos recomendados por Lozano, (2010), para el uso adecuado del coeficiente de fricción.

FIGURA 7.2 Efecto del parámetro de ajuste a en la transición de u



Fuente: (Lozano, 2010)

FIGURA 7.3 Coeficientes de fricción

<i>Materiales en contacto</i>	μ (<i>Dinámico</i>)	μ (<i>Estático</i>)
<i>Acero- Teflón</i>	0,04	0,04
<i>Teflón -Teflón</i>	0,04	0,04
<i>Acero-Acero</i>	0,15	0,09
<i>Caucho-Cemento (húmedo)</i>	0,3	0,25
<i>Acero-Latón</i>	0,5	0,4
<i>Caucho-Cemento (seco)</i>	1	0,8
<i>Cobre-Hierro (fundido)</i>	1,1	0,3

Fuente: (Lozano, 2010)

La fuerza máxima F esperada por un ciclo de histéresis se obtiene con la siguiente ecuación:

$$F = Q + \frac{W}{R_{eff}} D_D \quad (7.3)$$

Donde:

Q = Fuerza característica.

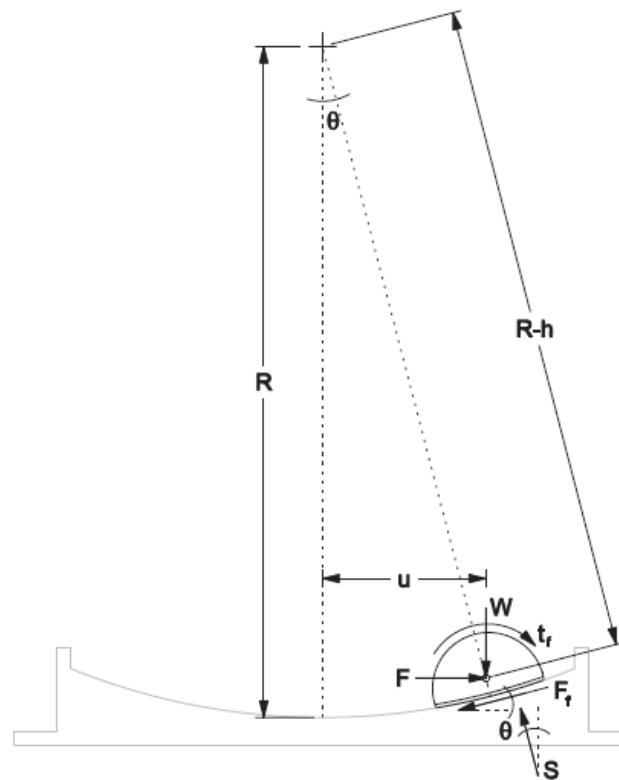
W = Carga axial que llega al aislador.

D_D = Desplazamiento de diseño del aislador.

R_{eff} = Radio efectivo de curvatura.

Para entender mejor el concepto del radio efectivo se presenta la siguiente figura.

FIGURA 7.4 Diagrama de cuerpo libre del aislador en su configuración deformada



Fuente: (Fenz & Constantinou, 2008)

El radio efectivo de curvatura R_{eff} se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$R_{eff} = R - h \quad (7.4)$$

Donde:

R = Radio de curvatura.

h = Altura de la placa cóncava.

Como sabemos en los primeros instantes los aisladores comienzan a trabajar en el rango lineal, con una rigidez elástica k_e la cual se la obtiene con la siguiente expresión:

$$k_e = \frac{Q}{D_y} \quad (7.5)$$

Donde:

Q = Fuerza característica.

D_y = Desplazamiento de fluencia.

Finalmente cuando la fuerza actuante del sismo supera la fuerza característica, en ese instante de tiempo el aislador ingresa a trabajar en el rango no lineal con una rigidez post fluencia k_p la cual se la obtiene con la siguiente ecuación:

$$k_p = \frac{W}{R} \quad (7.6)$$

Donde:

W = Carga axial sobre el aislador.

R = Radio de curvatura.

Tomando en cuenta lo antes mencionado se calcula el desplazamiento de fluencia D_y aplicando la siguiente expresión:

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \quad (7.7)$$

Donde:

Q = Fuerza característica.

k_e = Rigidez elástica.

k_p = Rigidez post fluencia.

Haciendo algunas sustituciones algebraicas de las ecuaciones mencionadas anteriormente podemos calcular la rigidez secante o rigidez efectiva k_{eff} con la siguiente ecuación:

$$k_{eff} = \frac{W}{R_{eff}} + \frac{\mu W}{D_D} \quad (7.8)$$

Donde:

W = Carga axial que llega al aislador.

R_{eff} = Radio de curvatura.

μ = Coeficiente de fricción.

D_D = Desplazamiento de diseño.

El área dentro de la curva de histéresis que no es otra cosa que la energía disipada por el aislador E_D , se puede calcular con la siguiente expresión:

$$E_D = 4Q(D_D - D_y) \approx 4QD_D = 4\mu WD_D \quad (7.9)$$

Donde:

μ = Coeficiente de fricción.

W = Carga axial que llega al aislador.

D_D = Desplazamiento de diseño.

La energía elástica E_L del aislador se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$E_L = \frac{k_{eff} D_D^2}{2} \quad (7.10)$$

Donde:

k_{eff} = Rigidez secante o efectiva.

D_D = Desplazamiento de diseño.

Si se sustituye las ecuaciones de la energía disipada versus la energía elástica del aislador, se obtiene el amortiguamiento efectivo β_{eff} , el cual lo podemos obtener por medio de la siguiente ecuación:

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \left(\frac{\mu}{\mu + \frac{D_D}{R_{eff}}} \right) \quad (7.11)$$

Donde:

μ = Coeficiente de fricción

k_{eff} = Rigidez secante o efectiva.

D_D = Desplazamiento de diseño.

7.2 CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DEL AISLADOR DE PÉNDULO DE FRICCIÓN CON SIMPLE CURVATURA

Como sabemos los aisladores de péndulo de fricción trabajan como péndulo invertido, por lo que el periodo de vibración depende directamente del radio de curvatura de la superficie del aislador.

Estos dispositivos disipan energía por medio de la fricción que se produce entre la superficie cóncava y el deslizador, al mismo tiempo esta crea una fuerza de restauración debida a la carga axial que llega a los aisladores. (Aguiar *et al.*, 2008).

Algo muy importante que hay que mencionar es que estos tipos de aisladores por su forma y su construcción en acero no presentan problemas de estabilidad. Por lo antes mencionado se calcula el periodo de diseño con la siguiente ecuación:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (7.12)$$

Donde:

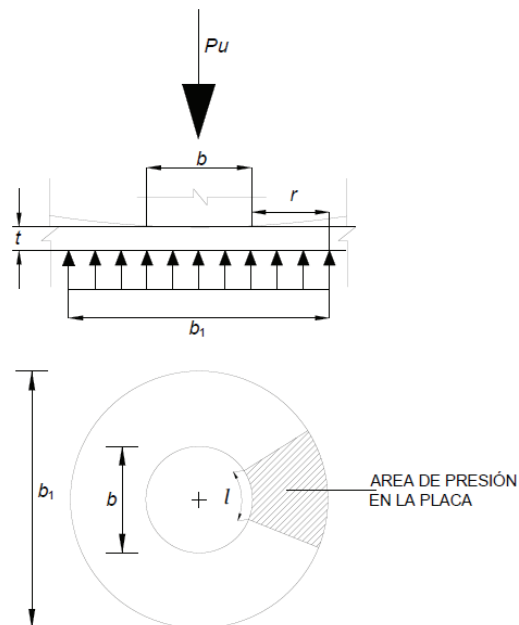
R = Radio de curvatura.

g = Aceleración de la gravedad.

7.2.1 ESPESOR DE LA PLACA EN EL CENTRO Y PLACA EN LATERALES

El procedimiento para calcular la capacidad y verificar el espesor de las placas en el centro y las laterales es el mismo que el utilizado en los aisladores elastomérico, se utiliza método del área reducida, mostrada en la figura 7.5.

FIGURA 7.5 Método de la columna equivalente



Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

El método del área reducida consiste en emplear una columna equivalente sometida a una carga axial Pu utilizando las combinaciones descritas en la tabla 6.3, cabe mencionar que se diseñan dos tipos de espesores, el espesor de la placa del centro de diseño cuando no hay desplazamiento lateral y otro espesor cuando existe desplazamiento lateral, formando estos dos espesores el radio de curvatura del aislador, para el cálculo de la **placa del centro t** se utilizan las siguientes expresiones:

$$t \geq \sqrt{\frac{4M_U}{\phi_b F_y}} \quad (7.13)$$

$$f_b = 1.7\phi_c f'_c \quad (7.14)$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{4Pu}{\pi f_b}} \quad (7.15)$$

$$r = \frac{b_1 - b}{2} \quad (7.16)$$

$$M_U = \frac{f_b r^2}{2} + \frac{f_b r^2}{3} \left(\frac{b_1}{b} - 1 \right) \quad (7.17)$$

Donde:

M_U = Momento flector último de la placa.

ϕ_b = Factor de minoración de esfuerzo.

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero

f_b = Esfuerzo de la placa.

ϕ_c = Factor de minoración de esfuerzo.

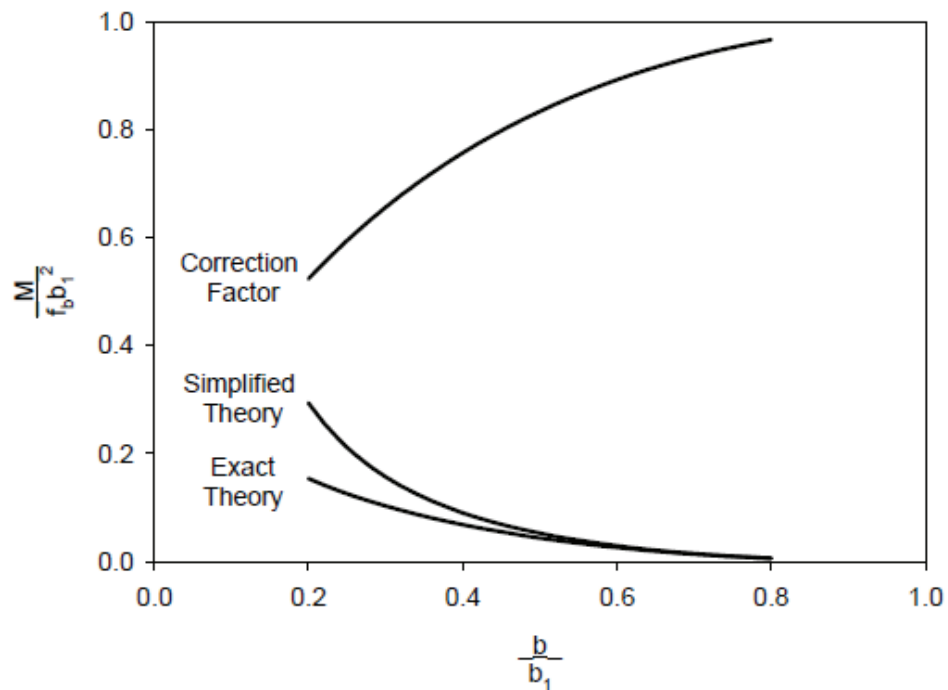
f'_c = Resistencia del hormigón a compresión.

r = Brazo de palanca.

Pu = Carga axial última que llega al aislador.

La ecuación que calcula el momento flector de la placa es una simplificación que es válida para pequeños valores de la relación del brazo r con respecto al diámetro del deslizador b , por tal razón (Constantinou *et al.*, 2011), propone unas curvas para corregir este pequeño error, simplemente basta con ingresar el valor de la relación b/b_1 a la curva mostrada en la figura 7.6, y se halla un valor de corrección, el cual multiplica al momento ultimo hallado a la ecuación 7.17.

FIGURA 7.6 Curva de corrección del momento último.



Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

La ecuación exacta para calcular el M_u recomendada por (Constantinou *et al.*, 2011), se presenta a continuación:

$$M_{U_{exact}} = f_b b_1^2 \left(\frac{(1+v) \ln \frac{b_1}{b} - \frac{1+3v}{4} + \frac{1-v}{4} \left(\frac{b}{b_1}\right)^4 + v \left(\frac{b}{b_1}\right)^2}{8(1+v) + 8(1-v) \left(\frac{b}{b_1}\right)^2} \right) \quad (7.18)$$

Donde:

b_1 = Diámetro del aislador.

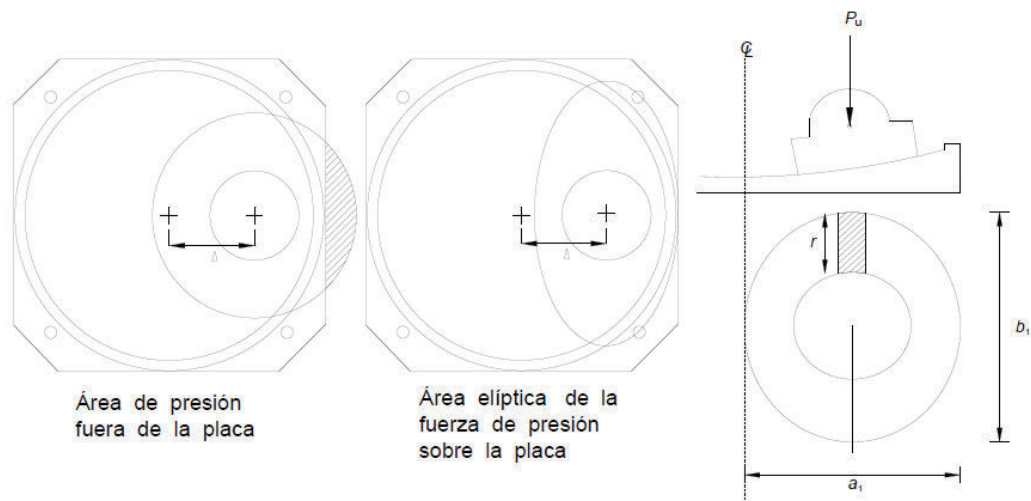
b = Diámetro del deslizador.

ν = Coeficiente de poisson.

Para determinar las placas de borde se debe sumar el **50%** del desplazamiento lateral producidos por cargas verticales más el desplazamiento lateral producido por el sismo de diseño **SDI**, o el **25%** del desplazamiento lateral producido por las cargas verticales más el desplazamiento lateral producido por el sismo máximo considerado **SMC**.

En la figura 7.7, se presenta los parámetros y variable para calcular el espesor lateral de la placa, donde a_1 eje menor de la elipse, b_1 eje mayor.

FIGURA 7.7 Diagrama de las placas laterales



Fuente: (Aguilar, Vergara, Guaygua, & Monge, 2014)

Para calcular las placas de borde se utilizan las mismas ecuaciones que sirven para calcular la placa del centro incluyendo en factor de corrección de momento, con la única diferencia es que tienen que hallarse los ejes de la elipse con las siguientes expresiones.

$$a_1 = 2 \left(\frac{L}{2} - D \right) \quad (7.19)$$

$$b_1 = \frac{4Pu}{a_1 f_b \pi} \quad (7.20)$$

Donde:

D = Desplazamiento esperado.

El factor de minoración de esfuerzo ϕ_b , se considera un valor para el sismo de diseño **$SDI = 0.09$** y para el sismo máximo considerado **$SMC = 1.00$** . El factor de minoración de esfuerzo ϕ_c , se considera un valor para el sismo de diseño **$SDI = 0.65$** y para el sismo máximo considerado **$SMC = 1.00$** .

En la figura 7.5 se puede observar que se llamo b_1 al diámetro del aislador y b al diámetro del deslizador, (Constantinou *et al.*, 2011), recomienda si $b_1 < b$ colocar el espesor mínimo de **1.5 in** para placas de acero.

7.2.2 DISEÑO DEL RODAMIENTO

Para el diseño de los rodamientos se necesita algunos valores que resultan del análisis estructural, como se puede observar en la siguiente tabla.

TABLA 7.1 Requerimiento para el diseño del rodamiento

Carga vertical (KIP)	Carga lateral (KIP)
$P_D = 1.2D + 1.6L$	$P_S = 1.2D + 0.5L + 1S_{SD}$
$\phi_{EL}, \phi_{ET} \quad \Delta_{EL}, \Delta_{ET}$	$\phi_{ELSD}, \phi_{ETSD} \quad \Delta_{ELSD}, \Delta_{ETSD}$

Donde:

ϕ_{EL} = Giro en radianes en sentido longitudinal.

ϕ_{ET} = Giro en radianes en sentido transversal.

Δ_{EL} = Desplazamiento en sentido lateral en pulgadas.

Δ_{ET} = Desplazamiento en sentido transversal en pulgadas.

ϕ_{ELSD} = Giro en radianes en sentido longitudinal.

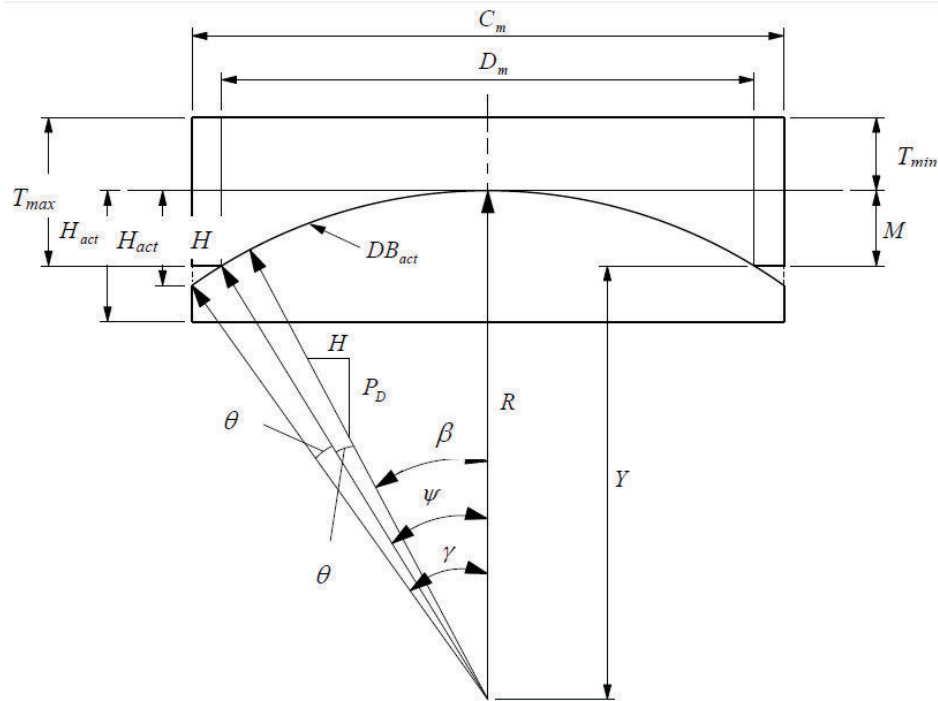
ϕ_{ETSD} = Giro en radianes en sentido transversal.

Δ_{ELSD} = Desplazamiento en sentido lateral por cargas sísmicas en pulgadas.

Δ_{ETSD} = Desplazamiento en sentido lateral por cargas sísmicas en pulgadas.

Con esta información se procede al cálculo de la geometría del rodamiento mostrada en la siguiente figura.

FIGURA 7.8 Definición de los parámetros geométricos de los rodamientos



Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

Para el cálculo del diámetro mínimo de la placa cóncava D_m se procede de acuerdo a la siguiente ecuación en pulgadas.

$$D_m = \sqrt{\frac{4P_D}{\pi\sigma_{SS}}} = \sqrt{\frac{4P_D}{\pi 6.50}} \quad (7.21)$$

Donde:

P_D = Carga axial ultima en KIP.

σ_{SS} = Esfuerzo promedio de tensión en ksi.

Seguidamente se calcula el área de superficie deslizamiento A_{PTFE} con la ecuación mostrada a continuación en pulgadas².

$$A_{PTFE} = \frac{P_D}{\sigma_{SS}} = \frac{P_D}{6.50} \quad (7.22)$$

Obtenido en valor del área de la superficie de deslizamiento se procede a calcular la dimensión en planta del rodamiento, antes debemos cumplir con la siguiente relación.

$$2.20 \leq \frac{P_D}{A_{PTFE}} \leq 4.30 \quad (7.23)$$

$$B = \sqrt{A_{PTFE}} \quad (7.24)$$

Donde:

B = La dimensión en planta del rodamiento.

Para calcular el radio de curvatura de nuestro aislador, tenemos algunas relaciones que cumplir con respecto a las cargas laterales máximas y las cargas verticales mínimas, las cuales se pueden calcular con las siguientes ecuaciones de acuerdo a las recomendaciones (Aguiar *et al.*, 2014).

$$P_{Hmax} = \mu \frac{P_D}{1.5} = 0.15 \frac{P_D}{1.5} \quad (7.25)$$

$$P_{Vmin} = \mu \frac{P_D}{1.5} = 0.50 \frac{P_D}{1.5} \quad (7.26)$$

$$\varphi \geq \tan^{-1} \left(\frac{P_{Hmax}}{P_{Vmin}} \right) + \theta_E \leq 35^\circ \quad (7.27)$$

Donde:

μ = Coeficiente de fricción para cargas sísmicas $\mu = 0.15$.

μ = Coeficiente de fricción para cargas verticales $\mu = 0.50$.

P_D = Carga axial última.

θ_E = El mayor de los dos giros encontrados en el estado de cargas verticales.

Calculamos un radio de curvatura aproximado mostrado en la figura 7.8, con la siguiente ecuación.

$$R = \frac{D_m}{2\sin(\varphi)} \leq 40 \quad (7.28)$$

A continuación calculamos el arco de la placa cóncava y otros parámetros geométricos para el diseño del rodamiento con las siguientes ecuaciones.

$$DB_{act} = 2R \sin^{-1} \left(\frac{D_m}{2R} \right) \quad (7.29)$$

$$Y = \left(\frac{DB_{act}}{2R} \right) + \theta_E \quad (7.30)$$

$$M_m = R \left[1 - \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{D_m}{2R} \right) \right) \right] + 0.09375 \quad (7.31)$$

Donde:

R = Radio de curvatura.

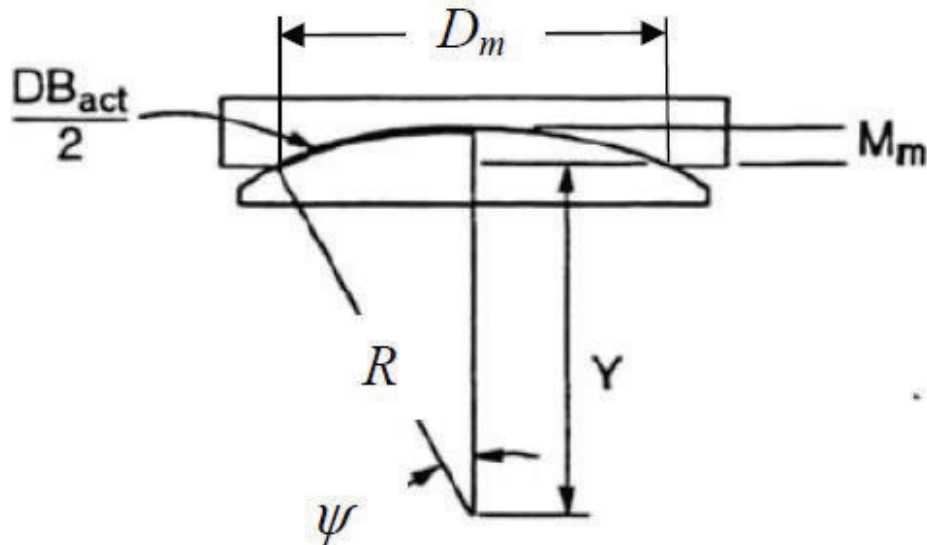
D_m = Diámetro mínimo de la placa cóncava.

DB_{act} = Arco de la placa cóncava.

M_m = Profundidad mínima del metal de la placa cóncava.

Para una mejor comprensión de las variables R, DB_{act}, Y, M_m , se presenta la siguiente figura.

FIGURA 7.9 Geometría del rodamiento



Fuente: (Constantinou *et al.*, 2011)

Cabe mencionar que las ecuaciones 7.28, 7.29, 7.30, 7.31 mencionadas anteriormente deben calcularse en unidades de pulg. Para el cálculo de espesores, longitudes y alturas mínimas se procede con las siguientes ecuaciones recomendada por (Constantinou *et al.*, 2011).

$$T_{min} = 0.75 \quad (7.32)$$

$$T_{max} = T_{min} + M_m \quad (7.33)$$

$$L_{cp} = D_m + 0.75 \text{ pulg} \quad (7.34)$$

$$C_m = 2R \sin(Y) = \quad (7.35)$$

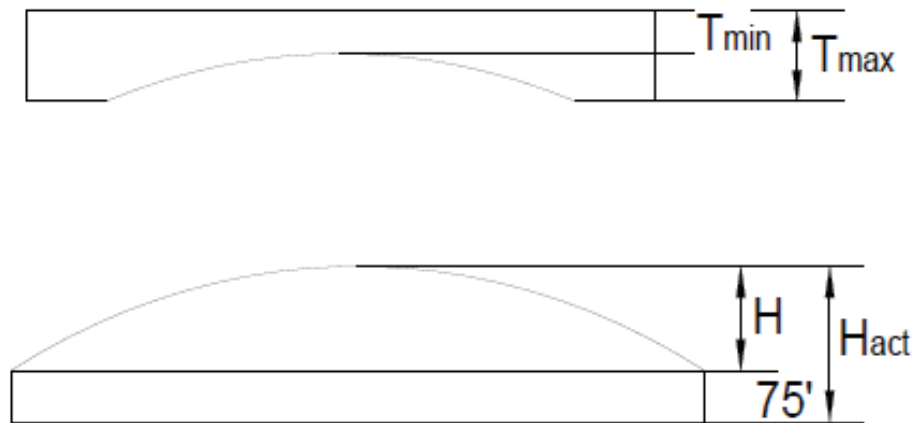
$$H = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{C_m}{2}\right)^2} \quad (7.36)$$

$$H_{act} = H + 0.75 \text{ pulg} \quad (7.37)$$

$$c = 0.70 L_{cp} \theta_E + 0.125 \quad (7.38)$$

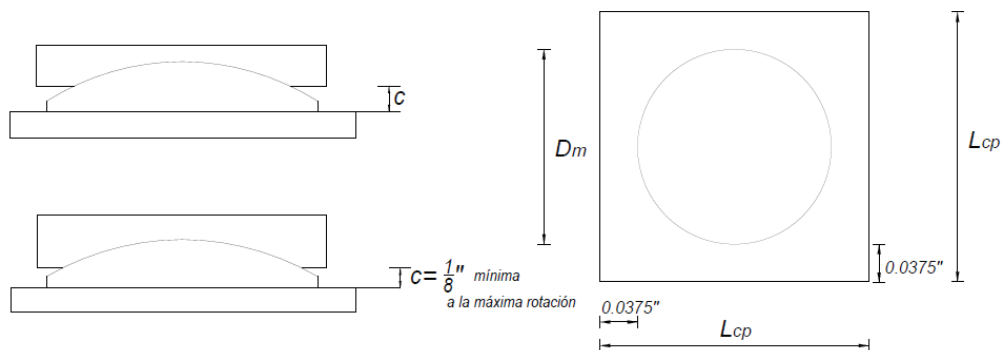
Para demostrar gráficamente el valor de todas las variables mencionadas anteriormente presentamos las siguientes figuras.

FIGURA 7.10 Dimensiones de la altura del rodamiento



Fuente: (Aguiar *et al.*, 2014)

FIGURA 7.11 Longitud de la placa cóncava y dimensiones vertical



Fuente: (Aguiar *et al.*, 2014)

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN

Empleando los fundamentos y principios de la teoría de aislación sísmica descrita en los capítulos anteriores y realizando procesos iterativos se procederá a definir, dimensiones, características y propiedades mecánicas, de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y aisladores simple de péndulo de fricción (FPS). A continuación se presenta en forma de tabla los datos generales de la estructura y del sistema de aislación, para los edificios aporticados y con muros de corte.

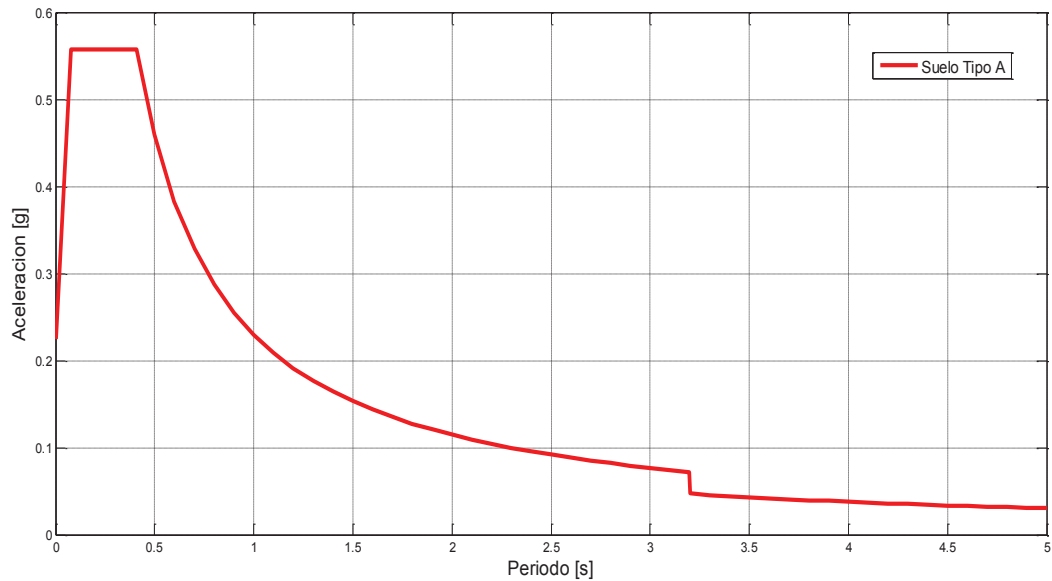
TABLA 8.1 Datos generales de la estructura y del sistema de aislación para el edificio aporticado, y edificio con muros de corte

DATOS DE LA ESTRUCTURA		
Peso Sísmico edificio aporticado (W)	7397.77	Ton
Peso Sísmico edificio con muros de corte (W)	7728.11	Ton
Dimensión Corta en Planta (b)	20.00	m
Dimensión Larga en Planta (d)	30.00	m
Distancia al elemento más lejano (y)	15.00	m
Excentricidad (5%)	1.50	m
DATOS DEL SISTEMA DE AISLACION		
Numero de Aisladores	30.00	u
Aceleración Espectral de Diseño (SD1)	0.50	g
Aceleración Espectral Máxima (SM1)	0.75	g
Factor de Resistencia Sísmica (R)	2.00	
Amortiguamiento Efectivo (<i>Beff</i>)	30%	
Coefficiente de Amortiguamiento (BD=BM)	1.7	
Desplazamiento de Diseño (DD)	0.29	m
Desplazamiento Total de Diseño (DTD)	0.35	m
Desplazamiento Máximo (DM)	0.44	m
Desplazamiento Total Máximo (DTM)	0.53	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

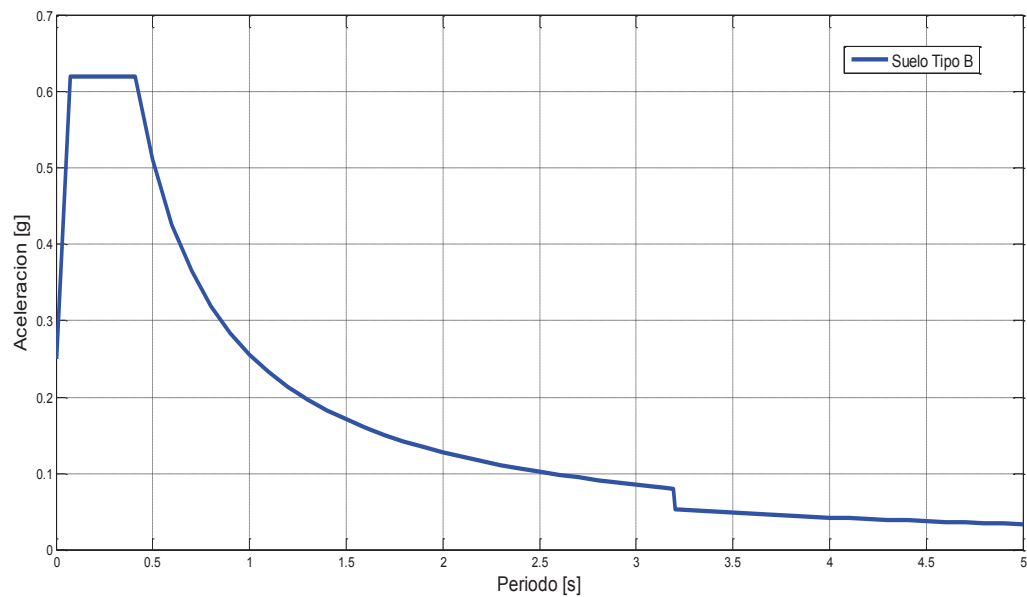
8.1 ESPECTROS REDUCIDOS PARA EL ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL DE LOS EDIFICIOS AISLADOS LRB - FPS

FIGURA 8.1 Espectro reducido suelo tipo A

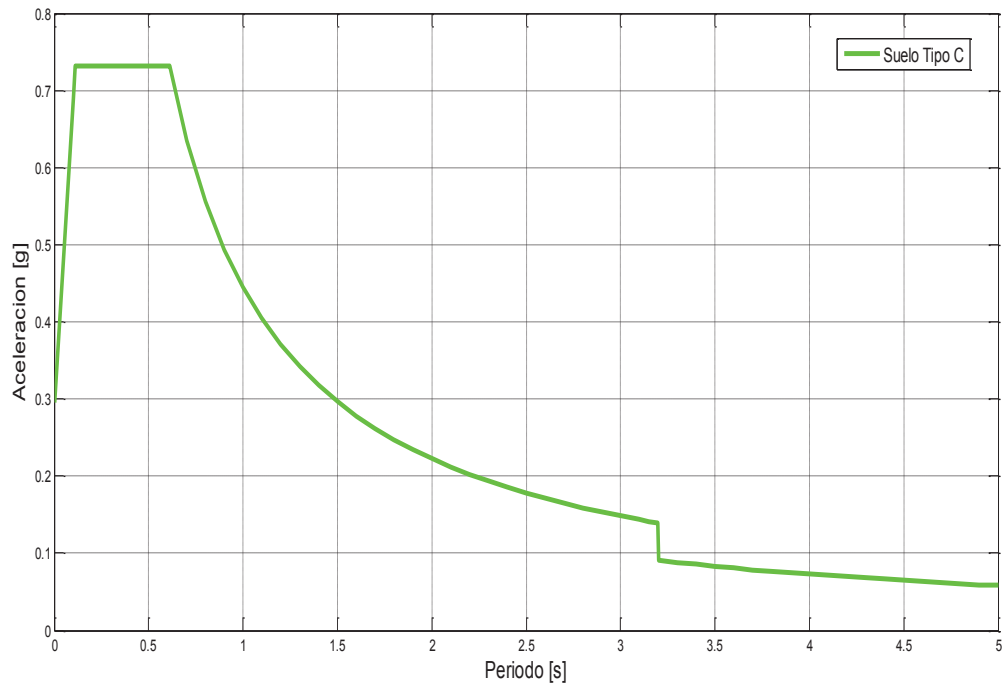


Elaborado por: Erik Villavicencio

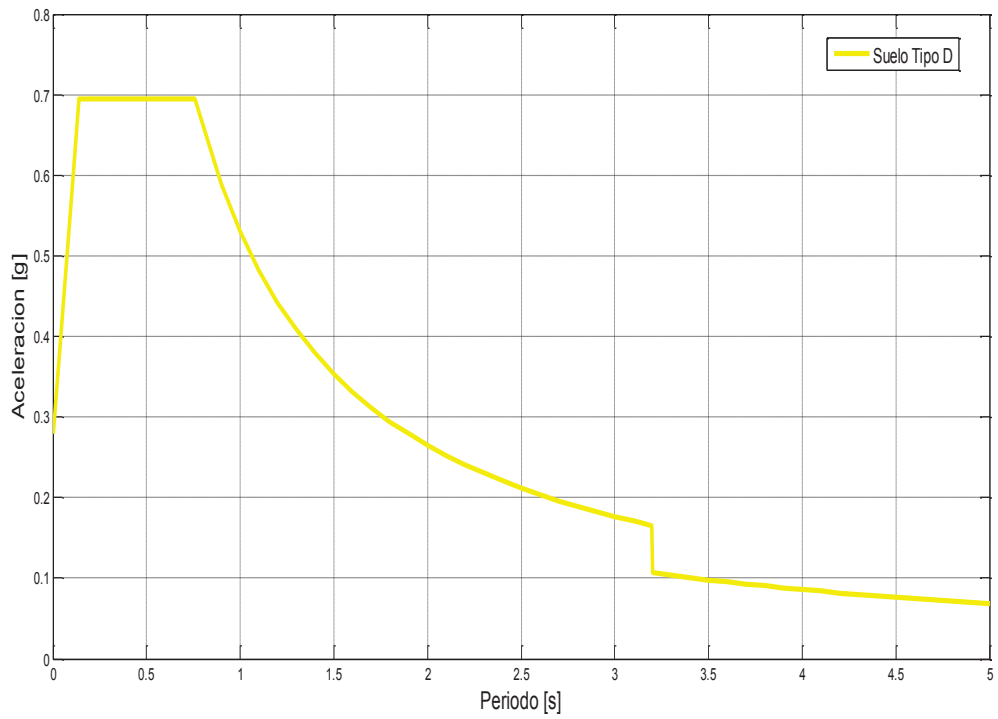
FIGURA 8.2 Espectro reducido suelo tipo B



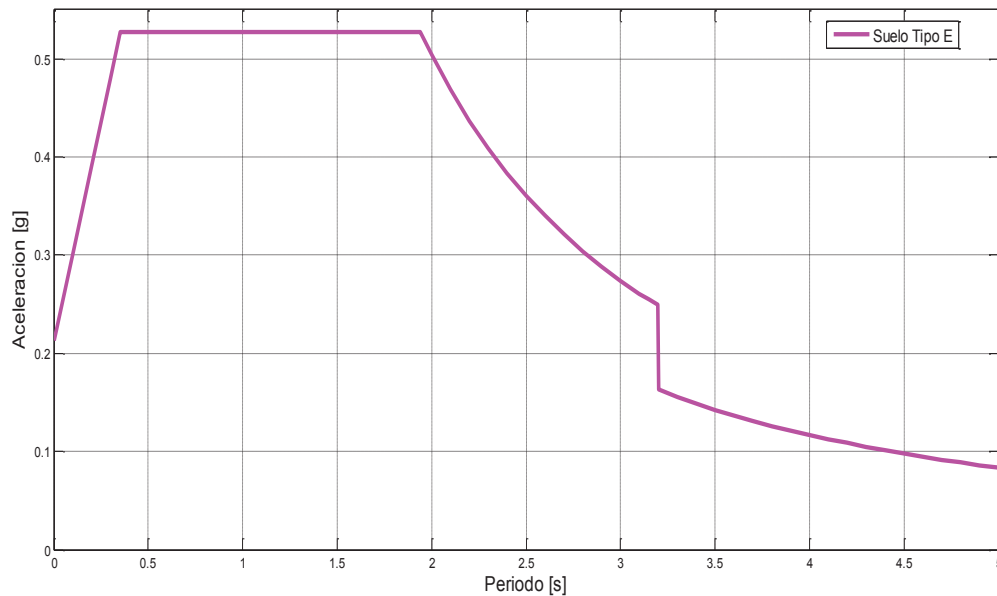
Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.3 Espectro reducido suelo tipo C

Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.4 Espectro reducido suelo tipo D

Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.5 Espectro reducido suelo tipo E

Elaborado por: Erik Villavicencio

Para calcular el espectro reducido primeramente se calcula el espectro elástico de diseño que propone la norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, dicho espectro se divide para el factor de resistencia que propone el FEMA-450, para **estructuras aisladas** independientemente de su configuración estructura **R=2**, previamente se ha realizado una serie de cálculos y de iteraciones y obtiene un amortiguamiento efectivo real que va a tener nuestra estructura aislada, con este valor de amortiguamiento se calcula el factor de reducción con la ecuación 8.1, propuesta por (Fenz & Constantinou, 2008)

$$\beta = \left(\frac{\beta_{eff}}{0.05} \right)^{0.03} \quad (8.1)$$

Donde:

β_{eff} = Amortiguamiento efectivo.

Constantinou *et al.*, (2008) recomiendan dividir el espectro elástico antes mencionado para el factor de reducción cuando $T = 0.80T_D$, ya que a partir de este valor van a estar periodos fundamentales del sistema de aislación.

8.2 AISLADORES SÍSMICOS ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO LRB

Para el análisis de los edificios con aislamiento se consideran los mismos edificios aporticados y con muros de corte, con sus mismas características, materiales, resistencias y secciones de elementos como, vigas, columnas y losa analizadas en el capítulo 3, y así poder investigar cómo influyen los aisladores en, edificios flexibles versus edificios rígidos, y así poder comparar con los edificios empotrados.

A continuación se presenta como modo de ejemplo la metodología empleada paso a paso utilizada en esta investigación, en el análisis y diseño de los aisladores del edificio aporticado cimentado en el suelo tipo A, para los otros edificios aporticados y con muros de corte, presentaran los cálculos resumidos en tablas.

8.2.1 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO A CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

Datos generales

Peso sísmico del edificio **$W = 7397.77 \text{ ton}$**

Dimensión corta en planta **$b = 20\text{m}$**

Dimensión larga en planta **$d = 30\text{m}$**

Distancia al elemento estructural más lejano **$y = 15\text{m}$**

Numero de aisladores a colocar **$N_o = 30u$**

Aceleración espectral de diseño **$SD1 = 0.50\text{g}$**

Aceleración espectral máxima **$SM1 = 0.75\text{g}$**

Factor de resistencia **$R = 2$**

Amortiguamiento efectivo asumido **$B_{eff} = 30\%$**

Coefficiente de amortiguamiento **$BD = BM = 1.70$**

Periodo objetivo **$T = 4.00\text{seg}$**

Con los datos generales antes mencionados se procede a calcular los siguientes desplazamientos admisibles.

Desplazamiento de diseño

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_{D1} T_D}{B_D}$$

$$D_D = \left(\frac{981}{4\pi^2} \right) \frac{0.50 \times 4.00}{1.7} = 29 \text{ cm}$$

Desplazamiento total de diseño

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

$$D_{TD} = 0.29 \left[1 + 15 \left(\frac{12 \times 1.50}{20^2 + 30^2} \right) \right] = 0.35 \text{ m} = 35 \text{ cm}$$

Desplazamiento máximo

$$D_M = \left(\frac{S_{M1}}{S_{D1}} \right) D_D$$

$$D_M = \left(\frac{0.75}{0.50} \right) 29 = 44 \text{ cm}$$

Desplazamiento total máximo

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

$$D_{TM} = 0.44 \left[1 + 15 \left(\frac{12 \times 1.50}{20^2 + 30^2} \right) \right] = 0.53 \text{ m} = 53 \text{ cm}$$

Teniendo calculado todos los desplazamientos admisibles que puede soportar nuestro sistema de aislación, se procede a calcular la rigidez horizontal mínima del sistema de aislación, esta rigidez muchas veces es considerada rigidez efectiva.

Rigidez horizontal del sistema de aislación

$$k_{Hmin} = \frac{4\pi^2 \cdot W}{T_D^2 \cdot g}$$

$$k_{Hmin} = \frac{4\pi^2 7397.77}{4.00^2 \times 9.81^2} = 1860.68 \text{Ton/m}$$

A continuación se procede a calcular de modo aproximado la energía disipada en el primer ciclo histerético, sin antes recordar que el desplazamiento de fluencia del plomo es aproximadamente $D_y = 2.5\text{cm}$ y este valor es tomado como referencia por muchos investigadores a nivel mundial, con el valor aproximado de la energía disipada y el desplazamiento de fluencia se puede calcular una primera aproximación de la fuerza característica como se muestra a continuación.

Energía disipada aproximada del sistema de aislación

$$E_D = 2\pi k_{Hmin} D_D^2 \beta_{eff}$$

$$E_D = 2\pi(1860.68 \times 0.29^2) \times 0.30 = 294.96 \text{Ton} - \text{m}$$

Fuerza característica aproximada de sistema de aislación

$$Q = \frac{E_D}{4(D_D - D_y)}$$

$$Q = \frac{294.96}{4(0.29 - 0.025)} = 278.27 \text{Ton}$$

A continuación se procede a calcular en forma iterativa las dimensiones de nuestro aislador, para esto dividimos la fuerza característica aproximada del sistema de aislación para el número de aisladores a instalarse, en nuestro edificio necesitamos 30 aisladores.

Fuerza característica aproximada de un aislador

$$Q_i = \frac{Q}{No\ aisl}$$

$$Q_i = \frac{278.27}{30} = 9.27Ton = 9270kg$$

Seguidamente se calcula de manera aproximada el diámetro del núcleo de plomo, para esto se toma un esfuerzo de corte del plomo de 80 kg/cm². También se procede de forma aproximada a calcular el área de la goma del aislador, teniendo en cuenta la carga vertical de diseño que soporta el aislador más cargado, en nuestro caso la carga vertical $P_u = 1.2C_m + 1.6C_v = 512000kg$, este valor lo dividimos para el esfuerzo a admisible a la compresión del caucho es cual es:

$$\sigma_{ac} = 90kg/cm^2$$

Área de plomo aproximada del aislador

$$A_{pi} = \frac{Q_i}{\tau_y}$$

$$A_{pi} = \frac{9270}{80} = 115.87cm^2$$

Área aproximada de la goma del aislador

$$A = \frac{P_u}{\sigma_c}$$

$$A = \frac{512000}{90} = 5688.89cm^2$$

Finalmente después de algunas iteraciones tenemos los diámetros finales del aislador son:

Diámetro interior o diámetro del plomo $D_i = 10cm$

Diámetro exterior o diámetro del aislador $D_e = 75cm$

Área final de la goma de aislador

$$A = \frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)}{4}$$

$$A = \frac{\pi[(75)^2 - (10)^2]}{4} = 4339.32cm^2$$

A continuación se calcula la altura aproximada de la goma del aislador, en función del desplazamiento de diseño y la deformación angular de corte máximo de la goma, en nuestros aisladores se utilizó una deformación máxima de 100%.

$$Hr = \frac{D_D}{\gamma_s}$$

$$Hr = \frac{29}{100\%} = 29cm$$

Asumimos un espesor de las capas de goma $t_r = 5mm = 0.50cm$

Asumimos un espesor de las capas de acero $t_s = 2mm = 0.20cm$

Numero de capas de goma aproximada

$$n = \frac{H_r}{t_r}$$

$$n = \frac{29}{0.50} = 58u$$

Cabe mencionar que el número de capas de goma se pueden modificar a criterio del proyectista, ya que están influyen en el desplazamiento, estabilidad y altura del aislador.

Finalmente después de varias iteraciones se asume 65 capas de caucho, la altura definitiva de la goma del aislador se la calcula de la siguiente manera:

$$Hr = n \cdot t_r$$

$$Hr = 65 \times 0.50 = 32.5 \text{ cm}$$

Altura de la goma junto a las láminas de aceros

$$h = Hr + (n - 1)ts$$

$$h = 32.5 + (65 - 1)0.20 = 45.30 \text{ cm}$$

Altura total del aislador incluyendo el espesor de las placas de soporte

$$H = h + 2t$$

$$H = 45.30 + 2 \times 3.8 = 52.90 \text{ cm}$$

Teniendo calculado las dimensiones del aislador seguidamente se procede a calcular los parámetros y propiedades bilineales que definen nuestro diagrama de histéresis.

Anteriormente ya definimos el diámetro definitivo del plomo de un solo aislador, por lo que procedemos a calcular la fuerza característica definitiva del aislador.

Fuerza característica final

$$Q = A_p \tau_y$$

$$Q = 78.54 \times 80 = 6283.2 \text{ kg}$$

Rigidez pos-fluencia del aislador

$$k_p = \frac{AG}{Hr}$$

$$k_p = \frac{4339.32 \times 3}{32.5} = 400.5 \text{ kg/cm}$$

Módulo de corte de la goma asumido $G = 3 \text{ kg/cm}^2$

Fuerza de fluencia del aislador

$$F_y = Q + k_p D_y$$

$$F_y = 6283.2 + 400.50 \times 2.5 = 7284.49 \text{ kg}$$

Rigidez elástica del aislador

$$k_e = \frac{F_y}{D_y}$$

$$k_e = \frac{7284.49}{2.5} = 2913.80 \text{ kg/cm}$$

Rigidez efectiva del aislador

$$k_{eff} = k_p + \frac{Q}{D_D}$$

$$k_{eff} = 2913.80 + \frac{6283.20}{29} = 617.16 \text{ kg/cm}$$

Rigidez vertical del aislador

Para el cálculo de la rigidez vertical del aislador es necesario conocer el módulo de compresión de la goma, este a la vez está en función del módulo de corte de la goma, el modulo volumétrico de la goma (se asumen un valor de $K=20000 \text{ kg/cm}^2$) y el factor de forma de la goma para mejor entendimiento se procede al cálculo respectivo de la rigidez vertical de la siguiente manera.

Factor de forma del aislador

$$S = \frac{D_e^2 - D_i^2}{4D_e t_r}$$

$$S = \frac{(75)^2 - (10)^2}{4 \times 75 \times 0.5} = 36.83$$

Módulo de compresión de la goma junto a las láminas de acero

$$E_c = 6GKS^2$$

$$E_c = 6 * 3 * 20000 * 36.83^2 = 488321604.00 \text{ kg}^2/\text{cm}^2$$

Chequeo de la frecuencia vertical

$$f_v = \sqrt{6} \cdot S \cdot f_h$$

$$f_v = \sqrt{6} \times 36.83 \times 0.25 \text{ Hz} = 22.56 \text{ Hz}$$

$$f_v \geq 14 \text{ Hz}$$

$$22.56\text{Hz} \geq 14\text{Hz} \quad \text{ok}$$

Rigidez vertical del aislador

$$k_v = \frac{A \cdot E_c}{Hr}$$

$$k_v = \frac{4339.32 \times 488321604.00}{32.5} = 65199498543.68 \text{kg/cm}$$

Calculo de la energía disipada en el primer ciclo

$$E_D = 4Q(D_D - D_y)$$

$$E_D = 4 \times 6283.2(29 - 2.5) = 666019.20 \text{kg} - \text{cm}$$

Amortiguamiento real del aislador

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi k_{eff} D_D^2}$$

$$\beta_{eff} = \frac{666019.20}{2\pi \times 617.16 \times 29^2} = 0.20\%$$

Después de haber calculado todos los parámetros que influyen en el análisis del aislador, procedemos a verificar el periodo objetivo impuesto teórico versus el periodo real calculado de la estructura, previamente se multiplico la rigidez efectiva de un aislador por el número de aisladores que va a estar conformado el sistema de aislación en nuestro caso son 30 aisladores

Verificación periodo objetivo del sistema de aislación

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{eff} \cdot g}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{7397.77}{1851.64 \times 9.80}} = 4.00 \text{ seg}$$

Teniendo definido las dimensiones finales y parámetros bi-lineales se procede a realizar los respectivos chequeos por: deformación por compresión, deformación angular por rotación, deformación angular por corte, comprobación del espesor de la placa Shim y comprobación de pandeo, para los estados de carga descritos en la tabla 6.3.

Comprobación por cargas ultimas

Datos obtenidos en el análisis estructural

Desplazamiento lateral por carga vertical $\mu = 0.10 \text{ cm}$

Giro por carga vertical $\theta = 0.000177 \text{ rad}$

Carga ultima $P_u = 512000 \text{ kg}$

Comprobación del espesor de la goma

Calculo del área reducida

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{\mu}{D_e} \right)$$

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{0.10}{75} \right) = 3.1389$$

$$A_r = A \left(\frac{\delta - \text{sen} \delta}{\pi} \right)$$

$$A_r = 4339.33 \left(\frac{3.1389 - \text{sen}(3.1389)}{\pi} \right) = 4331.89 \text{ cm}^2$$

Deformación por compresión

$$\gamma_c = \frac{Pu}{ArGS} f_1 \leq 3.50$$

$$\gamma_c = \frac{512000}{4331.89 \times 3.00 \times 36.83} 1.00 = 1.07 < 3.50$$

Deformación angular por rotación

$$\gamma_r = \frac{D_o^2(\theta_{st} + \theta)}{t_r H_r} f_2$$

$$\gamma_r = \frac{75^2(0.005 + 0.000177)}{0.50 \times 32.50} 0.50 = 0.896$$

Deformación angular por corte

$$\gamma_s = \frac{u}{H_r}$$

$$\gamma_s = \frac{0.10}{32.50} = 0.00308$$

Comprobación del espesor de la goma

$$\gamma_c + \gamma_r + \gamma_s < 6.00$$

$$1.07 + 0.896 + 0.0038 = 1.968 < 6.00$$

Comprobación del espesor de la placa Shim

$$t_s \geq \frac{3t_r}{1.08f_y \frac{Ar}{Pu} - 2}$$

$$ts = 2mm$$

$$2 \geq \frac{3 * 0.50}{1.08 * 2520 \frac{4331.89}{512000} - 2}$$

$$2mm \geq 0.71mm$$

El espesor $ts = 2.00mm$ que se asumió es el correcto

Comprobación del pandeo

$$P_{cr} = 0,218 \frac{GD_e^4 \left(1 - \frac{D_i}{D_e}\right) \left(1 - \frac{D_i^2}{D_e^2}\right)}{t_r H_r \left(1 + \frac{D_i^2}{D_e^2}\right)}$$

$$P_{cr} = 0,218 \frac{3.00 \times 75^4 \left(1 - \frac{10}{75}\right) \left(1 - \frac{10^2}{75^2}\right)}{0.50 \times 32.50 \left(1 + \frac{10^2}{75^2}\right)} = 1065070.42kg$$

$$P'_{cr} = P_{cr} \frac{A_r}{A}$$

$$P'_{cr} = 1065070.42 \frac{4331.89}{4339.32} = 1063246.75kg$$

Se chequea la siguiente ecuación

$$P'_{cr} > 0.15P_{cr}$$

$$1065070.42kg > 159760.53kg$$

Chequeamos el factor de volcamiento

$$\frac{P'_{cr}}{P_U} > 2$$

$$\frac{1063246.75}{512000} > 2$$

$$2.08 > 2$$

Comprobación por sismo de diseño

Datos obtenidos en el análisis estructural

Desplazamiento lateral por carga vertical más desplazamiento producido por el sismo de diseño $\mu = 0.10\text{cm} + 16.10\text{cm} = 16.20\text{cm}$

Carga ultima $P_u = 430306.80\text{kg}$

Cabe mencionar que (Aguiar *et al.*, 2011) recomienda para el cálculo de la deformación angular por rotación se verifique solo para el estado de cargas verticales.

Comprobación del espesor de la goma

Calculo del área reducida

$$\delta = 2\cos^{-1}\left(\frac{\mu}{D_e}\right)$$

$$\delta = 2\cos^{-1}\left(\frac{16.20}{75}\right) = 2.706\text{cm}$$

$$A_r = A\left(\frac{\delta - \text{sen}\delta}{\pi}\right)$$

$$A_r = 4339.33\left(\frac{2.706 - \text{sen}(2.706)}{\pi}\right) = 3155.271\text{cm}^2$$

Deformación por compresión

$$\gamma_c = \frac{P_u}{A_r G S} f_1$$

$$\gamma_c = \frac{430360.80}{3155.271 \times 3.00 \times 36.83} 1.00 = 1.234$$

Deformación angular por corte

$$\gamma_s = \frac{u}{H_r} =$$

$$\gamma_s = \frac{16.20}{32.50} = 0.498$$

Comprobación del espesor de la goma

$$\gamma_c + 0.50\gamma_r + \gamma_s < 7$$

$$1.234 + 0.249 + 0.498 = 2.18 < 7.00$$

Comprobación del espesor de la placa Shim

$$t_s \geq \frac{3t_r}{1.08f_y \frac{Ar}{Pu} - 2}$$

$$t_s = 2mm$$

$$2 \geq \frac{3 * 0.50}{1.08 * 2520 \frac{3155.271}{430306.80} - 2}$$

$$2mm \geq 0.835mm$$

El espesor $t_s = 2.00mm$ que se asumió es el correcto

Comprobación por sismo máximo considerado

Datos obtenidos en el análisis estructural

Desplazamiento lateral por carga vertical más desplazamiento producido por el sismo máximo considerado $\mu = 0.10\text{cm} + 21.50\text{cm} = 21.60\text{cm}$

Carga ultima $P_u = 411595.30\text{kg}$

Comprobación del espesor de la goma**Calculo del área reducida**

$$\delta = 2\cos^{-1}\left(\frac{\mu}{D_e}\right)$$

$$\delta = 2\cos^{-1}\left(\frac{21.60}{75}\right) = 2.557\text{cm}$$

$$A_r = A\left(\frac{\delta - \text{sen}\delta}{\pi}\right)$$

$$A_r = 4339.33\left(\frac{2.557 - \text{sen}(2.557)}{\pi}\right) = 2770.404\text{cm}^2$$

Deformación por compresión

$$\gamma_c = \frac{P_u}{A_r G S} f_1$$

$$\gamma_c = \frac{411595.30}{2770.404 \times 3.00 \times 36.83} 1.00 = 1.345$$

Deformación angular por corte

$$\gamma_s = \frac{u}{H_r} =$$

$$\gamma_s = \frac{21.60}{32.50} = 0.665$$

Comprobación del espesor de la goma

$$\gamma_c + 0.25\gamma_r + \gamma_s < 9$$

$$1.345 + 0.224 + 0.665 = 2.234 < 9.00$$

Comprobación del espesor de la placa Shim

$$t_s \geq \frac{3t_r}{1,08f_y \frac{A_r}{P_u} - 2}$$

$$t_s = 2mm$$

$$2 \geq \frac{3 * 0.50}{1.08 * 2520 \frac{2770.404}{411595.30} - 2}$$

$$2mm \geq 0.919mm$$

El espesor $t_s = 2.00mm$ que se asumió es el correcto

Comprobación del pandeo

$$P_{cr} = 0,218 \frac{GD_e^4 \left(1 - \frac{D_i}{D_e}\right) \left(1 - \frac{D_i^2}{D_e^2}\right)}{t_r H_r \left(1 + \frac{D_i^2}{D_e^2}\right)}$$

$$P_{cr} = 0,218 \frac{3.00 \times 75^4 \left(1 - \frac{10}{75}\right) \left(1 - \frac{10^2}{75^2}\right)}{0.50 \times 32.50 \left(1 + \frac{10^2}{75^2}\right)} = 1065070.42kg$$

$$P'_{cr} = P_{cr} \frac{A_r}{A}$$

$$P'_{cr} = 1065070.42 \frac{2770.404}{4339.32} = 679985.66kg$$

Se chequea la siguiente ecuación

$$P'_{cr} > 0.15P_{cr}$$

$$679985.66kg > 159760.56kg$$

Chequeamos el factor de volcamiento

$$\frac{P'_{cr}}{P_U} > 1.10$$

$$\frac{679985.66}{411595.30} > 1.10$$

$$1.65 > 1.10$$

Habiendo verificado todos los parámetros descritos anteriormente procedemos a realizar el análisis estructural obteniendo los siguientes valores, fuerzas sísmicas aplicadas al centro de masas, cortante dinámico, desplazamientos, derivas, modos de vibración y participación modal.

Por último se presenta el dibujo del aislador con todas sus dimensiones, en planta y en elevación, concluyendo así el análisis y diseño de un aislador elastomérico LRB para el edificio aporticado.

TABLA 8.2 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

CORTANTE DINAMICO					
Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	293.132	32.009	291.563	32.393
9.00	28.80		33.777		33.988
8.00	25.60		31.983		32.006
7.00	22.40		30.334		30.215
6.00	19.20		28.970		28.749
5.00	16.00		27.937		27.641
4.00	12.80		27.248		26.891
3.00	9.60		26.904		26.503
2.00	6.40		26.887		26.472
1.00	3.20		27.084		26.707

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.3 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

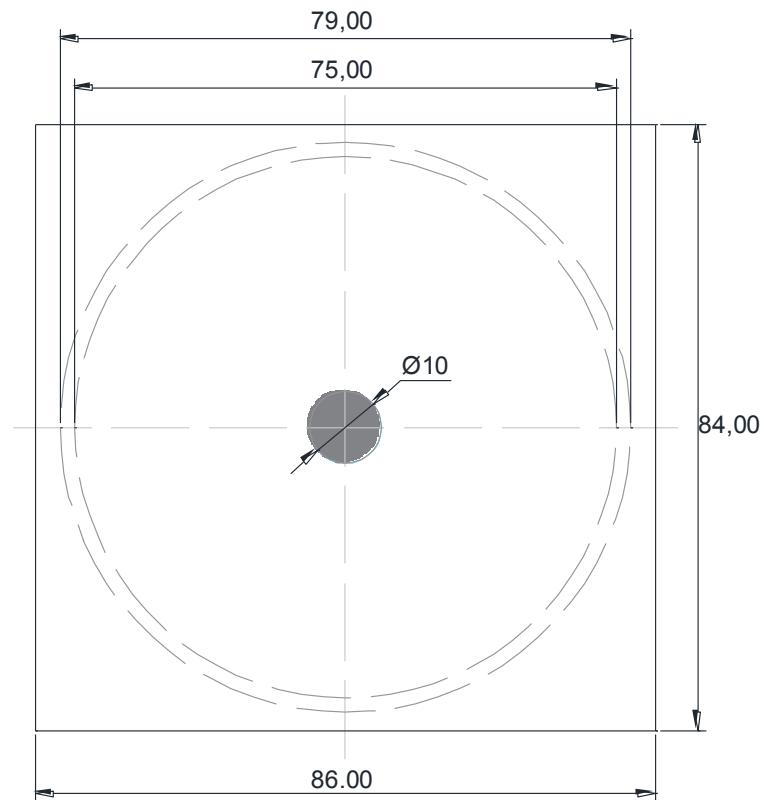
Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y Cm	Deriva X	Deriva Y
10	18.70	18.80	0.00033	0.00035
9	18.60	18.70	0.00048	0.00052
8	18.50	18.60	0.00066	0.00072
7	18.40	18.50	0.00085	0.00092
6	18.20	18.30	0.00103	0.00113
5	18.00	18.10	0.00121	0.00133
4	17.70	17.80	0.00141	0.00156
3	17.40	17.50	0.00166	0.00183
2	17.10	17.10	0.00206	0.00227
1	16.60	16.60	0.00311	0.00334

Elaborado por: Erik Villavicencio

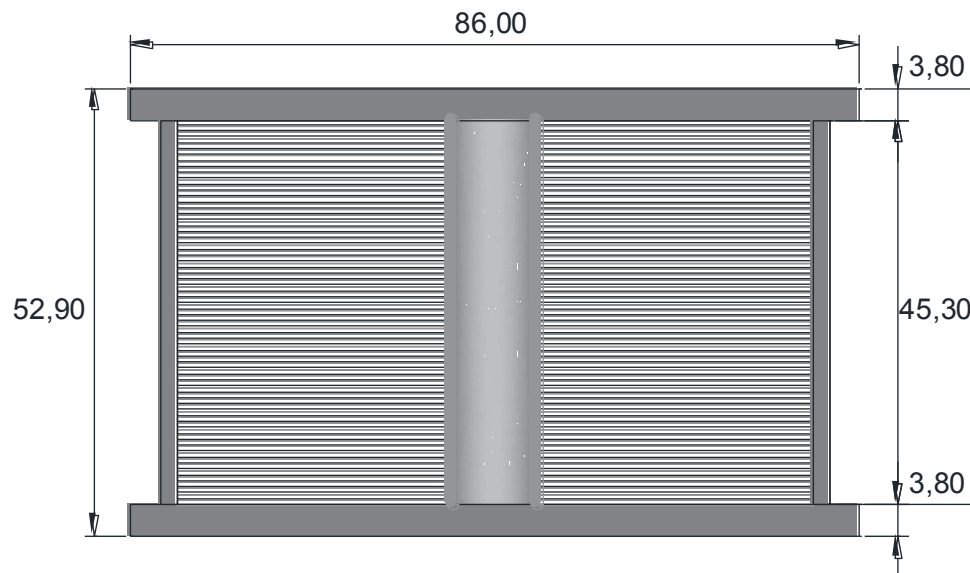
TABLA 8.4 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.288	0.000	0.998	0.000	0.000	0.998	0.000
2	4.266	0.999	0.000	0.000	0.999	0.998	0.000
3	3.782	0.000	0.000	0.999	0.999	0.998	0.999
4	0.643	0.000	0.002	0.000	0.999	1.000	0.999
5	0.618	0.001	0.000	0.000	1.000	1.000	0.999
6	0.548	0.000	0.000	0.001	1.000	1.000	1.000
7	0.300	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.287	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.258	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.179	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.172	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.155	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.118	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.115	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.103	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.083	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.073	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.062	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.061	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.6 Aislador elastomérico en planta LRB

Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.7 Aislador elastomérico en elevación

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.2 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO B CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.5 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B

Diámetro Exterior (De)	75.00	cm
Diámetro Exterior (Di)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (tr)	0.50	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (ts)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (Hr)	32.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t _{bp} , t _{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	3.00	kg/cm ²
Modulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (T _y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (Y _s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.6 Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k _p)	40.06	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D _y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F _y)	7.28	Ton
Rigidez Elástica (k _e)	291.38	Ton/m
Rigidez Efectiva (k _{eff})	61.72	Ton/m
Relación (k _p /k _e)	0.137	
Rigidez Vertical (k _v)	6522152000.00	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.204	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.7 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	290.760	31.749	289.259	32.137
9.00	28.80		33.503		33.719
8.00	25.60		31.724		31.753
7.00	22.40		30.089		29.976
6.00	19.20		28.735		28.522
5.00	16.00		27.712		27.423
4.00	12.80		27.028		26.678
3.00	9.60		26.687		26.293
2.00	6.40		26.669		26.263
1.00	3.20		26.865		26.496

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.8 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	18.50	18.70	0.00032	0.00034
9	18.40	18.60	0.00048	0.00051
8	18.40	18.50	0.00066	0.00071
7	18.20	18.40	0.00084	0.00092
6	18.10	18.20	0.00102	0.00112
5	17.80	17.90	0.00120	0.00132
4	17.60	17.70	0.00140	0.00154
3	17.30	17.30	0.00165	0.00182
2	16.90	17.00	0.00205	0.00225
1	16.50	16.50	0.00308	0.00331

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.9 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.288	0.000	0.998	0.000	0.000	0.998	0.000
2	4.266	0.999	0.000	0.000	0.999	0.998	0.000
3	3.782	0.000	0.000	0.999	0.999	0.998	0.999
4	0.643	0.000	0.002	0.000	0.999	1.000	0.999
5	0.618	0.001	0.000	0.000	1.000	1.000	0.999
6	0.548	0.000	0.000	0.001	1.000	1.000	1.000
7	0.300	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.287	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.258	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.179	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.172	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.155	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.118	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.115	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.103	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.083	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.073	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.062	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.061	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.3 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO C CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.10 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C

Diámetro Exterior (D_e)	75.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.50	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	32.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp} , t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	3.50	kg/cm ²
Modulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (τ_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (γ_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.11: Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	46.73	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.45	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	298.06	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	68.40	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.157	
Rigidez Vertical (k_v)	7609177333.33	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.184	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.12 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporricado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	528.839	57.892	525.866	58.508
9.00	28.80		61.537		61.940
8.00	25.60		58.406		58.523
7.00	22.40		55.184		55.029
6.00	19.20		52.280		51.883
5.00	16.00		50.029		49.440
4.00	12.80		48.625		47.904
3.00	9.60		48.084		47.303
2.00	6.40		48.211		47.441
1.00	3.20		48.590		47.895

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.13 Desplazamientos y derivas del edificio aporricado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	30.90	31.10	0.00059	0.00063
9	30.70	31.00	0.00088	0.00094
8	30.60	30.80	0.00121	0.00131
7	30.30	30.60	0.00154	0.00168
6	30.00	30.20	0.00187	0.00204
5	29.60	29.80	0.00220	0.00241
4	29.20	29.30	0.00255	0.00281
3	28.60	28.70	0.00300	0.00331
2	28.00	28.00	0.00373	0.00410
1	27.20	27.20	0.00561	0.00602

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.14 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.099	0.000	0.998	0.000	0.000	0.998	0.000
2	4.077	0.998	0.000	0.000	0.998	0.998	0.000
3	3.614	0.000	0.000	0.998	0.998	0.998	0.998
4	0.641	0.000	0.002	0.000	0.998	1.000	0.998
5	0.616	0.002	0.000	0.000	1.000	1.000	0.998
6	0.546	0.000	0.000	0.002	1.000	1.000	1.000
7	0.300	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.287	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.257	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.179	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.172	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.155	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.118	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.115	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.103	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.083	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.073	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.062	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.061	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.4 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO D CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.15 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D

Diámetro Exterior (D_e)	75.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.50	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	32.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp} , t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	4.00	kg/cm ²
Módulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (τ_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (Y_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.16 Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	53.41	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.62	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	304.73	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	75.07	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.175	
Rigidez Vertical (k_v)	8696202666.67	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.168	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.17 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	649.258	68.813	645.214	69.773
9.00	28.80		73.810		74.496
8.00	25.60		70.833		71.088
7.00	22.40		67.746		67.556
6.00	19.20		64.914		64.318
5.00	16.00		62.628		61.718
4.00	12.80		61.050		59.955
3.00	9.60		60.173		59.030
2.00	6.40		59.794		58.719
1.00	3.20		59.496		58.562

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.18 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	35.10	35.40	0.00071	0.00075
9	34.90	35.20	0.00106	0.00113
8	34.70	35.00	0.00146	0.00158
7	34.40	34.70	0.00187	0.00203
6	34.00	34.30	0.00227	0.00249
5	33.60	33.80	0.00268	0.00295
4	33.00	33.20	0.00312	0.00344
3	32.30	32.40	0.00368	0.00407
2	31.60	31.60	0.00458	0.00503
1	30.60	30.50	0.00689	0.00739

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.19 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	3.938	0.000	0.998	0.000	0.000	0.998	0.000
2	3.914	0.998	0.000	0.000	0.998	0.998	0.000
3	3.470	0.000	0.000	0.998	0.998	0.998	0.998
4	0.639	0.000	0.002	0.000	0.998	1.000	0.998
5	0.615	0.002	0.000	0.000	1.000	1.000	0.998
6	0.544	0.000	0.000	0.002	1.000	1.000	1.000
7	0.299	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.287	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.257	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.178	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.172	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.155	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.118	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.114	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.103	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.083	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.073	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.062	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.061	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.5 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO E CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.20 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E

Diámetro Exterior (D_e)	85.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.70	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	38.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp} , t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	4.00	kg/cm ²
Módulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (τ_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (Y_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.21 Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	58.14	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.74	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	309.47	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	79.81	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.188	
Rigidez Vertical (k_v)	6246088580.58	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.158	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.22 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	928.967	92.049	919.789	92.049
9.00	28.80		100.711		100.514
8.00	25.60		98.913		98.481
7.00	22.40		96.878		96.197
6.00	19.20		94.793		93.875
5.00	16.00		92.793		91.670
4.00	12.80		90.938		89.650
3.00	9.60		89.200		87.785
2.00	6.40		87.427		85.912
1.00	3.20		85.267		83.658

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.23 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	47.70	48.00	0.00097	0.00102
9	47.50	47.80	0.00145	0.00154
8	47.20	47.50	0.00201	0.00216
7	46.80	47.00	0.00260	0.00281
6	46.20	46.40	0.00319	0.00347
5	45.50	45.70	0.00379	0.00414
4	44.70	44.80	0.00444	0.00488
3	43.80	43.80	0.00525	0.00578
2	42.70	42.60	0.00654	0.00717
1	41.30	41.00	0.00986	0.01054

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.24 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	3.836	0.000	0.997	0.000	0.000	0.997	0.000
2	3.811	0.998	0.000	0.000	0.998	0.997	0.000
3	3.379	0.000	0.000	0.998	0.998	0.997	0.998
4	0.637	0.000	0.002	0.000	0.998	1.000	0.998
5	0.613	0.002	0.000	0.000	1.000	1.000	0.998
6	0.543	0.000	0.000	0.002	1.000	1.000	1.000
7	0.299	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.286	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.257	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.178	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.172	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.155	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.118	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.114	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.103	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.083	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.073	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.062	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.061	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.6 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO A CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.25 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A

Diámetro Exterior (D_e)	75.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.50	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	32.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp}, t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	3.00	kg/cm ²
Módulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (T_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (Y_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.26 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	40.06	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.28	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	291.38	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	61.72	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.137	
Rigidez Vertical (k_v)	6522152000.00	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento Efectivo Calculado (B_{eff})	0.204	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.27 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	298.113	29.029	298.752	28.833
9.00	28.80		32.151		32.002
8.00	25.60		31.194		31.127
7.00	22.40		30.381		30.395
6.00	19.20		29.743		29.831
5.00	16.00		29.301		29.449
4.00	12.80		29.056		29.246
3.00	9.60		28.991		29.200
2.00	6.40		29.069		29.277
1.00	3.20		29.198		29.393

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.28 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	17.60	17.50	0.00041	0.00039
9	17.50	17.40	0.00045	0.00042
8	17.40	17.30	0.00048	0.00044
7	17.30	17.20	0.00051	0.00046
6	17.20	17.10	0.00054	0.00047
5	17.10	17.00	0.00055	0.00047
4	16.90	16.90	0.00053	0.00045
3	16.80	16.80	0.00048	0.00040
2	16.70	16.70	0.00049	0.00041
1	16.60	16.70	0.00173	0.00167

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.29 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.244	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
2	4.235	0.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000
3	3.765	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	0.471	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
5	0.445	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
6	0.333	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
7	0.151	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.134	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.096	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.074	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.070	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.069	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.068	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.066	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.054	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.052	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.7 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO B CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.30 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B

Diámetro Exterior (D_e)	75.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.50	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	32.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp} , t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	3.00	kg/cm ²
Módulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (τ_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (γ_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.31 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	40.06	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.28	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	291.38	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	61.72	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.137	
Rigidez Vertical (k_v)	6522152000.00	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.204	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.32 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	331.323	32.261	332.033	32.043
9.00	28.80		35.732		35.567
8.00	25.60		34.668		34.594
7.00	22.40		33.766		33.782
6.00	19.20		33.057		33.155
5.00	16.00		32.565		32.730
4.00	12.80		32.294		32.504
3.00	9.60		32.221		32.453
2.00	6.40		32.307		32.539
1.00	3.20		32.451		32.667

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.33 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	19.50	19.40	0.00045	0.00043
9	19.40	19.30	0.00050	0.00047
8	19.30	19.20	0.00053	0.00049
7	19.20	19.10	0.00057	0.00051
6	19.10	19.00	0.00060	0.00053
5	19.00	18.90	0.00061	0.00052
4	18.80	18.80	0.00059	0.00050
3	18.70	18.70	0.00053	0.00044
2	18.60	18.60	0.00055	0.00046
1	18.50	18.50	0.00193	0.00186

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.34 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.244	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
2	4.235	0.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000
3	3.765	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	0.471	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
5	0.445	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
6	0.333	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
7	0.151	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.134	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.096	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.074	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.070	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.069	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.068	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.066	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.054	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.052	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.8 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO C CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.35 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C

Diámetro Exterior (D_e)	75.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.50	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	32.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp} , t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	3.50	kg/cm ²
Modulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (τ_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (Y_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.36 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	46.73	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.45	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	298.06	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	68.40	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.157	
Rigidez Vertical (k_v)	7609177333.33	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.184	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.37 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	562.994	54.052	564.342	53.522
9.00	28.80		60.236		59.852
8.00	25.60		58.767		58.609
7.00	22.40		57.492		57.544
6.00	19.20		56.459		56.690
5.00	16.00		55.701		56.064
4.00	12.80		55.224		55.667
3.00	9.60		55.004		55.473
2.00	6.40		54.999		55.451
1.00	3.20		55.061		55.470

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.38 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	30.20	30.00	0.00077	0.00073
9	30.00	29.90	0.00084	0.00079
8	29.80	29.70	0.00090	0.00083
7	29.60	29.50	0.00097	0.00087
6	29.40	29.30	0.00101	0.00089
5	29.20	29.10	0.00103	0.00089
4	29.00	29.00	0.00101	0.00085
3	28.80	28.80	0.00091	0.00075
2	28.60	28.60	0.00093	0.00078
1	28.40	28.40	0.00327	0.00315

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.39 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.041	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
2	4.032	0.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000
3	3.582	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
4	0.470	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
5	0.445	0.000	0.000	0.981	1.000	1.000	1.000
6	0.333	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
7	0.151	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.134	0.000	0.000	0.013	1.000	1.000	1.000
9	0.096	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.074	0.000	0.000	0.004	1.000	1.000	1.000
12	0.070	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.069	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.068	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.066	0.000	0.000	0.001	1.000	1.000	1.000
16	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.054	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.052	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.9 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO D CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.40 dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D

Diámetro Exterior (D_e)	75.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.50	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	32.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp} , t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	4.00	kg/cm ²
Modulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (τ_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (Y_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.41 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	53.41	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.62	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	304.73	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	75.07	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.175	
Rigidez Vertical (k_v)	8696202666.67	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.168	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.42 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	701.044	66.450	702.855	65.982
9.00	28.80		74.461		74.126
8.00	25.60		73.015		72.887
7.00	22.40		71.728		71.796
6.00	19.20		70.641		70.880
5.00	16.00		69.784		70.159
4.00	12.80		69.165		69.635
3.00	9.60		68.772		69.294
2.00	6.40		68.583		69.120
1.00	3.20		68.446		68.976

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.43 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	34.50	34.30	0.00095	0.00091
9	34.30	34.10	0.00104	0.00098
8	34.10	33.90	0.00112	0.00103
7	33.80	33.70	0.00120	0.00108
6	33.60	33.40	0.00126	0.00111
5	33.30	33.20	0.00128	0.00111
4	33.00	33.00	0.00125	0.00106
3	32.80	32.80	0.00113	0.00094
2	32.50	32.60	0.00116	0.00097
1	32.30	32.30	0.00407	0.00393

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.44 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	3.867	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
2	3.857	0.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000
3	3.425	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	0.469	0.001	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
5	0.444	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
6	0.333	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
7	0.151	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.134	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.096	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.074	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.070	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.069	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.068	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.066	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.054	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.052	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.2.10 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO E CON AISLADORES ELASTOMERICOS LRB

TABLA 8.45 Dimensiones y características del aislador LRB para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E

Diámetro Exterior (D_e)	85.00	cm
Diámetro Exterior (D_i)	10.00	cm
Espesor de una Capa de Goma (t_r)	0.70	cm
Espesor de la Placa Shim de Acero (t_s)	0.20	cm
Altura Total de las Gomas (H_r)	38.50	cm
Espesor de las Placas Exteriores (t_{bp} , t_{tp})	3.80	cm
Módulo de Corte Efectivo de la Goma (G)	4.00	kg/cm ²
Módulo Volumétrico de la Goma (K)	20000.00	kg/cm ²
Esfuerzo de Corte del Plomo (τ_y)	80.00	kg/cm ²
Deformación por Corte Máximo (Y_s)	100%	

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.46 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB

Fuerza Característica (Q)	6.28	Ton
Rigidez Postfluencia (k_p)	58.14	Ton/m
Desplazamiento de Fluencia (D_y)	0.025	m
Fuerza de Fluencia (F_y)	7.74	Ton
Rigidez Elástica (k_e)	309.47	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	79.81	Ton/m
Relación (k_p/k_e)	0.188	
Rigidez Vertical (k_v)	6246088580.58	Ton/m
Energía Disipada (ED)	199.81	Ton-m
Amortiguamiento del Sistema	0.158	%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.47 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores LRB

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	1001.583	92.813	1005.708	92.708
9.00	28.80		104.989		104.974
8.00	25.60		103.839		103.943
7.00	22.40		102.719		102.951
6.00	19.20		101.651		102.016
5.00	16.00		100.663		101.156
4.00	12.80		99.774		100.387
3.00	9.60		99.001		99.724
2.00	6.40		98.376		99.193
1.00	3.20		97.758		98.656

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.48 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	46.60	46.40	0.00135	0.00130
9	46.30	46.10	0.00148	0.00140
8	46.00	45.80	0.00160	0.00147
7	45.60	45.50	0.00171	0.00154
6	45.30	45.20	0.00179	0.00158
5	44.90	44.80	0.00182	0.00158
4	44.50	44.50	0.00178	0.00152
3	44.10	44.20	0.00161	0.00134
2	43.80	43.90	0.00165	0.00139
1	43.40	43.60	0.00582	0.00562

Elaborado por: Erik Villavicencio

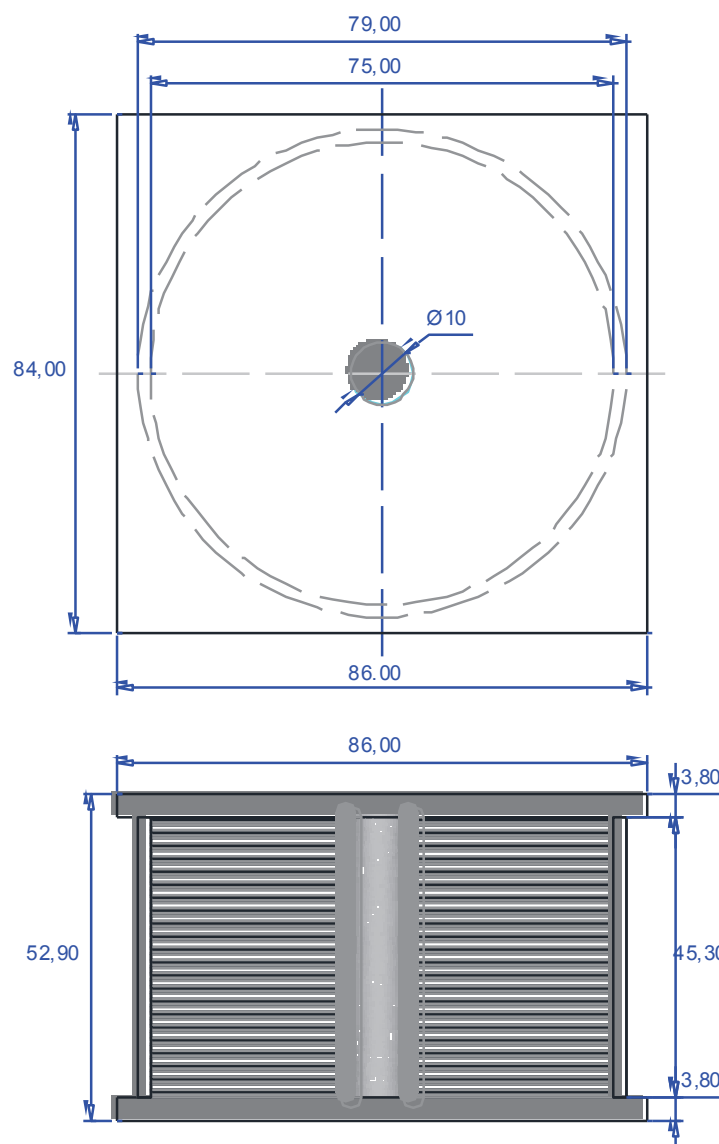
TABLA 8.49 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores LRB

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	3.757	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
2	3.747	0.000	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000
3	3.326	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	0.469	0.001	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
5	0.444	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
6	0.332	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
7	0.151	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
8	0.134	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
9	0.096	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
10	0.081	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
11	0.074	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
12	0.070	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
13	0.069	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
14	0.068	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
15	0.066	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
16	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
17	0.065	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
18	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
19	0.059	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
20	0.055	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
21	0.054	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
22	0.052	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
23	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
24	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
25	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
26	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
27	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
28	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
29	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000
30	0.050	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000

Elaborado por: Erik Villavicencio

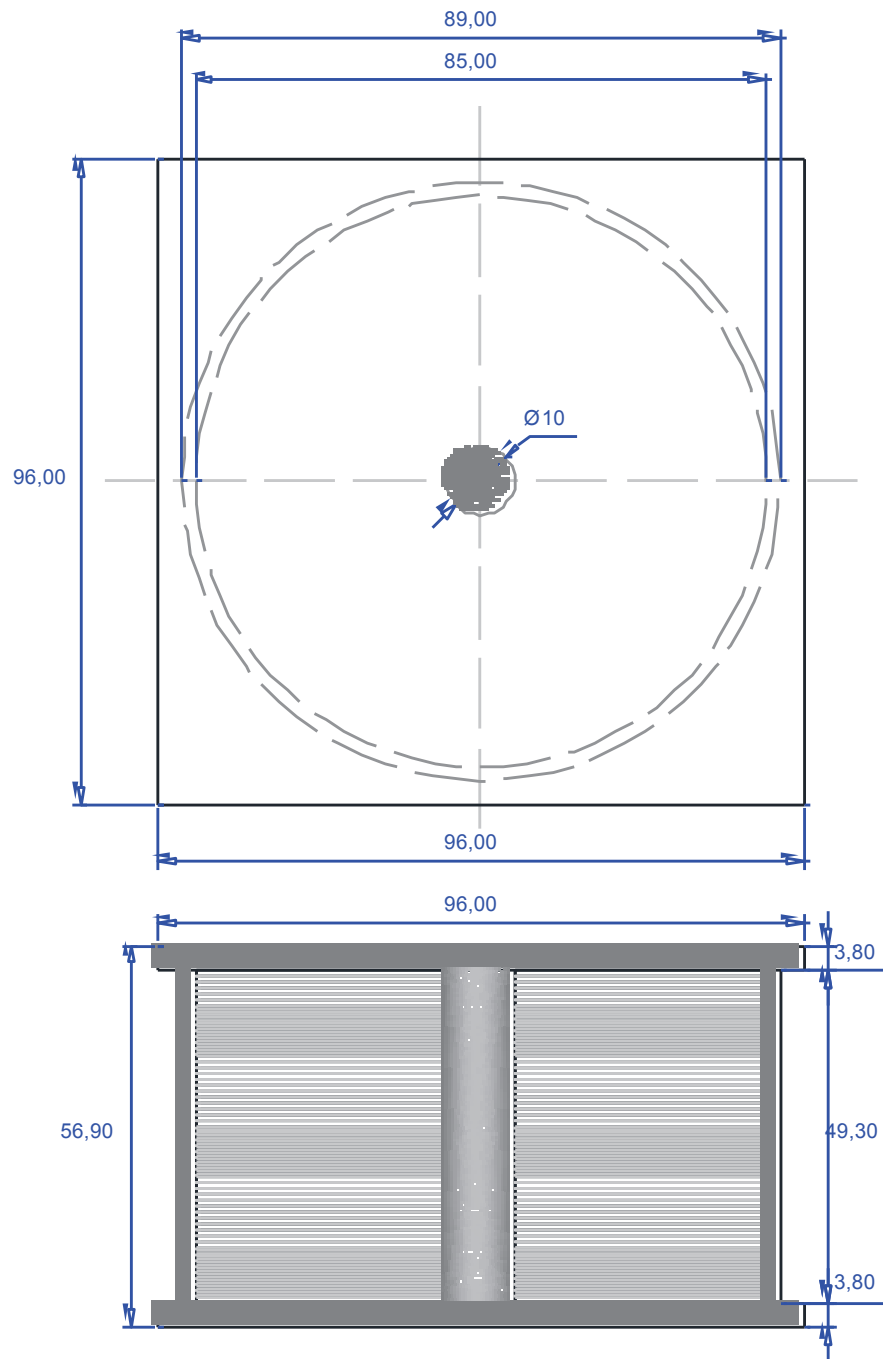
A continuación se presentan en la figura 8.8, figura 8.9, los esquemas de los aisladores sísmicos, recordando que se diseñaron muy semejantes en, características, materiales y dimensiones, para poder comparar cómo influye los aisladores en el comportamiento estructural en los edificios aporticados, versus, edificios con muros de corte, con respecto a los diferentes espectros de diseño que propone la norma ecuatoriana de la construcción NEC-2015.

FIGURA 8.8 Aislador elastomérico LRB modelado en, edificios aporticados y con muros de corte, empleando los espectro de diseño del suelo tipo A, B, C, D



Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.9 Aislador elastomérico LRB modelado en, edificios aporticados y con muros de corte, empleando el espectro de diseño del suelo E



Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3 AISLADORES SÍSMICOS TIPO PÉNDULO DE FRICCIÓN CON SIMPLE CURVATURA FPS

Para el análisis de los edificios con aisladores tipo péndulo de fricción FPS se consideran los mismos edificios aporticados y con muros de corte, con sus mismas características, materiales, resistencias y secciones de elementos como, vigas, columnas y losa analizadas en el capítulo 3, y así investigar cómo influyen los aisladores en, edificios flexibles versus edificios rígidos, y poder comparar con los edificios empotrados.

A continuación se presenta como modo de ejemplo la metodología empleada paso a paso utilizada en esta investigación, en el análisis y diseño de los aisladores del edificio aporticado cimentado en el suelo tipo A, para los otros edificios aporticados y con muros de corte, presentaran los cálculos resumidos en tablas.

8.3.1 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO A CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCIÓN FPS

A continuación se procede a realizar el análisis y diseño de un aislador tipo péndulo de fricción FPS, cabe mencionar que se utilizaran los mismos datos generales descritos anteriormente, no se realizara en cálculo de, desplazamientos de diseño, desplazamiento total de diseño, desplazamiento máximo, desplazamiento total máximo, ya que son los mismos resultados obtenidos en el análisis del aislador elastomérico con núcleo de plomo LRB.

Primeramente se procede a calcular los parámetros bilineales del sistema de aislación, como el radio de curvatura donde se va a deslizar el cojinete, fuerza de activación del sistema de aislación, fuerza máxima, rigidez elástica, rigidez postfluencia, rigidez efectiva, amortiguamiento efectivo y finalmente la energía disipada en su primer ciclo de histéresis.

Calculo del radio de curvatura

$$R = \frac{T_D^2 g}{4\pi^2}$$

$$R = \frac{4.00^2 \times 9.81}{4\pi^2} = 3.98m$$

Fuerza de activación del sistema de aislación

$$F_f = \mu W$$

$$F_f = 0.06 * 7397.77 = 443.86Ton$$

Fuerza máxima del sistema de aislación

$$F = F_f + \frac{W}{R} D_D$$

$$F = 443.86 + \frac{7397.77}{3.98} 0.29 = 982.89Ton$$

Rigidez postfluencia del sistema de aislación

$$k_p = k_{hmin} - \frac{\mu W}{D_D}$$

$$k_p = 1860.68 - \frac{0.06 \times 7397.77}{0.29} = 330.10Ton/m$$

Rigidez elástica del sistema de aislación

$$k_e = \frac{uW}{Dy}$$

$$k_e = \frac{0.06 * 7397.77}{0.025} = 17754.65 \text{Ton/m}$$

Rigidez efectiva del sistema de aislación

$$k_{eff} = k_p + \frac{F_f}{D_D}$$

$$k_{eff} = 330.10 + \frac{443.86}{0.29} = 1860.65 \text{Ton/m}$$

Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \left(\frac{\mu}{\mu + \frac{D_D}{R}} \right)$$

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \left(\frac{0.06}{0.06 + \frac{0.29}{3.98}} \right) = 0.286\%$$

Energía disipada en el primer ciclo de histéresis

$$E_D = 2\pi k_{eff} \beta_{eff} D_D^2$$

$$E_D = 2\pi * 1860.65 * 0.286 * 0.29^2 = 281.19 \text{Ton} - m$$

Teniendo todos los parámetros bilineales del sistema de aislación se procede a dividir para el número de aisladores, en nuestro caso 30 unidades, finalmente se obtiene los parámetros bilineales para cada aislador, como se muestra a continuación:

Fuerza de activación del aislador

$$F_f = 14.80Ton$$

Fuerza máxima que soporta el aislador

$$F = 32.76Ton$$

Rigidez postfluencia del aislador

$$k_p = 11.00Ton/m$$

Rigidez elástica del aislador

$$k_e = 591.82Ton/m$$

Rigidez efectiva del sistema de aislación

$$k_{eff} = 60.02Ton/m$$

Amortiguamiento efectivo del aislador

$$\beta_{eff} = 0.286\%$$

Energía disipada en el primer ciclo de histéresis

$$E_D = 9.37Ton - m$$

Verificación del periodo objetivo impuesto

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{3.98}{9.81}} = 4.00 \text{seg}$$

Verificamos que el periodo objetivo es igual al periodo calculado procederemos a diseñar nuestro aislador.

Diseño de la placa cóncava

Para el diseño de la placa recitamos del análisis estructural la carga última $P_u=512.00Tn$, consideramos un esfuerzo a la tensión promedio de $450kg/cm^2$.

Diámetro de la placa cóncava

$$D_m = \sqrt{\frac{4P_u}{\pi\sigma_{ss}}}$$

$$D_m = \sqrt{\frac{4 \times 512000}{\pi * 450}} = 38.06 \text{cm}$$

Área en planta de la placa cóncava

$$A_{PTFE} = \frac{P_u}{\sigma_{ss}}$$

$$A_{PTFE} = \frac{512000}{450} = 1137.78 \text{cm}^2$$

Chequeamos que se cumpla con la siguiente condición:

$$2.2 \leq \frac{P_u}{A_{PTFE}} \leq 4.3 \quad (Ksi)$$

Después de varias iteraciones, cumpliendo con la condición anterior nos quedan los siguientes valores definitivos.

$$A_{PTFE} = 1706.67 \text{ cm}^2$$

Longitud de la placa cóncava

$$B = \sqrt{A_{PTFE}}$$

$$B = \sqrt{1706.67} = 41.31 \text{ cm}$$

Chequeamos la siguiente condición

$$P_{Hmax} = 0.15 \frac{Pu}{1.5}$$

$$P_{Hmax} = 0.15 \frac{512000}{1.5} = 51200 \text{ kg}$$

$$P_{Vmin} = 0.50 \frac{Pu}{1.5}$$

$$P_{Vmin} = 0.50 \frac{512000}{1.5} = 170666.67 \text{ kg}$$

Del análisis estructural escogemos el mayor de los giros producidos por las cargas verticales últimas, en nuestro caso $\phi_e = 0.000177 \text{ rad}$, con este valor chequeemos la siguiente condición:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{P_{Hmax}}{P_{Vmin}} \right) + \phi_E$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{51200}{170666.67} \right) + 0.000177 = 0.310 \text{ rad} = 17.73 \text{ grados}$$

Por facilidad de cálculo redondeamos a $\varphi = 20 \text{ grados} = 0.349 \text{ rad}$

$$\varphi \geq \tan^{-1} \left(\frac{P_{Hmax}}{P_{Vmin}} \right) + \phi_E \leq 35$$

$$17.73^\circ \geq 20^\circ \leq 35^\circ$$

Radio de curvatura provisional de la placa cóncava

$$R = \frac{D_m}{2\sin(\varphi)} \leq 100cm$$

$$R = \frac{38.06}{2\sin(0.349)} \leq 100cm$$

$$R = 55.65cm \leq 100cm$$

Primera interacción de la altura de la placa

$$H = \beta P_u$$

$$H = 0.06 \times 512000 = 30720kg$$

$$H < \pi R^2 \sigma_{PTFE} \sin^2(\varphi - \beta - \phi_E) \sin \beta$$

$$H < \pi(55.65)^2 \times 450 \times \sin^2(0.349 - 0.06 - 0.000177) \sin(0.06)$$

$$30720kg < 21301.17kg$$

Como no se cumplió la condición antes mencionada recalculamos el valor del radio de curvatura hasta cumplir con la condición propuesta. Finalmente de varias interacciones el valor final del radio de curvatura nos queda de la siguiente manera.

Radio final de la curvatura de la placa cóncava

$$R = 83.46cm$$

Diámetro final de la placa cóncava

$$DB_{act} = 2R \sin^{-1} \left(\frac{D_m}{2R} \right)$$

$$DB_{act} = 2 \times 83.46 \times \sin^{-1} \left(\frac{38.06}{2 \times 83.46} \right) = 38.40 \text{ cm}$$

Finalmente calculamos los espesores y alturas mínimas de la placa cóncava con las siguientes expresiones.

$$M_m = R \left[1 - \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{D_m}{2R} \right) \right) \right] + 0.23813 \text{ cm}$$

$$M_m = 83.46 \left[1 - \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{38.04}{2 \times 83.46} \right) \right) \right] + 0.23813 \text{ cm} = 2.44 \text{ cm}$$

$$T_{min} = 1.90 \text{ cm}$$

$$T_{max} = T_{min} + M_m$$

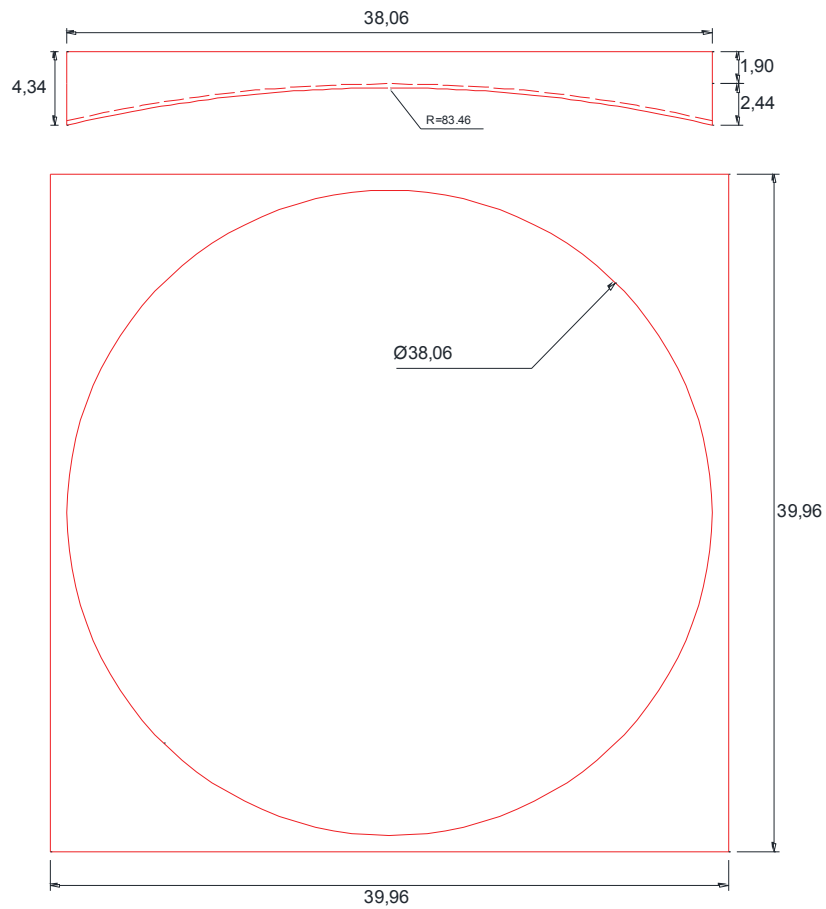
$$T_{max} = 1.90 + 2.44 = 4.34 \text{ cm}$$

Longitud de la placa cuadrada

$$L_{cp} = D_m + 1.90 \text{ cm}$$

$$L_{cp} = 38.06 + 1.90 \text{ cm} = 39.96 \text{ cm}$$

Para una mejor comprensión de los lectores presentamos en la figura 8.10, las respectivas dimensiones de la placa cóncava

FIGURA 8.10: Dimensiones de la placa cóncava

Elaborado por: Erik Villavicencio

Diseño de la placa convexa

Calculo del ángulo γ de la placa convexa

$$\gamma = \left(\frac{DB_{act}}{2R} \right) + \varnothing_E$$

$$\gamma = \left(\frac{38,40}{2 \times 83,46} \right) + 0,000177 = 0,230rad$$

Longitud de la placa inferior convexa

$$C_m = 2R\sin(\gamma)$$

$$C_m = 2 \times 83.46 \times \sin(0.230) = 30.05 \text{ cm}$$

Altura de la placa convexa

$$H = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{C_m}{2}\right)^2}$$

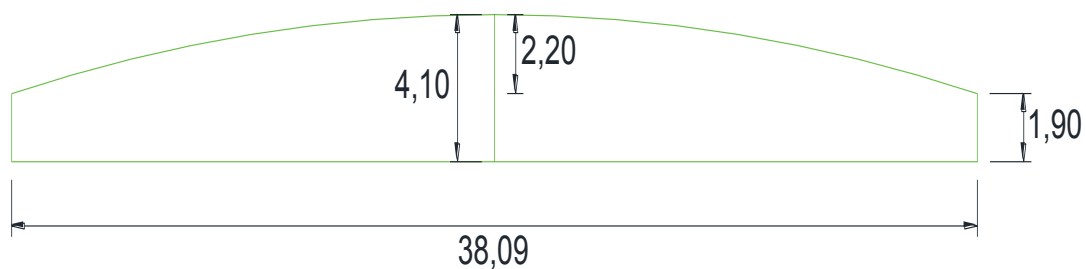
$$H = 83.46 - \sqrt{83.46^2 - \left(\frac{30.05}{2}\right)^2} = 2.20 \text{ cm}$$

Constantinou *et al* (2011) recomienda:

$$H_{act} = H + 1.90 \text{ cm}$$

$$H_{act} = 2.20 + 1.90 \text{ cm} = 4.10 \text{ cm}$$

FIGURA 8.11: Dimensiones de la placa convexa



Elaborado por: Erik Villavicencio

Diseño de la placa inferior de deslizamiento

Espesor de la placa del centro

Para calcular el espesor de la placa del centro aplicamos el método de la columna equivalente explicada en capítulos anteriores, asumimos un valor mínimo recomendado por Constantinou *et al* (2011) de espesor $t = 3.8\text{cm}$

$$f_b = 1.7\phi f'_c$$

$$f_b = 1.7 \times 0.65 * 280 = 309.4 \text{kg/cm}^2$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{4Pu}{\pi f_b}}$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{4 \times 512000}{\pi * 309.4}} = 45.90 \text{cm}$$

$$b = \sqrt{\frac{4A_{PTFE}}{\pi}}$$

$$b = \sqrt{\frac{4 \times 1706.67}{\pi}} = 46.61 \text{cm}$$

$$r = \frac{b_1 - b}{2}$$

$$r = \frac{45.90 - 46.61}{2} = -0.36 \text{cm}$$

Calculamos el momento último en la placa

$$Mu = f_b \frac{r^2}{2} + f_b \left(\frac{b_1}{b} - 1 \right) \frac{r^2}{3}$$

$$Mu = 309.4 \frac{0.36^2}{2} + 309.4 \left(\frac{45.90}{46.61} - 1 \right) \frac{0.36^2}{3} = 19.49 \text{ kg} - \text{cm}$$

Chequeamos que se cumpla la siguiente condición:

$$t \geq \sqrt{\frac{4Mu}{\phi_b f_y}}$$

$$3.81 \text{ cm} \geq \sqrt{\frac{4 \times 19.49}{0.90 \times 2520}}$$

$$3.81 \text{ cm} \geq 0.185 \text{ cm}$$

El espeso $t=3.81\text{cm}$ que asumimos es el correcto.

Longitud de la placa inferior convexa

Para el análisis de la longitud de esta placa tenemos que conocer previamente el desplazamiento máximo producido por el sistema de aislamiento, en nuestro caso $U_{\max} = 53\text{cm}$.

$$L_{sp} = L_{cp} + D_{TM}$$

$$L_{sp} = 39.96 + 53.00 = 92.96 \text{ cm}$$

Asumimos:

$$L_{sp} = 95.00 \text{ cm}$$

El espesor de la placa superior se calcula de igual manera que el espesor de la placa convexa descrita anteriormente, para nuestro diseño asumimos un espesor $t = 3.18\text{cm}$.

Habiendo verificado todos los parámetros descritos anteriormente procedemos a realizar el análisis estructural obteniendo los siguientes valores, fuerzas sísmicas aplicadas al centro de masas, cortante dinámico, desplazamientos, derivas, modos de vibración y participación modal. Por último se presenta el dibujo del aislador con todas sus dimensiones en elevación, concluyendo así el análisis y diseño de un aislador tipo péndulo de ficción FPS para el edificio aporticado.

TABLA 8.50 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	289.882	33.709	290.126	33.326
9.00	28.80		34.963		34.651
8.00	25.60		32.487		32.307
7.00	22.40		30.208		30.178
6.00	19.20		28.305		28.424
5.00	16.00		26.870		27.101
4.00	12.80		25.949		26.228
3.00	9.60		25.558		25.815
2.00	6.40		25.672		25.854
1.00	3.20		26.161		26.242

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.51 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS

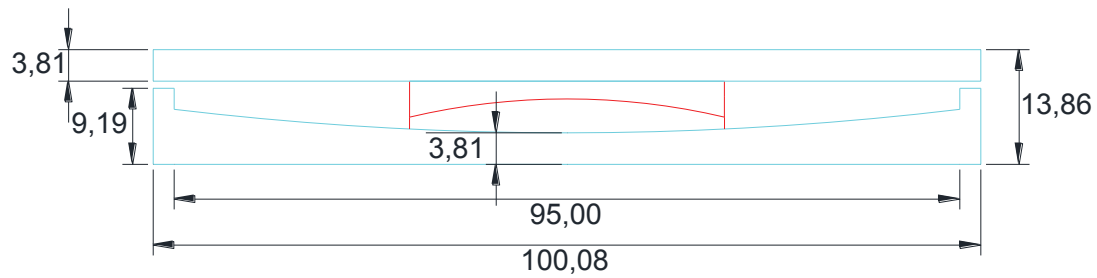
Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	19.20	19.10	0.00072	0.00055
9	19.10	19.00	0.00088	0.00073
8	18.90	18.80	0.00106	0.00093
7	18.70	18.60	0.00125	0.00114
6	18.40	18.40	0.00143	0.00134
5	18.10	18.10	0.00161	0.00154
4	17.80	17.80	0.00180	0.00176
3	17.40	17.50	0.00204	0.00204
2	17.00	17.00	0.00244	0.00355
1	16.50	16.50	0.00349	0.00000

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.52 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1.00	4.31	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2.00	4.31	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3.00	3.78	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.00	0.70	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5.00	0.68	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6.00	0.56	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8.00	0.29	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9.00	0.26	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15.00	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18.00	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.12 Dimensiones del aislador FPS

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.2 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO B CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.53 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B

DIMENCIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (τ_{ss})	450	kg/cm ²
Coefficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (D_m)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (T_{min})	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (M_m)	2.44	cm
Altura de la placa (T_{max})	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (L_{cp})	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (C_m)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (H_{act})	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (L_{sp})	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	398	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (h_r)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.54 Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS

Fuerza Característica (Ff)	14.796	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	32.927	Ton
Rigidez postfluencia (kp)	11.412	Ton/m
Rigidez Elástica (ke)	591.822	Ton/m
Rigidez Efectiva (keff)	62.023	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (Beff)	0.286	%
Energía Disipada (E)	285.816	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.98	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.55 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	288.124	33.427	287.772	33.055
9.00	28.80		34.669		34.369
8.00	25.60		32.215		32.044
7.00	22.40		29.955		29.933
6.00	19.20		28.067		28.193
5.00	16.00		26.645		26.881
4.00	12.80		25.732		26.015
3.00	9.60		25.344		25.606
2.00	6.40		25.458		25.645
1.00	3.20		26.613		26.030

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.56 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	19.10	18.90	0.00071	0.00055
9	18.90	18.80	0.00087	0.00072
8	18.70	18.70	0.00106	0.00092
7	18.50	18.50	0.00124	0.00113
6	18.30	18.30	0.00142	0.00133
5	18.00	18.00	0.00160	0.00153
4	17.70	17.70	0.00179	0.00175

TABLA 8.56 Continuación-

3	17.30	17.30	0.00203	0.00202
2	16.90	16.90	0.00242	0.00245
1	16.30	16.40	0.00346	0.00352

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.57 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1.00	4.31	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2.00	4.31	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3.00	3.79	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.00	0.70	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5.00	0.68	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6.00	0.56	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8.00	0.29	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9.00	0.26	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15.00	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18.00	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.3 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO C CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCIÓN FPS

TABLA 8.58 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C

DIMENCIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coefficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (Dm)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (Tmin)	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (Mm)	2.44	cm
Altura de la placa (Tmax)	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (Lcp)	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (Cm)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (Hact)	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (Lsp)	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	398	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (hr)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.59 Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS

Fuerza Característica (Ff)	14.796	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	32.927	Ton
Rigidez postfluencia (kp)	11.412	Ton/m
Rigidez Elástica (ke)	591.822	Ton/m
Rigidez Efectiva (keff)	62.023	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (Beff)	0.286	%
Energía Disipada (E)	285.816	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.98	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.60 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	499.521	57.465	500.256	56.695
9.00	28.80		60.164		59.645
8.00	25.60		56.240		56.025
7.00	22.40		52.342		52.391
6.00	19.20		48.888		49.151
5.00	16.00		46.234		46.647
4.00	12.80		44.601		45.086
3.00	9.60		44.034		44.504
2.00	6.40		44.364		44.733
1.00	3.20		45.191		45.381

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.61 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	33.10	32.90	0.00124	0.00095
9	32.90	32.70	0.00151	0.00125
8	32.60	32.50	0.00183	0.00160
7	32.20	32.20	0.00215	0.00196
6	31.80	31.80	0.00247	0.00231
5	31.30	31.30	0.00277	0.00266
4	30.70	30.70	0.00310	0.00304
3	30.00	30.10	0.00352	0.00351
2	29.30	29.40	0.00420	0.00426
1	28.40	28.50	0.00601	0.00612

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.62 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1.00	4.31	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2.00	4.31	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3.00	3.79	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.00	0.70	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5.00	0.68	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6.00	0.56	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8.00	0.29	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9.00	0.26	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15.00	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18.00	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.4 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO D CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.63 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D

DIMENCIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coefficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (Dm)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (Tmin)	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (Mm)	2.44	cm
Altura de la placa (Tmax)	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (Lcp)	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (Cm)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (Hact)	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (Lsp)	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	3.70	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (hr)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.64 Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS

Fuerza Característica (Ff)	14.796	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	32.927	Ton
Rigidez postfluencia (kp)	24.00	Ton/m
Rigidez Elástica (ke)	591.822	Ton/m
Rigidez Efectiva (keff)	75.00	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (Beff)	0.286	%
Energía Disipada (E)	285.816	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.70	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.65 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	638.549	73.891	639.427	72.434
9.00	28.80		77.438		76.405
8.00	25.60		72.379		71.903
7.00	22.40		67.264		67.293
6.00	19.20		62.660		63.109
5.00	16.00		59.069		59.813
4.00	12.80		56.811		57.691
3.00	9.60		55.935		56.775
2.00	6.40		56.172		56.799
1.00	3.20		56.932		57.206

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.66 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	36.40	36.10	0.00159	0.00122
9	36.00	35.80	0.00195	0.00160
8	35.60	35.50	0.00236	0.00205
7	35.20	35.10	0.00277	0.00251
6	34.60	34.60	0.00317	0.00296
5	34.00	34.00	0.00356	0.00341
4	33.20	33.30	0.00398	0.00390
3	32.40	32.50	0.00451	0.00450
2	31.40	31.50	0.00538	0.00545
1	30.30	30.40	0.00769	0.00783

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.67 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1.00	3.98	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2.00	3.97	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3.00	3.48	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.00	0.69	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5.00	0.68	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6.00	0.56	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8.00	0.29	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9.00	0.26	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11.00	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14.00	0.11	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15.00	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18.00	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.5 EDIFICIO APORTICADO CIMENTADO EN SUELO TIPO E CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.68 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E

DIMENCIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coefficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (Dm)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (Tmin)	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (Mm)	2.44	cm
Altura de la placa (Tmax)	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (Lcp)	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (Cm)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (Hact)	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (Lsp)	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	3.70	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (hr)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.69 Propiedades del modelo bilineal para el edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS

Fuerza Característica (Ff)	14.796	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	32.927	Ton
Rigidez postfluencia (kp)	24.00	Ton/m
Rigidez Elástica (ke)	591.822	Ton/m
Rigidez Efectiva (keff)	75.00	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (Beff)	0.286	%
Energía Disipada (E)	285.816	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.70	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.70 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	870.847	90.119	872.562	89.190
9.00	28.80		97.392		96.786
8.00	25.60		94.438		94.220
7.00	22.40		91.333		91.454
6.00	19.20		88.345		88.741
5.00	16.00		85.684		86.274
4.00	12.80		83.458		84.145
3.00	9.60		81.646		82.332
2.00	6.40		80.076		80.662
1.00	3.20		78.357		78.758

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.71 Desplazamientos y derivas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	49.60	49.20	0.00209	0.00159
9	49.10	48.90	0.00254	0.00209
8	48.60	48.50	0.00308	0.00268
7	48.00	47.90	0.00364	0.00330
6	47.20	47.20	0.00420	0.00393
5	46.30	46.40	0.00476	0.00457
4	45.30	45.40	0.00536	0.00526
3	44.20	44.30	0.00611	0.00611
2	42.90	43.00	0.00732	0.00743
1	41.30	41.40	0.01048	0.01069

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.72 Modos de vibración y masas participativas del edificio aporticado cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1.00	3.98	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2.00	3.97	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3.00	3.48	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4.00	0.69	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5.00	0.68	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6.00	0.56	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8.00	0.29	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9.00	0.26	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10.00	0.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11.00	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13.00	0.12	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14.00	0.11	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15.00	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18.00	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21.00	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.6 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO A CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.73 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A

DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coeficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (D_m)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (T_{min})	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (M_m)	2.44	cm
Altura de la placa (T_{max})	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (L_{cp})	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (C_m)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (H_{act})	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (L_{sp})	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	3.70	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (h_r)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.74 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS

Fuerza Característica (F_f)	15.456	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	34.398	Ton
Rigidez postfluencia (k_p)	11.922	Ton/m
Rigidez Elástica (k_e)	618.249	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	64.792	Ton/m
Amortiguamiento Efectivo (B_{eff})	0.286	%
Energía Disipada (E)	298.579	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.98	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.75 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	296.614	32.789	298.345	32.262
9.00	28.80		35.071		34.711
8.00	25.60		32.807		32.681
7.00	22.40		30.812		30.900
6.00	19.20		29.152		29.422
5.00	16.00		27.893		28.302
4.00	12.80		27.079		27.577
3.00	9.60		26.737		27.269
2.00	6.40		26.865		27.375
1.00	3.20		27.409		27.846

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.76 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	18.20	18.00	0.00098	0.00088
9	18.00	17.90	0.00104	0.00093
8	17.80	17.70	0.00110	0.00098
7	17.60	17.50	0.00116	0.00103
6	17.40	17.20	0.00123	0.00109
5	17.10	17.00	0.00130	0.00114
4	16.80	16.80	0.00136	0.00119
3	16.50	16.50	0.00141	0.00123
2	16.20	16.30	0.00152	0.00132
1	15.90	16.00	0.00265	0.00250

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.77 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo A con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.26	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	4.24	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3	3.74	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6	0.45	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8	0.15	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9	0.11	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.7 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO B CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.78 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B

DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coeficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (D_m)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (T_{min})	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (M_m)	2.44	cm
Altura de la placa (T_{max})	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (L_{cp})	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (C_m)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (H_{act})	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (L_{sp})	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	3.70	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (h_r)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.79 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS

Fuerza Característica (F_f)	15.456	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	34.398	Ton
Rigidez postfluencia (k_p)	11.922	Ton/m
Rigidez Elástica (k_e)	618.249	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	64.792	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (B_{eff})	0.286	%
Energía Disipada (E)	298.579	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.98	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.80 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	329.657	36.439	331.581	35.853
9.00	28.80		38.976		38.575
8.00	25.60		36.461		36.321
7.00	22.40		34.244		34.342
6.00	19.20		32.401		32.701
5.00	16.00		31.002		31.456
4.00	12.80		30.097		30.651
3.00	9.60		29.716		30.308
2.00	6.40		29.859		30.426
1.00	3.20		30.463		30.948

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.81 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	20.30	20.00	0.00109	0.00098
9	20.00	19.80	0.00115	0.00104
8	19.80	19.60	0.00122	0.00109
7	19.60	19.40	0.00129	0.00115
6	19.30	19.20	0.00137	0.00121
5	19.00	18.90	0.00144	0.00127
4	18.70	18.60	0.00151	0.00132
3	18.40	18.40	0.00157	0.00136
2	18.10	18.10	0.00168	0.00147
1	17.70	17.80	0.00294	0.00278

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.82 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo B con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.26	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	4.24	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3	3.74	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6	0.45	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8	0.15	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9	0.11	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.8 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO C CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.83 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C

DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coeficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (D_m)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (T_{min})	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (M_m)	2.44	cm
Altura de la placa (T_{max})	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (L_{cp})	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (C_m)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (H_{act})	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (L_{sp})	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	3.70	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (h_r)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.84 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS

Fuerza Característica (F_f)	15.456	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	34.398	Ton
Rigidez postfluencia (k_p)	11.922	Ton/m
Rigidez Elástica (k_e)	618.249	Ton/m
Rigidez Efectiva (k_{eff})	64.792	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (B_{eff})	0.286	%
Energía Disipada (E)	298.579	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.98	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.85 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	533.380	60.073	536.457	58.775
9.00	28.80		63.963		63.027
8.00	25.60		59.486		59.097
7.00	22.40		55.491		55.614
6.00	19.20		52.148		52.715
5.00	16.00		49.626		50.529
4.00	12.80		48.049		49.150
3.00	9.60		47.476		48.623
2.00	6.40		47.895		48.940
1.00	3.20		49.173		49.987

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.86 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	32.80	32.40	0.00177	0.00159
9	32.40	32.10	0.00188	0.00168
8	32.10	31.70	0.00198	0.00176
7	31.60	31.40	0.00210	0.00186
6	31.20	31.00	0.00222	0.00196
5	30.70	30.60	0.00234	0.00206
4	30.30	30.20	0.00245	0.00215
3	29.80	29.70	0.00254	0.00221
2	29.20	29.20	0.00273	0.00238
1	28.60	28.70	0.00476	0.00450

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.87 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo C con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.26	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	4.24	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3	3.74	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6	0.45	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8	0.15	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9	0.11	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.9 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO D CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.88 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D

DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coeficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (Dm)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (Tmin)	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (Mm)	2.44	cm
Altura de la placa (Tmax)	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (Lcp)	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (Cm)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (Hact)	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (Lsp)	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	3.70	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (hr)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.89 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS

Fuerza Característica (Ff)	15.456	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	35.810	Ton
Rigidez postfluencia (kp)	26.710	Ton/m
Rigidez Elástica (ke)	618.249	Ton/m
Rigidez Efectiva (keff)	80.100	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (Beff)	0.275	%
Energía Disipada (E)	354.122	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.70	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.90 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	696.522	76.995	701.463	75.003
9.00	28.80		82.569		81.163
8.00	25.60		77.374		76.824
7.00	22.40		72.708		72.949
6.00	19.20		68.754		69.665
5.00	16.00		65.682		67.094
4.00	12.80		63.615		65.317
3.00	9.60		62.609		64.373
2.00	6.40		62.649		64.255
1.00	3.20		63.567		64.822

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.91 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	36.10	35.60	0.00231	0.00208
9	35.60	35.20	0.00245	0.00219
8	35.10	34.70	0.00258	0.00230
7	34.60	34.20	0.00274	0.00243
6	34.00	33.70	0.00290	0.00256
5	33.40	33.20	0.00306	0.00268
4	32.70	32.60	0.00320	0.00280
3	32.10	32.00	0.00332	0.00289
2	31.40	31.40	0.00357	0.00311
1	30.60	30.80	0.00622	0.00589

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.92 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS

Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	3.89	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	3.86	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3	3.39	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5	0.59	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6	0.45	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8	0.15	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9	0.11	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

8.3.10 EDIFICIO CON MUROS DE CORTE CIMENTADO EN SUELO TIPO C CON AISLADORES TIPO PENDULO DE FRICCION FPS

TABLA 8.93 Dimensiones y características del aislador FPS para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E

DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS DEL AISLADOR		
Esfuerzo de tensión (T_{ss})	450	kg/cm ²
Coeficiente de fricción (μ)	0.06	
Placa cóncava		
Diámetro de la placa (Dm)	38.06	cm
Radio de curvatura (R)	83.46	cm
Espesor de la placa central (Tmin)	1.90	cm
Espesor de la placa lateral (Mm)	2.44	cm
Altura de la placa (Tmax)	4.34	cm
Longitud de placa cuadrada (Lcp)	39.96	cm
Placa convexa		
Diámetro de la placa (Cm)	38.09	cm
Espesor de la placa central (H)	2.20	cm
Espesor de la placa lateral	1.90	cm
Altura del cojinete (Hact)	4.10	cm
Placa de deslizamiento		
Longitud de la placa (Lsp)	95.00	cm
Radio de curvatura (R)	3.70	cm
Espesor de la placa central (t)	3.81	cm
Altura de los topes (hr)	9.19	cm
Espesor de los topes (r)	2.54	cm
Placa superior		
Longitud de la placa (L)	100.08	cm
Espesor de la placa (t)	3.18	cm

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.94 Propiedades del modelo bilineal para el edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS

Fuerza Característica (Ff)	15.456	Ton
Fuerza Máxima del Aislador (F)	35.810	Ton
Rigidez postfluencia (kp)	26.710	Ton/m
Rigidez Elástica (ke)	618.249	Ton/m
Rigidez Efectiva (keff)	80.100	Ton/m
Amortiguamiento Efectico (Beff)	0.275	%
Energía Disipada (E)	354.122	Ton-m
Radio de Curvatura (R)	3.70	m

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.95 Cortante dinámico, fuerzas por piso, del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con sistema de aislación FPS

Nivel	Alturas m	Vo X ton	FiX ton	Vo Y ton	FiY ton
10.00	32.00	950.768	95.317	961.129	94.721
9.00	28.80		105.579		105.395
8.00	25.60		102.278		102.576
7.00	22.40		99.188		99.936
6.00	19.20		96.372		97.517
5.00	16.00		93.889		95.359
4.00	12.80		91.778		93.490
3.00	9.60		90.052		91.920
2.00	6.40		88.707		90.653
1.00	3.20		87.607		89.563

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 8.96 Desplazamientos y derivas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo E con aisladores FPS

Nivel	Desplazamiento		Deriva	
	X cm	Y cm	Deriva X	Deriva Y
10	49.20	48.70	0.00309	0.00280
9	48.60	48.10	0.00327	0.00296
8	47.90	47.50	0.00346	0.00311
7	47.10	46.80	0.00367	0.00328
6	46.30	46.10	0.00389	0.00346
5	45.50	45.40	0.00412	0.00364
4	44.70	44.60	0.00432	0.00381
3	43.70	43.80	0.00449	0.00393
2	42.80	43.00	0.00484	0.00424
1	41.80	42.10	0.00848	0.00806

Elaborado por: Erik Villavicencio

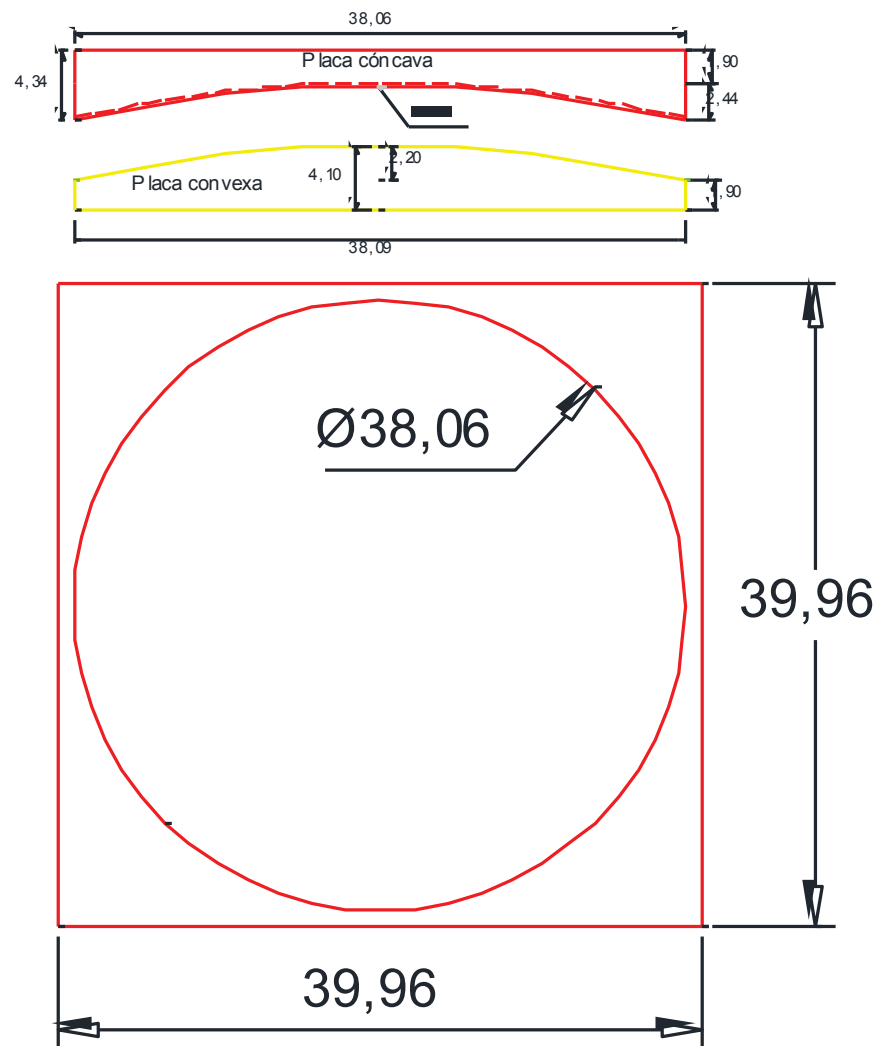
TABLA 8.97 Modos de vibración y masas participativas del edificio con muros de corte cimentado en suelo tipo D con aisladores FPS

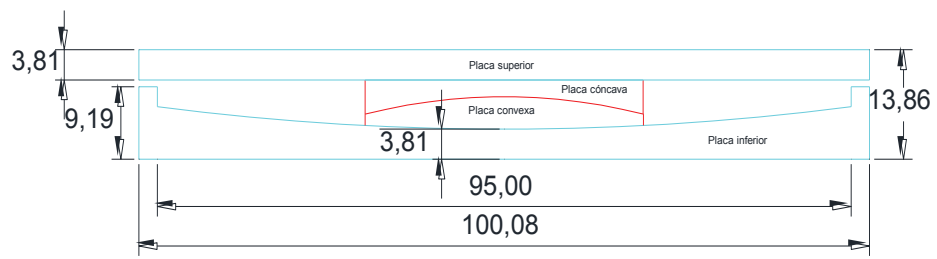
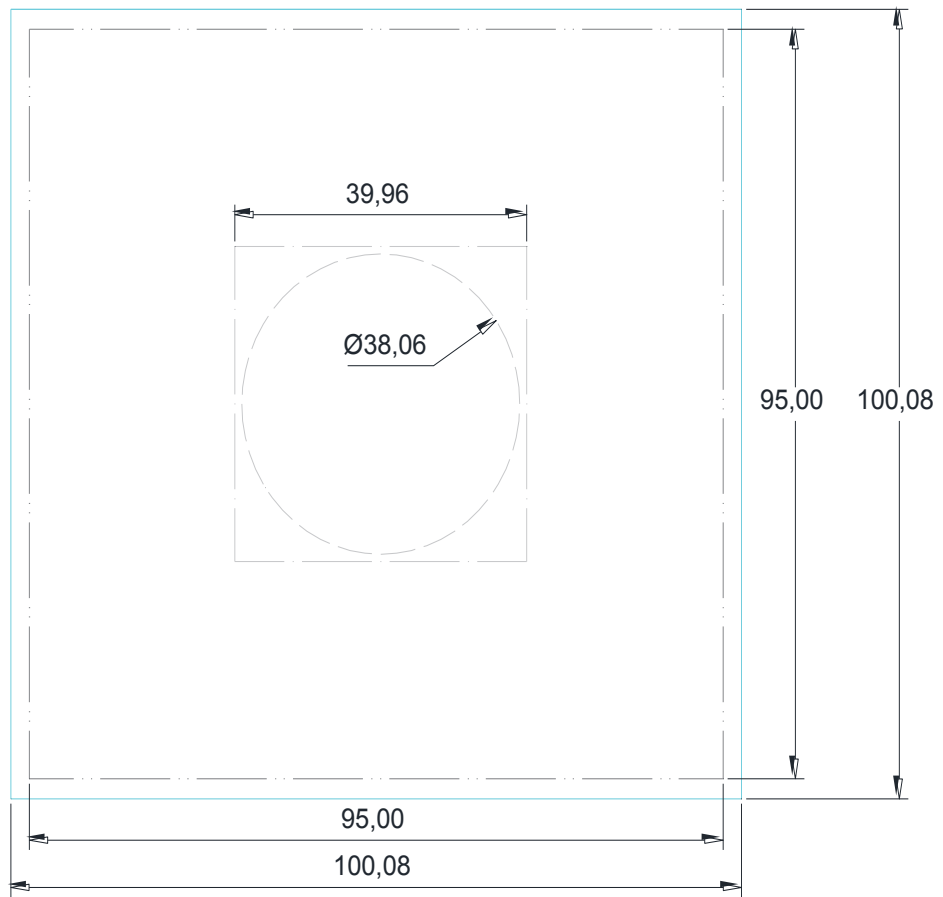
Modo	Periodo	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	3.89	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	3.86	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
3	3.39	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
5	0.59	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
6	0.45	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
7	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
8	0.15	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
9	0.11	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
10	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
11	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
13	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
14	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
15	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
16	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
17	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
18	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
20	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
21	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
22	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
23	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
24	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
25	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
26	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
27	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
28	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
29	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
30	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Elaborado por: Erik Villavicencio

A continuación se presentan en la figura 8.13, figura 8.14, los esquemas de los aisladores tipo péndulo de fricción FPS, recordando que se diseñaron muy semejantes en, características, materiales y dimensiones, para poder comparar cómo influye los aisladores en el comportamiento estructural en los edificios aporticados, versus, edificios con muros de corte, con respecto a los diferentes espectros de diseño que propone la norma ecuatoriana de la construcción NEC-2015.

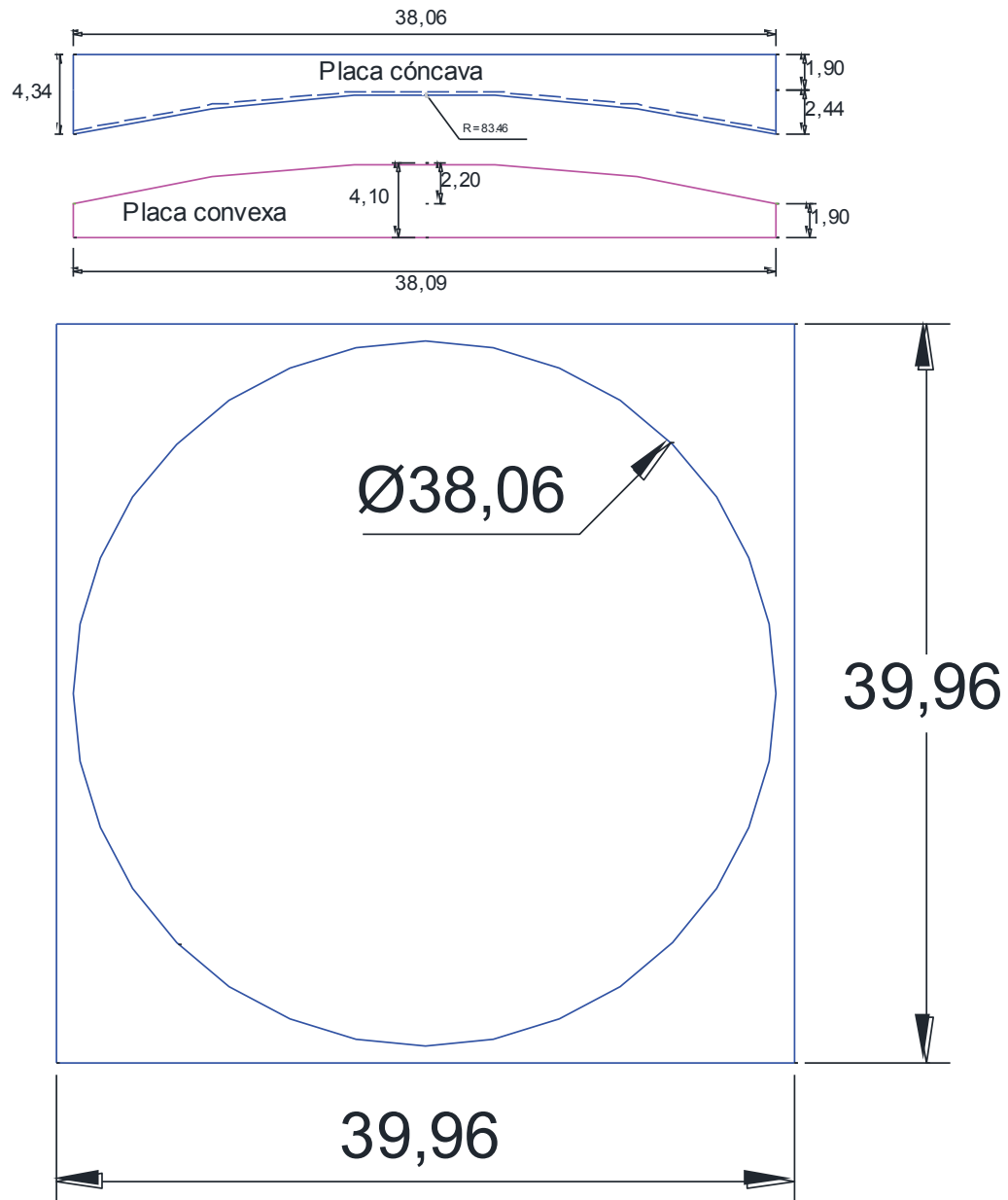
FIGURA 8.13 Aislador tipo péndulo de fricción modelado en, edificios aporticados y con muros de corte, empleando el espectro de diseño del suelo tipo A, B, C

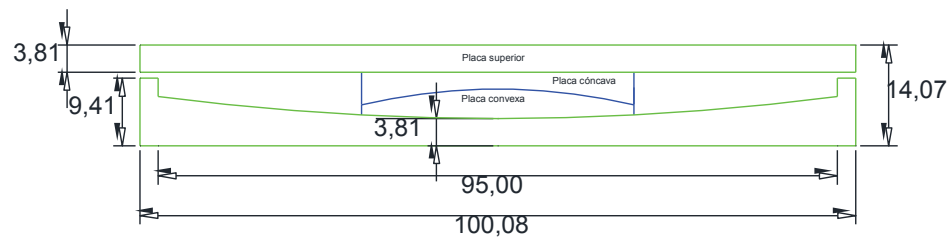
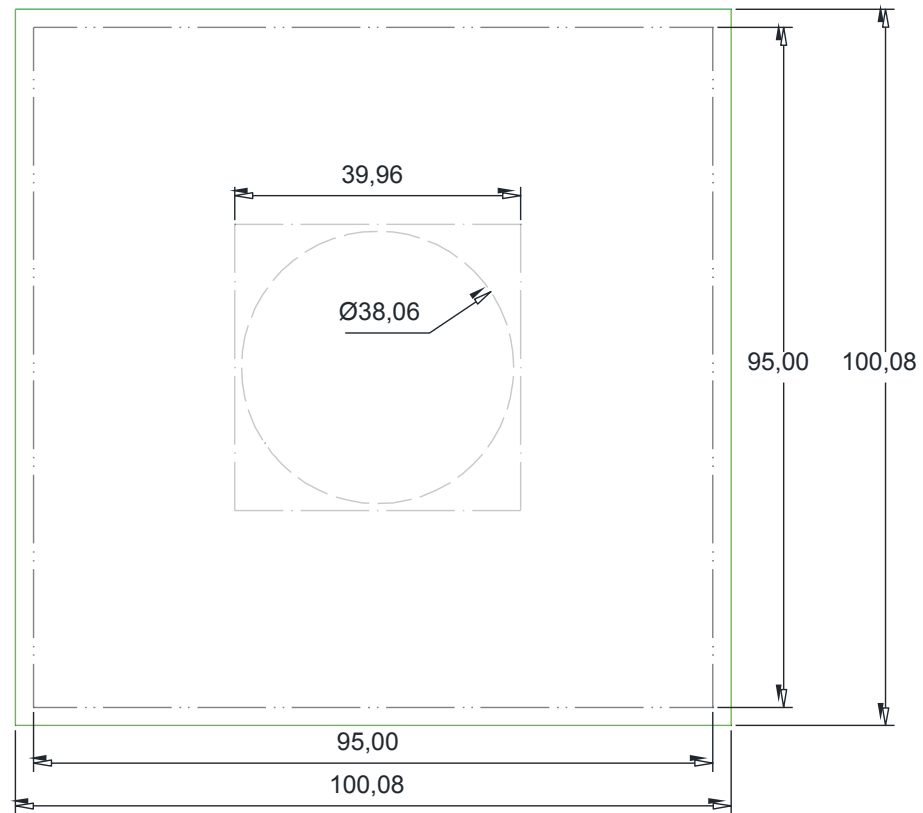




Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 8.14 Aislador tipo péndulo de fricción modelado en, edificios aporricados y con muros de corte, empleando el espectro de diseño del suelo tipo D, E





Elaborado por: Erik Villavicencio

CAPÍTULO 9

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

9.1 RELACIÓN DE PERIODOS FUNDAMENTALES

Como ya sabemos, el período de la estructura depende de las características geométricas, físicas y del tipo de material de los elementos estructurales, es decir, se puede modificar y variar secciones para obtener períodos de vibración deseados. Sin embargo, si bien períodos cortos son producto de estructuras rígidas, y períodos largos son producto de estructuras flexibles, ambas tienen problemas ante cargas dinámicas como las de un sismo, por un lado la probabilidad de amplificaciones muy grandes en aceleración (resonancia), y por otro lado, deformaciones muy grandes en el caso de períodos largos. Por esta razón el período fundamental de nuestras estructuras aisladas se las diseño con un período objetivo lo más cercano a 4.00seg, teniendo una relación de períodos de los edificios aporticados empotrados versus edificios aporticados aislados de 3.05 (promedio), y una relación entre los edificios con muros de corte empotrados versus los edificios aislados con muros de corte de 5.00 (promedio).

TABLA 9.1 Relación de períodos de edificios aporticados empotrados versus edificios aporticados aislados

Suelo Tipo	Empotrado Período (s)	LRB Período (s)	Relación EMP-LRB	FPS Período (s)	Relación EMP-FPS
A	1.31	4.28	3.27	4.31	3.29
B	1.31	4.28	3.27	4.31	3.29
C	1.31	4.09	3.12	4.31	3.29
D	1.31	3.93	3.00	3.98	3.04
E	1.31	3.83	2.92	3.98	3.04

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 9.2 Relación de periodos de edificios con muros de corte empotrados versus edificios con muros de corte aislados

Suelo Tipo	Empotrado Periodo (s)	LRB Periodo (s)	Relación EMP-LRB	FPS Periodo (s)	Relación EMP-FPS
A	0.81	4.24	5.23	4.26	5.26
B	0.81	4.24	5.23	4.26	5.26
C	0.81	4.04	4.99	4.26	5.26
D	0.81	3.86	4.77	3.89	4.80
E	0.81	3.75	4.63	3.89	4.80

Elaborado por: Erik Villavicencio

9.2 CORTANTES DE PISO Y CORTANTE BASAL

TABLA 9.3 Reducción de cortantes basales de los edificios aislados versus edificios empotrados

Suelo Tipo	Empotrado V (Ton)	LRB V (Ton)	Reducción (%)	FPS V (Ton)	Reducción (%)
A	293.36	293.13	0.08%	289.88	1.19%
B	325.82	290.76	10.76%	288.12	11.57%
C	559.37	528.84	5.46%	499.52	10.70%
D	661.86	649.25	1.91%	638.54	3.52%
E	820.93	928.96	N/A	870.84	N/A

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 9.4 Reducción de cortantes basales de los edificios aislados con muros de corte versus edificios empotrados con muros de corte

Suelo Tipo	Empotrado V (Ton)	LRB V (Ton)	Reducción (%)	FPS V (Ton)	Reducción (%)
A	512.71	298.11	41.86%	296.61	42.15%
B	566.51	331.33	41.51%	329.65	41.81%
C	980.44	562.99	42.58%	533.38	45.60%
D	1184.69	701.04	40.83%	696.52	41.21%
E	855.80	1001.58	N/A	950.76	N/A

Elaborado por: Erik Villavicencio

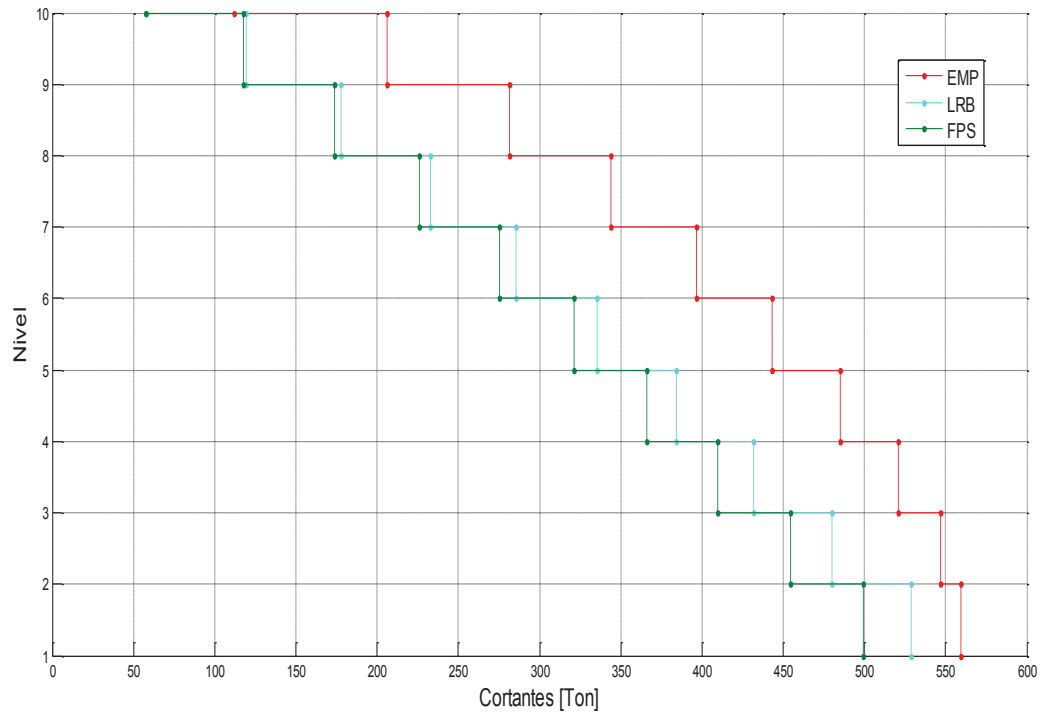
Los cortantes de base son un parámetro de diseño muy importante ya que refleja de manera directa el nivel de esfuerzos de la estructura, que a la vez influye sobre los daños a elementos estructurales y las plastificaciones de ellos.

Observamos los valores del cortante basal en sentido X (por ser los más críticos), son muy parecidos en los edificios aporticados, tanto aislados versus empotrados, apenas hay una reducción de las fuerzas laterales con el sistema de aislación (LRB) aproximadamente del 5% (promedio); con el sistema de aislación (FPS) se observa una reducción de fuerzas laterales aproximadamente del 7% (promedio). En el suelo tipo E observamos algo muy particular, no se redujeron las fuerzas sísmicas en los sistemas de aislación, al contrario se magnificaron, produciendo fuerzas laterales mayores.

Los cortantes basales de los edificios con muros de corte, aislados versus empotrados, observamos que hay bastante diferencia, las fuerzas laterales del sistema de aislación (LRB) se reducen aproximadamente del 42% (promedio), con el sistema de aislación (FPS) las fuerzas laterales se reducen aproximadamente un 43% (promedio), lo que se considera muy satisfactorio. Observamos algo muy particular en el suelo tipo E, no se redujeron las fuerzas sísmicas, al contrario se magnificaron.

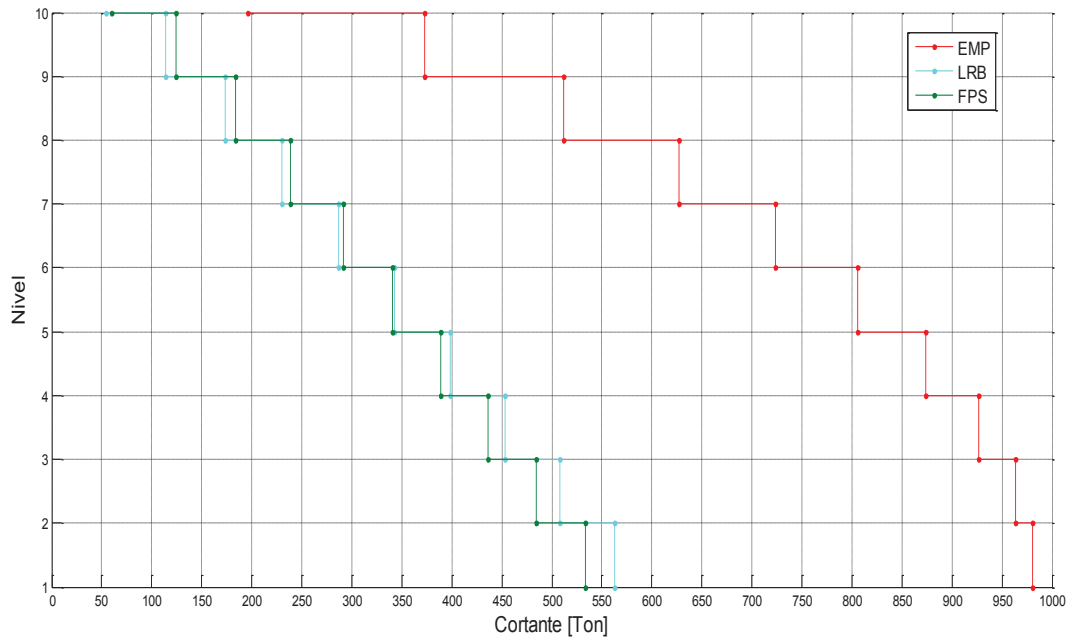
A continuación se presentan los edificios empotrados y con muros de corte los cuales están cimentados en el suelo tipo C; figura 9.1, figura 9.2, respectivamente. Observamos la distribución de fuerzas laterales en pisos, para edificios empotrados tanto aporticados y con muros su distribución de fuerzas laterales es triangular y presentan amplificaciones en altura, en cambio en edificios con sistemas de aislamiento sísmico las fuerzas sísmicas tienen una distribución rectangular por consiguiente fuerzas laterales en piso menores y prácticamente constantes.

FIGURA 9.1 Cortante de piso edificios aporticados cimentado en suelo tipo C



Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 9.2 Cortante de piso edificios con muros de corte cimentado en suelo tipo C



Elaborado por: Erik Villavicencio

9.3 DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS EN EDIFICIOS

TABLA 9.5 Desplazamientos de los edificios aporticados

Suelo Tipo	Empotrado Desplazamiento (cm)	LRB Desplazamiento (cm)	Reducción (%)	FPS Desplazamiento (cm)	Reducción (%)
A	2.40	2.10	12.50%	2.70	N/A
B	2.60	2.00	23.08%	2.80	N/A
C	4.70	3.70	21.28%	4.70	N/A
D	5.70	4.50	21.05%	6.10	N/A
E	7.20	6.40	11.11%	8.30	N/A

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 9.6 Desplazamientos de los edificios con muros de corte

Suelo Tipo	Empotrado Desplazamiento (cm)	LRB Desplazamiento (cm)	Reducción (%)	FPS Desplazamiento (cm)	Reducción (%)
A	1.90	1.00	47.37%	2.30	N/A
B	2.10	1.00	52.38%	2.60	N/A
C	3.80	1.80	52.63%	4.20	N/A
D	4.70	2.20	53.19%	5.50	N/A
E	3.50	3.20	8.57%	7.40	N/A

Elaborado por: Erik Villavicencio

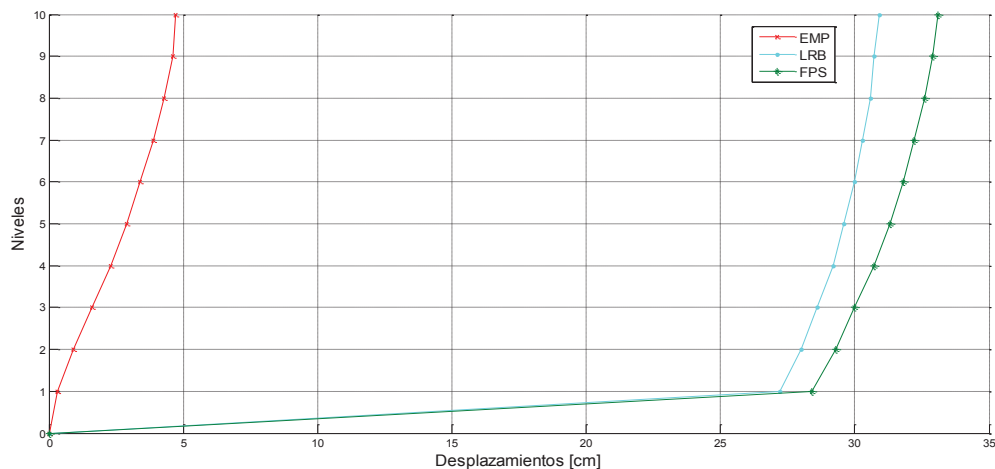
Los desplazamientos máximos son un parámetro importante en el diseño sísmico, debido a que está relacionado de manera muy directa con el daño a elementos estructurales y no estructurales, por lo tanto su eficiencia en este aspecto se transmite en una mayor protección sobre la estructura.

Observamos los valores de los desplazamientos máximos en sentido X (por ser los más críticos), en los edificios aporticados, tanto aislados versus empotrados, hay una reducción de los desplazamientos laterales con el sistema de aislación (LRB) aproximadamente del 17% (promedio); con el sistema de aislación (FPS) se observa una amplificación de desplazamientos, esto se debe fundamentalmente

que este tipo de sistema presenta mayor deformación en la interfaz de aislación y a su vez estas deformaciones se distribuyen a los elementos estructurales del edificio.

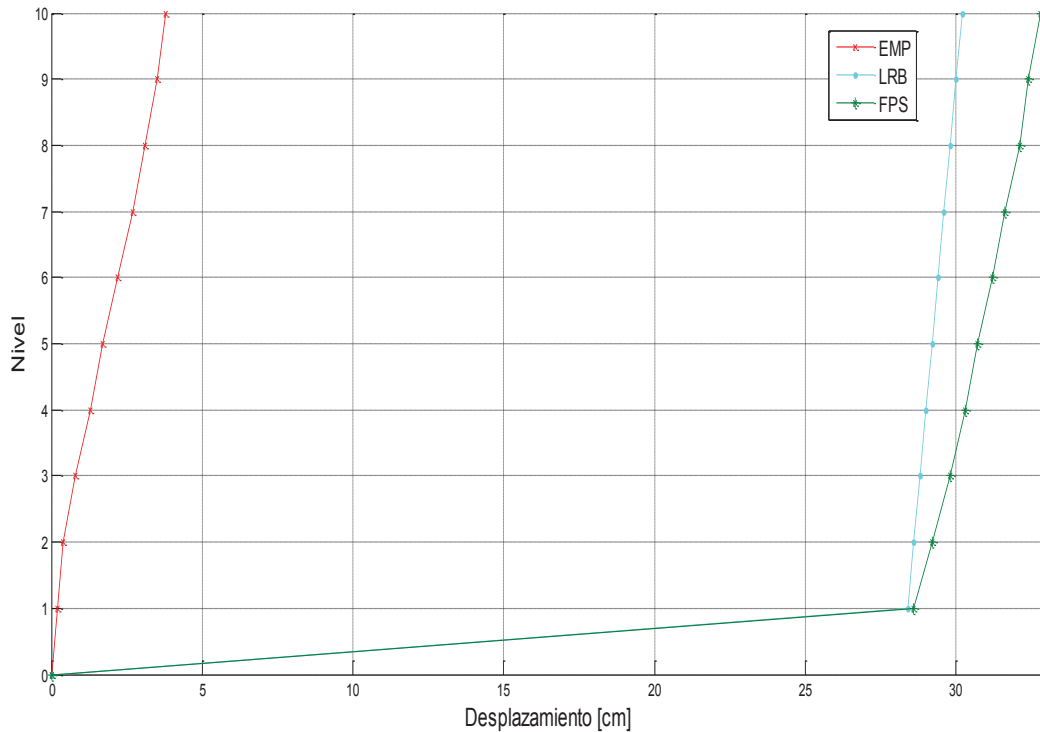
Los desplazamientos máximos en sentido X (por ser los más críticos), en los edificios con muros de corte, tanto aislados versus empotrados, se obtienen reducciones en los desplazamientos laterales muy significativas, con el sistema de aislación (LRB) aproximadamente del 43% (promedio); con el sistema de aislación (FPS) se observa una amplificación de desplazamientos, esto se debe fundamentalmente que este tipo de sistema presenta mayor deformación en la interfaz de aislación y a su vez estas deformaciones se distribuyen a los elementos estructurales del edificio. A continuación se presentan los edificios empotrados y con muros de corte los cuales están cimentados en el suelo tipo C; figura 9.3, figura 9.4, los valores de desplazamiento máximo de cada nivel respecto a la base, con ello se puede entender claramente que la mayor deformación ocurre en la interfaz de aislación, lo contrario ocurre en los edificios empotrados que no representan desplazamientos a nivel de su base; se puede apreciar por la forma de la curva que los desplazamientos de los diferentes niveles se van amplificando a medida que aumenta la altura, lo que es un comportamiento típico de la estructuras convencionales.

FIGURA 9.3 Desplazamientos de los edificios aporcados cimentado en el suelo tipo C



Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 9.4 Desplazamientos de los edificios con muros de corte cimentado en el suelo tipo C



Elaborado por: Erik Villavicencio

9.4 DERIVAS MÁXIMAS DE LOS EDIFICIOS

TABLA 9.7 Derivas de piso de los edificios aporricados

Suelo Tipo	Empotrado Deriva (%)	LRB Deriva (%)	Reducción (%)	FPS Deriva (%)	Reducción (%)
A	0.74%	0.31%	58.16%	0.35%	52.90%
B	0.82%	0.31%	62.58%	0.35%	57.96%
C	1.47%	0.56%	61.71%	0.60%	58.98%
D	1.76%	0.69%	60.80%	0.77%	56.18%
E	2.00%	0.99%	50.70%	1.05%	47.60%

Elaborado por: Erik Villavicencio

TABLA 9.8 Derivas de piso de los edificios con muros de corte

Suelo Tipo	Empotrado Deriva (%)	LRB Deriva (%)	Reducción (%)	FPS Deriva (%)	Reducción (%)
A	0.48%	0.17%	64.18%	0.27%	45.13%
B	0.53%	0.19%	63.72%	0.29%	44.74%
C	0.97%	0.33%	66.22%	0.48%	50.83%
D	1.19%	0.41%	65.77%	0.62%	47.69%
E	0.87%	0.58%	33.18%	0.85%	2.64%

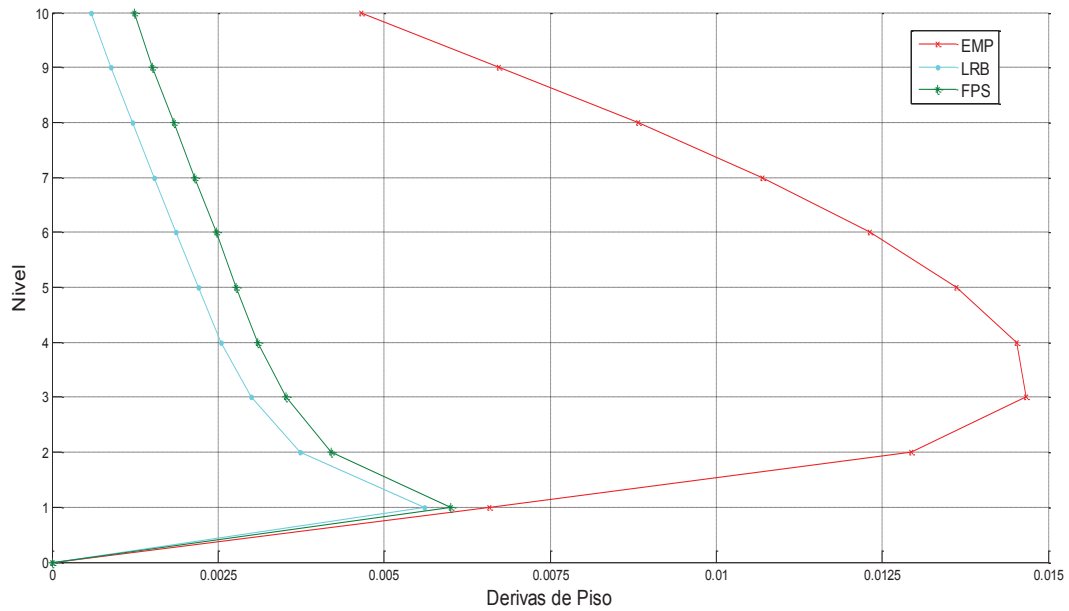
Elaborado por: Erik Villavicencio

El desplazamiento de entrepiso o deriva de piso es un parámetro importante de diseño debido a que está relacionado de manera muy directa con el daño a elementos estructurales y no estructurales, por lo tanto su eficiencia se transmite en una mayor protección sobre la estructura. Por todo esto para que los sistemas de aislación sean eficaces la superestructura no debería presentar grandes desplazamientos relativos.

Las derivas de los edificios aporticados y con muros de corte de los dos sistemas de aislación con respecto a los edificios empotrados se consideran muy satisfactorias, ya que en los dos sistemas aproximadamente se reducen los desplazamientos relativos de piso aproximadamente 50% (promedio).

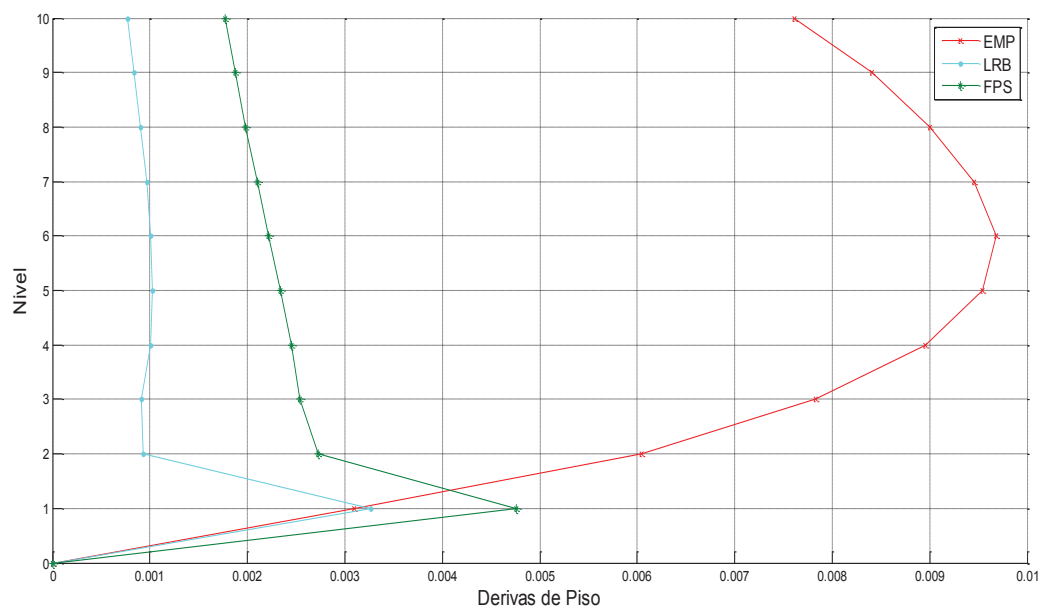
A continuación para mejor entendimiento de los lectores se presentan las figuras 9.5, 9.6, observamos en el edificio aporticado empotrado la deriva máxima se produce en el tercer piso, en el edificio con muros de corte empotrado la deriva máxima se produce en el sexto piso, formas comunes en este tipo de estructuras, en cambio en los edificios con los dos sistemas de aislación independientemente de su configuración estructural las máximas derivas se producen en el primer piso lo que es muy normal en estos tipos de sistemas de aislación.

FIGURA 9.5 Derivas de piso de los edificios aporricados cimentado en el suelo tipo C



Elaborado por: Erik Villavicencio

FIGURA 9.6 Derivas de piso de los edificios con muros de corte cimentado en el suelo tipo C



Elaborado por: Erik Villavicencio

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El procedimiento de diseño de los aisladores ya sean, elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) o los de simple péndulo de fricción (FPS), es un método iterativo; en el primero consisten en asumir correctamente los espesores de las capas del elastómero y acero, ya que a mayor altura del elastómero se incrementa la vulnerabilidad de pandeo de los mismos, afectando la estabilidad estructural de la superestructura; en los aisladores (FPS) es recomendable trabajar con un coeficiente de fricción bajo ya que disminuye las fuerzas de fricción tangenciales.
- Dos factores muy importantes a tener en cuenta en el análisis dinámico de estructuras aisladas, el primero es el periodo de vibración que está en función de su rigidez y la masa; el segundo es la frecuencia de excitación del suelo, ambos valores deben ser totalmente diferentes para que no se produzca el fenómeno conocido como resonancia.
- Se recomienda para usos prácticos tener aisladores que tengan las mismas características, formas y dimensiones ya que resulta más económico debido al ahorro que se genera al no tener que hacer pruebas costosas para cada dispositivo previo a su diseño final.
- Se observó que el diseño estructural de la superestructura es el mismo que si fuera una estructura convencional, con la precaución que las columnas que se conectan a las vigas del interfaz de aislación y estas a la cimentación están más solicitadas en cortante y a los desplazamientos; como se muestra en las figuras 9.3, 9.4 los mayores desplazamientos se dan en el sistema de aislación y la superestructura se mueve como un cuerpo rígido, todo lo

contrario a los edificios empotrados en su base que presentan desplazamientos en todos los niveles amplificándose a medida que aumenta la altura del edificio.

- El periodo natural de la estructura convencional es un indicador que tan eficiente va a ser el sistema de aislación, ya que para estructuras altas y flexibles se tienen periodos largos y esto impide conseguir una diferencia con el periodo de la estructura aislada, como se observa en la tabla 9.1 y 9.2, los edificios empotrados aporticados tienen un periodo fundamental de 1.31seg mientras que los edificios aislados tiene aproximadamente un periodo fundamental de 4.00seg, teniendo una relación de 3.05, lo contrario a los edificios con muros de corte que tienen un periodo fundamental de 0.813seg y se llega a tener una relación de 5.00, se puede concluir que los edificios rígidos se prestan mejor para el sistema de aislación sísmica.
- En el análisis modal espectral de los edificios aislados independientemente de su configuración estructural se observa que los periodos de vibración están muy cercanos al periodo objetivo siendo los tres primeros modos muy parecidos entre sí, los dos primeros modos son traslacionales y el tercer modo torsional; se obtuvo un porcentaje del 99% de masas participativas en sentido X, en el primer modo de vibración, en cambio en los edificios empotrados se obtuvo el 93% de masas participativas en sentido X en el séptimo modo de vibración.
- Algo muy particular se puede observar en las tablas 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, en el tipo de suelo E para los edificios aislados, independientemente de su configuración estructural y de su sistema de aislación; se magnificaron fuerzas cortantes y desplazamientos, este fenómeno se debe especialmente a que estos tipos de suelos tienen frecuencias de excitación bajas produciendo amplificación y resultados indeseables.
- Finalmente como conclusión final de este trabajo se puede observar que los dos sistemas de aislamiento sísmico (LRB) y (FPS), el que mejor respuesta

sísmica presenta son los aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) tanto para los edificios aporticados como para los edificios con muros de corte, presentan reducciones en fuerzas cortantes de piso, cortantes basales, desplazamientos y derivas de pisos.

RECOMENDACIONES

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 toma como guía para el diseño de estructuras aisladas las recomendaciones de “Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures FEMA-450”, en la cual se presentan coeficientes, parámetros sísmicos y ecuaciones, diferentes a la norma NEC-2015 lo cual debería analizarse y estudiarse a fondo para interpolarse a la realidad Ecuatoriana y así tener mayor certidumbre en los cálculos.

Realizar investigaciones y ensayos cerca de la unión y detallado de los elementos abajo y arriba de la interfaz de aislación ya que es una parte neurálgica del sistema de aislación y no se encuentra muy bien difundida ni detallada en la bibliografía existente.

Profundizar más sobre el aislamiento sísmico en el Ecuador tanto en la parte teórica como en la parte de ensayos de materiales y poder incorporar un código propio de aislación sísmica aplicada a la realidad ecuatoriana, y así aprovechar al máximo las ventajas del sistema de aislamiento y a la vez reducir la vulnerabilidad sísmica de cualquier edificación ante un evento sísmico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acevedo, A. (2003). Seismological Criteria for Selecting and Scaling Real Accelerograms for use in Engineering Analysis and Design. Master Thesis in Earthquake Engineerin: Rose School. Pavía.

Aguiar , R. (2006). Dinámica de Estructuras con Matlab. Quito: Escuela Superior Politécnica del Ejército.

Aguiar Falconí, R. (2011). El Mega Sismo de Chile 2010 y Lecciones para el Ecuador. Quito: Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH.

Aguiar Falconí, R., Almazán, J. L., Dechent, P., & Suárez, V. (2008). Aisladores de Base Elastoméricos y Fps. Quito: Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército.

Aguiar, R. (2008). Análisis Sísmico de Edificios. Quito: Centro de Investigaciones Científicas.

Aguiar, R. (2013). Microzonificación Sísmica de Quito. Quito: Centro de Investigaciones Científicas.

Aguiar, R., Vergara, F., Guaygua, B., & Monge, J. (2014). Análisis Sísmico de una Estructura con Aisladores FPS de Primera y Segunda Generacion y Elastoméricos con Núcleo de Plomo. Revista Internacional de Estructuras, pp 55.

Auqui Parra, M. V. (2010). Análisis de Aisladores Sismicos Elastoméricos Construidos en el Ecuador. Tesis de Grado .Escuela Politécnica del Ejército: Salgolquí.

Constantinou, M. (2004). Friction Pendulum Double Concave Bearing. New York: University at Buffalo.

Corona, A. M. (2007). Sistemas de Aisladores Sismicos de Base para Edificios. Mexico D.F, Mexico.

Crisafulli, F., & Villafañe, E. (2002). Espectros de Respuestas y de Diseño. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo Facultad de Ingeniería.

Farzad, N., & James M, K. (1999). Design of Seismic Isolated Structures. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

FEMA-450. (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Washington, D.C.

FEMA-451. (2006). NEHRP Recommended Provisions: Design Examples. Washington, D.C.

Fenz, D., & Constantinou, M. (2008). Mechanical Behavior of Multi-Spherical. Technical Report MCEER-08-0007.

Herraiz, M. (1997). Conceptos Basicos de Sismologia para Ingenieros. Lima: Cismid.

I. Kalpakidis, M. C. Constantinou, A. Filiatrault, & R.A. Ecker Lay. (2011). LRFD-Based Analysis and Design Procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators. Technical Report.

Jumaat, M. J. (2011). Seismic Isolation in Buildings to be a Practical Reality: Behavior of Structure and Installation Technique. Journal of Engineering and Technology Research, 19.

Lozano, J. M. (2010). Coeficiente de Fricción Óptimo Para el Diseño de Estructuras Aisladas Ubicadas en la Costa de Guerrero. Maestro en Ingeniería Estructural, Tesis: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Mahin, T. A.-S. (2011). The Use of Base Isolation Systems to Achieve Complex Seismic Performance Objectives. California: Pacific Earthquake Engineering Research Center.

Mesa Blandón, R. I., & Sanchez Garcia, E. E. (2010). Guia de Diseño Sismico de Alisladores Elastomericos y de Friccion para la Republica de Nicaragua Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingenieria: Managua.

Monrroy Rocano, C. M., Cando Cando, F. A., Ortega Sarmiento, J. C., & Puerres Guilcazo, O. A. (2012). Aislación Sísmica de un Edificio (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). Tesis de Grado. Universidad Central del Ecuador: Quito.

NCh2745-2003, N. C. Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica - Requisitos. Chile.

Nikolay Kravchuk, R. C. (2008). Development of a Friction Pendulum Bearing Base Isolation System for Earthquake Engineering Education. Sacramento: California State University, Sacramento, CA.

Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC. (2015). Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente. Quito: Capítulo 2.

Singaucho, J. C. (2013). Apuntes Riesgo Sismico. Maestria Estructuras EPN: Quito.

Trevor E, K. (2001). Base Isolation of Structures. Wellington: Holmes Consulting Group Ltd.