



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE AMORTIGUAMIENTO Y SU FACTIBILIDAD EN  
ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO EN VENEZUELA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR:

Franco Casanova, Simón de Jesús

Rosales Malpica, Diego José Napoleón

TUTOR:

Ing. Vincenzo Bonadio

FECHA:

Junio, 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha  
evaluado su contenido con el resultado: .....**

**JURADO EXAMINADOR**

Firma:

Firma:

Firma:

Nombre: .....

Nombre: .....

Nombre: .....

REALIZADO POR:

Franco Casanova, Simón de Jesús

Rosales Malpica, Diego José Napoleón

TUTOR:

Ing. Vincenzo Bonadio

FECHA:

Junio, 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo, a nuestro señor Dios, por ser nuestra guía, darnos salud, paciencia y disciplina.

A todas aquellas personas que nos motivaron con entusiasmo, energía y que hicieron posible que esta meta se haya alcanzado, especialmente a nuestros familiares y nuestros amigos.

A nuestro profesor guía Ing. Vincenzo Bonadío por brindarnos su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Eduardo López, quien nos brindó sus conocimientos en el software ETABS 2016.

Al Ing. José Manuel Velásquez por darnos su ayuda en el proceso de investigación en el ámbito del diseño sismorresistente.

Al Ing. Luis Contreras, quien estando fuera de Caracas, prestó su más enfática colaboración, en el desarrollo general del presente Trabajo Especial de Grado de manera incondicional, así como su preocupación en la evolución del mismo, por su gran paciencia y estando siempre a la orden ante cualquier duda que se nos presentaba. Siendo para nosotros un gran apoyo a lo largo de este proceso.

A la UCAB, la cual representa para nosotros nuestra segunda casa, y alma mater a lo largo de nuestro ejercicio profesional.

Finalmente a nosotros, por qué con esfuerzo, sacrificio, días y noches de arduo trabajo, y con la ayuda de los mencionados anteriormente, pudimos concretar satisfactoriamente nuestro Trabajo Especial de Grado.

De antemano ¡GRACIAS!

## **DEDICATORIA**

Con el apoyo incondicional de mi mamá Silvia Santini quien ha sido y siempre será mi horizonte donde quiera que esté.

A mi papá Miguel Santini por ser siempre mi respaldo en todos los logros y dificultades.

A mi abuela Miryam Vargas y mis hermanas Astrid Franco y Bárbara Franco, por estar siempre a mi lado.

**Simón De Jesús Franco Casanova**

A mi madre, Silvia Malpica, por ser siempre la guía en mis caminos, brindarme su amor, ayuda y apoyo incondicional en todo momento.

A la memoria de mi padre, Luis Rosales, por ser más que un padre, un amigo, una fortaleza en mis momentos de debilidad, ojalá estuvieras presente para celebrar conmigo esta meta tan importante.

A toda mi familia por brindarme su apoyo en las buenas y en las malas, así como su cariño, aprecio y respeto.

**Diego José Napoleón Rosales Malpica**

## ÍNDICE GENERAL

<i>ÍNDICE DE TABLAS</i> .....	4
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....	7
<i>ÍNDICE DE GRÁFICOS</i> .....	11
<i>ÍNDICE DE ANEXOS</i> .....	13
<i>SINOPSIS</i> .....	16
 <i>CAPITULO I</i>	
<i>PROBLEMA DE INVESTIGACION</i> .....	17
I.1 Planteamiento del problema .....	17
I.2 Antecedentes de la Investigación .....	18
I.3 Alcances y Limitaciones .....	22
I.4 Objetivos de la Investigación .....	23
I.4.1 Objetivo General .....	23
I.4.2 Objetivos Específicos .....	23
 <i>CAPITULO II</i>	
<i>MARCO TEORICO</i> .....	24
II.1 Introducción a la Dinámica Estructural .....	24
II.2 Diseño Sismorresistente.....	33
II.3 Sistemas de Protección Sísmica.....	34
II.3.1 Disipadores de Energía .....	37
II.3.1.1 Clasificación de los Disipadores de Energía.....	37
II.3.2 Fundamentos Teóricos de los Disipadores de Fluido Viscoso .....	41
II.3.2.1 Comportamiento Mecánico de un Disipador de Fluido Viscoso .....	42
II.3.2.2 Criterios de ubicación .....	47
II.3.2.3 Efectos de disipadores de energía .....	50

II.3.2 Aisladores Sísmicos .....	52
II.3.2.1 Clasificación de Aisladores Sísmicos .....	55
II.3.2.2 Fundamentos Teóricos de los Aisladores con Núcleo de Plomo .....	61
II.3.2.2.1 Comportamiento Mecánico de los Aisladores con Núcleo de Plomo...	62
 <i>CAPITULO III</i>	
<i>MARCO METODOLOGICO</i> .....	64
 <i>CAPÍTULO IV</i>	
<i>DISEÑO SISMORESISTENTE</i> .....	66
IV.1 Diseño estructural convencional .....	66
IV.1.1 Geometría de la estructura.....	66
IV.1.2 Diseño de estructura de 20 pisos .....	67
IV.1.2.1 Predimensionado de la losa .....	67
IV.1.2.2 Predimensionado de vigas .....	68
IV.1.2.3 Predimensionado de Columns .....	70
IV.1.2.4 Selección del espectro de respuesta.....	70
IV.2 Diseño Estructural con Análisis Tiempo Historia (Time History).....	75
IV.2.1 Diseño con análisis Time History en estructura de 20 pisos.....	78
IV.3 Metodología de diseño para sistemas de protección sísmica .....	82
IV.3.1 Disipador de Fluido Viscoso .....	82
IV.3.1.1 Disipador de energía en estructura de 20 pisos .....	82
IV.3.1.1.1 Disipador tipo Diagonal .....	85
IV.3.1.1.2 Disipador tipo Chevron .....	95
IV.3.2 Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) .....	101
IV.3.2.1 Metodología de diseño .....	101
IV.3.2.1.1 Estructura de 20 pisos.....	101
IV.3.2.2 Diseño aislador de núcleo de plomo para 20 pisos .....	109

*CAPÍTULO V*

*ANÁLISIS DE RESULTADOS* ..... 118

*CAPÍTULO VI*

*CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES* ..... 148

*BIBLIOGRAFÍA*..... 149

*ANEXOS* ..... 152

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cargas verticales.....	67
Tabla 2. Cargas verticales.....	67
Tabla 3. Espesor de losa .....	68
Tabla 4. Longitud de viga.....	69
Tabla 5. Secciones de vigas .....	69
Tabla 6. Valores de factor “k” de columnas.....	70
Tabla 7. Espectro Elástico R=1 .....	71
Tabla 8. Corte basal.....	74
Tabla 9. Valores de deriva.....	78
Tabla 10. Valores de fuerza cortante en pisos .....	79
Tabla 11. Valores de aceleraciones máximas (positivos y negativos) en cada eje.....	80
Tabla 12. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en cada eje.....	81
Tabla 13. Ángulo de inclinación de los disipadores.....	85
Tabla 14. Cálculos de parámetros para obtener el coeficiente de amortiguamiento .....	86
Tabla 15. Cálculos de parámetros para obtener el coeficiente de amortiguamiento .....	86
Tabla 16. Valor del coeficiente de amortiguamiento .....	87
Tabla 17. Cálculo de rigideces .....	88
Tabla 18. Propiedades del perfil metálico .....	88
Tabla 19. Diseño del perfil metálico .....	89
Tabla 20. Verificación de fuerzas de diseño del perfil.....	89
Tabla 21. Propiedades del disipador.....	89
Tabla 22. Valores de deriva.....	91

Tabla 23. Valores de fuerza cortante en pisos .....	92
Tabla 24. Valores de aceleraciones máximas (positivas y negativas) en ambos ejes .....	93
Tabla 25. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en ambos ejes.....	94
Tabla 26. Cálculos de parámetros para obtener el coeficiente de amortiguamiento .....	95
Tabla 27. Valor del coeficiente de amortiguamiento .....	95
Tabla 28. Cálculo de rigideces .....	96
Tabla 29. Propiedades del perfil metálico .....	96
Tabla 30. Valores de deriva.....	97
Tabla 31. Valores de fuerza cortante en pisos .....	98
Tabla 32. Valores de aceleraciones máximas (positivas y negativas) en ambos ejes .....	99
Tabla 33. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en ambos ejes...	100
Tabla 34. Valor de $Z$ .....	102
Tabla 35. Fuente: T.E.G. Carvajal Hendrif y Salazar Jorge.2015.....	102
Tabla 36. Valor $M_m$ .....	102
Tabla 37. Ecuaciones de $C_d$ y $C_m$ .....	103
Tabla 38. Valores para cálculo de aisladores con núcleo de plomo. ....	109
Tabla 39. Valor asumido de $\beta_{eff}$ . ....	109
Tabla 40. Valores “ $Z$ ” y “ $M_m$ ” para tipo de suelo .....	110
Tabla 41. Combinaciones de cargas.. ....	110
Tabla 42. Cálculo de fuerzas máximas y propiedades del aislador. ....	110
Tabla 43. Propiedades de los materiales que componen el aislador, desplazamientos de cálculo y fuerza máxima en el aislador. ....	111
Tabla 44. Valor de rigidez horizontal en conjunto e individual de cada aislador .....	111
Tabla 45. Cálculo de fuerza por cada aislador .....	111

Tabla 46. Cálculo de propiedades para el diseño del aislador con núcleo de plomo. ....	112
Tabla 47. Propiedades del disipador para el modelaje.. .....	113
Tabla 48. Valores de Deriva .....	113
Tabla 49. Valores de fuerza cortante en pisos .....	114
Tabla 50. Valores de aceleraciones máximas (positivos y negativos) en cada eje.....	115
Tabla 51. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en cada eje.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Movimiento periódico (Movimiento Armónico Simple).....	24
Figura 2. Movimiento no periódico (transitorio “sismo”).....	25
Figura 3. Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento.....	26
Figura 4. Vibración libre de sistemas sub-amortiguado, críticamente amortiguados y sobre amortiguado.....	29
Figura 5. Efecto del amortiguamiento sobre una vibración libre.....	29
Figura 6. Vibración libre de sistemas con cuatro niveles de amortiguamiento.....	30
Figura 7. Efecto de amplificación por consecuencia de la resonancia.....	32
Figura 8. Variación en el tiempo de la energía disipada por amortiguamiento viscoso.....	35
Figura 9. Clasificación de los sistemas antisísmicos.....	36
Figura 10. Disipador metálico.....	38
Figura 11. Disipador friccionante.....	38
Figura 12. Disipador de extrusión (diagonales de pandeo restringido, BRB).....	39
Figura 13. Disipador auto-centrante (biela).....	39
Figura 14. Disipador de fluido viscoso Taylor en edificio Torre Mayor.....	40
Figura 15. Disipador de muro viscoso.....	40
Figura 16. Elevación, planta y vista isométrica de un disipador viscoelástico.....	41
Figura 17. Esquema de un disipador de fluido viscoso.....	41
Figura 18. Valores de $\lambda$ , en función del exponente de velocidad $\alpha$ .....	43
Figura 19. Desplazamiento relativo y ángulo del disipador.....	43
Figura 20. Fuerza del disipador vs Velocidad.....	45
Figura 21. Relación fuerza-deformación de un disipador de fluido viscos, lineal y no lineal. .....	45

Figura 22. Disposición Chevron .....	47
Figura 23. Disposición Chevron invertida (Pacific Bell 911, California, USA) .....	48
Figura 24. Disposición Diagonal. ....	48
Figura 25. Disposición Diagonal .....	48
Figura 26. Diferentes tipos de disposición de disipadores .....	49
Figura 27. Efecto de adición de amortiguamiento (amortiguamiento viscoso) en una estructura .....	50
Figura 28. Efecto de adición de rigidez (agregando brazos “perfiles” metálicos) en una estructura .....	50
Figura 29. Efecto de adición de rigidez y amortiguamiento en una estructura .....	51
Figura 30. Incremento del periodo por efecto de la aislación sísmica .....	52
Figura 31. Efecto de aislación sísmica en una estructura. ....	53
Figura 32. Efecto de aislación sísmica y amortiguador suplementario en una estructura....	53
Figura 33. Efecto de reducción del corte basal por el aumento de periodo.....	53
Figura 34. Incremento de la demanda de desplazamiento, ahora concentrado en la base, por efecto del incremento del periodo en la estructura.....	54
Figura 35. Efecto de las condiciones de suelo para estructura sísmicamente aisladas.....	54
Figura 36. Esquema de un aislador elastomérico .....	55
Figura 37. Esquema de un aislador elastomérico .....	56
Figura 38. Aislador Elastomérico HDR .....	56
Figura 39. Aislador Elastomérico LDR.....	57
Figura 40. Esquema de aislador con núcleo de plomo (LBR).....	58
Figura 41. Comportamiento fuerza deformación de aisladores de alto amortiguamiento (HDR), bajo amortiguamiento (LDR) y con núcleo de plomo (LBR) .....	58
Figura 42. Detalle típico de un aislador de péndulo friccionante (FPS).....	59

Figura 43. Aislador de péndulo friccionante (FPS) de primera generación (péndulo simple)	60
Figura 44. Aislador de péndulo friccionante (FPS) de segunda generación (doble péndulo)	60
Figura 45. Aislador de péndulo friccionante (FPS) de tercera generación (triple péndulo).	60
Figura 46. Comportamiento Fuerza-Deformación de un aislador con núcleo de plomo	62
Figura 47. Sección en planta con disposición de vigas y columnas	66
Figura 48. Visualización en planta de la adición de muros de corte	72
Figura 49. Visualización de la adición de muros de corte.	73
Figura 50. Definición del la función Time History	75
Figura 51. Montaje de Acelerograma con Espectro Elástico R=1 (dirección U1)	76
Figura 52. Montaje de Acelerograma con Espectro Elástico R=1 (dirección U2)	76
Figura 53. Definición del caso de carga	77
Figura 18. Valores de $\lambda$ , en función del exponente de velocidad $\alpha$ .	83
Figura 54. Asignación de propiedades para el disipador de fluido viscoso	90
Figuras 55 y 56. Asignación de propiedades para el disipador de fluido viscoso	90
Figuras 57, 58 y 59. Modelaje para el aislador de núcleo de plomo	117
Figura 60. Diagrama de energía disipada de manera convencional	119
Figura 61. Diagrama de energía disipada con disipador en disposición diagonal	119
Figura 62. Diagrama de energía disipada con disipador en disposición chevron	120
Figura 63. Diagrama de energía disipada aislador núcleo de plomo	120
Figura 64. Energía disipada de manera convencional	122
Figura 65. Energía disipada con disipador en disposición diagonal	122
Figura 66. Energía disipada con disipador en disposición chevron	123

Figura 67. Energía disipada aislador núcleo de plomo.....	123
Figura 68. Energía disipada de manera convencional .....	131
Figura 69. Energía disipada con disipador en disposición diagonal.....	131
Figura 70. Energía disipada con disipador en disposición chevron .....	132
Figura 71. Energía disipada aislador núcleo de plomo.....	132
Figura 72. Energía disipada de manera convencional .....	140
Figura 73. Energía disipada con disipador en disposición diagonal.....	140
Figura 74. Energía disipada con disipador en disposición chevron .....	141
Figura 75. Energía disipada aislador núcleo de plomo.....	141

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación de derivas para los diferentes modelos .....	124
Gráfico 2. Variación de derivas para los diferentes modelos .....	124
Gráfico 3. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 30 segundos para mejor apreciación) .....	125
Gráfico 4. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 35 segundos para mejor apreciación) .....	125
Gráfico 5. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos .....	126
Gráfico 6. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos .....	126
Gráfico 7. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos .....	127
Gráfico 8. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos .....	127
Gráfico 9. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos .....	128
Gráfico 10. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos .....	128
Gráfico 11. Variación de derivas para los diferentes modelos .....	133
Gráfico 12. Variación de derivas para los diferentes modelos .....	133
Gráfico 13. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación) .....	134
Gráfico 14. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación) .....	134
Gráfico 15. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos .....	135
Gráfico 16. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos .....	135
Gráfico 17. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos .....	136
Gráfico 18. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos .....	136
Gráfico 19. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos .....	137

Gráfico 20. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos .....	137
Gráfico 21. Variación de derivas para los diferentes modelos .....	142
Gráfico 22. Variación de derivas para los diferentes modelos .....	142
Gráfico 23. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación) .....	143
Gráfico 24. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación) .....	143
Gráfico 25. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos .....	144
Gráfico 26. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos .....	144
Gráfico 27. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos .....	145
Gráfico 28. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos .....	145
Gráfico 29. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos .....	146
Gráfico 30. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos .....	146

## ÍNDICE DE ANEXOS

### I. Diseño estructural

Figura A.I. valores de $A_o$ .....	152
Figura A.II. Forma espectral y factor de corrección $\phi$ .....	152
Figura A.III. Clasificación de la estructura según uso .....	152
Figura A.IV. Factor de importancia.....	153
Figura A.V. nivel de diseño.....	153

### II. Estructura de 30 pisos

Tabla A.II.1.1.....	154
Tabla A.II.1.2.....	155
Tabla A.II.1.3.....	156
Tabla A.II.1.4.....	157

#### II.1 Disipador de Fluido Viscoso

##### II.1.1 Disipador tipo Diagonal

Tabla A.II.1.1.1.....	158
Tabla A.II.1.1.2.....	159
Tabla A.II.1.1.3.....	160
Tabla A.II.1.1.4.....	161

##### II.1.2 Disipador tipo Chevron

Tabla A.II.1.2.1.....	162
Tabla A.II.1.2.2.....	163
Tabla A.II.1.2.3.....	164
Tabla A.II.1.2.4.....	165

II.2. Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo	
Tabla A.II.2.1.....	166
Tabla A.II.2.2.....	167
Tabla A.II.2.3.....	168
Tabla A.II.2.4.....	169
III. Estructura de 40 pisos	
Tabla A.III.1.1.1 .....	170
Tabla A.III.1.1.2 .....	171
Tabla A.III.1.1.3 .....	172
Tabla A.III.1.1.4 .....	173
III.1 Disipador de Fluido Viscoso	
III.1.1 Disipador Diagonal	
Tabla A.III.1.1.1 .....	174
Tabla A.III.1.1.2 .....	175
Tabla A.III.1.1.3 .....	176
Tabla A.III.1.1.4 .....	177
III.1.2. Disipador Chevron	
Tabla A.III.1.2.1 .....	178
Tabla A.III.1.2.2 .....	179
Tabla A.III.1.2.3 .....	180
Tabla A.III.1.2.4 .....	181
III.2. Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo	
Tabla A.III.2.1 .....	182
Tabla A.III.2.2 .....	183

Tabla A.III.2.3 .....	184
Tabla A.III.2.4 .....	185
IV. Disposición final	
IV.1 Disipador tipo Diagonal .....	186
IV.2 Disipador tipo Chevron .....	186
IV.3 Aislador .....	187
IV.4 Disposición estructura de 3 pisos .....	187
V. Catálogos	
Figura A.V.1 Catálogo del Disipador Fluido Viscoso.....	188
Figura A.V.2 Catálogo del Aislador Núcleo de Plomo .....	189

## **SINOPSIS**

Evaluar el desempeño del sistema de amortiguamiento que más se adapte al medio venezolano, mediante una elaboración del estado del arte de los sistemas a desarrollar; así como analizar si es factible el empleo de estos componentes en estructuras de concreto reforzado tradicional para reducir las sollicitaciones que demanden unas acciones sísmicas y que puedan desarrollarse mediante el uso de elementos finitos.

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **I.1 Planteamiento del problema**

Debido al aumento en la exigencia de las edificaciones para mantenerse operando, a causa de las acciones sísmicas, y prevenir pérdidas humanas así como los daños a la estructura, se ha venido empleando con cierta frecuencia el uso de sistemas de amortiguación.

Esta nueva alternativa ha llamado la atención, puesto que mientras van apareciendo eventos sísmicos cada vez mayores (Kobe 1995, Cariaco 1997, entre otros.), las estructuras expuestas ante estas acciones sufren daños mayores. Luego de la ocurrencia de estas acciones las normas correspondientes al sitio de los hechos se modifican, pero los daños en estas estructuras quedan, una buena manera de evitar grandes daños ante estas acciones sísmicas es mediante el empleo de estos sistemas.

Es por ello, que estos sistemas han sido motivo de interés de estudio, análisis, y comparación, las ventajas que estos ofrecen con respecto a sistemas estructurales tradicionales.

Unos de los mayores beneficios que se adquieren con el uso de esta tecnología es brindarle una mayor ductilidad al momento de un evento sísmico, evitando comprometer la vida de los usuarios así como reducir los impactos sobre estructuras (asentamientos diferenciales, esfuerzos torsionales, altas deformaciones, entre otros.)

Gracias a los estudios que han evolucionado a través de los últimos tiempos, los grandes países en el diseño y elaboración de estas tecnologías (Japón, Nueva Zelanda, Chile, Estados Unidos, entre otros.), han desarrollado reglamentos en el diseño y empleo de estos elementos, destacando que hay poca normativa a nivel mundial que hablen al respecto. Es por ello de la importancia del estudio en el diseño estructural de una edificación.

## **I.2 Antecedentes de la Investigación**

- Salazar Montes, José Enrique y Marín Lugo, Maria Gabriela.

Universidad Católica Andrés Bello. 1999

Título: Análisis al comportamiento de Aisladores en el Diseño de Puentes Flexibles, finalizado (1999).

Inclusión de dispositivos aislantes, específicamente eslatoméricos, como alternativa de predimensionado en el diseño de puentes flexibles, en donde se realizó un estudio comparativo técnico económico entre puentes con esta alternativa y distintos tipos de estructuras tradicionales (pórtico continuo y pórtico con vigas articuladas).

- Castorina, Alessandro y Dos Santos, Jorge.

Universidad Católica Andrés Bello. 2000

Título: Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico de una Estructuración Tradicional Aporticada vs una Estructura Rígida con Aisladores Sísmicos en Plataformas Marinas, finalizado (2000)

Análisis comparativo entre estructuras tradicionales y estructura rígidas aisladas sísmicamente (arriostrada y no arriostrada) en el diseño de plataformas costas afuera, lo cual introduce el aislamiento sísmico como alternativa para diseño de estructuras costas afuera y analizar que tan viable resulta el diseño con estos dispositivos para generar recomendaciones sobre los mismos.

- Carvajal Castillo, Hendrif, David y Salazar Monterola, Jorge Luis.

Universidad Católica Andrés Bello. 2015

Título: Análisis Comparativo de dos alternativas de control de vibraciones en base a criterios técnicos, finalizado (2015).

Análisis comparativo entre dos alternativas de control de vibraciones, presentando un estado del arte de ambos sistemas de control de vibraciones, específicamente, el

Aislamiento de base y el Amortiguamiento Viscoso, con base a criterios técnicos; mediante una recopilación de información que permita facilitar la elección de una de estas alternativas en particular.

- Contreras, Luis.

Universidad Católica Andrés Bello. 2015

Título: Influencia de los disipadores de energía de fluido viscoso en la respuesta de pórtico de acero.

Análisis comparativo entre un pórtico con disipador de fluido viscoso y un pórtico convencional de acero bajo una acción sísmica mediante un análisis time history (no lineal) usando la herramienta de diseño del programa ETABS 2015, teniendo en cuenta diferentes disposiciones para el disipador de fluido viscoso (chevron y diagonal), a fin de evaluar el comportamiento de los pórticos añadiéndole estos sistemas y compararlos con estructuras convencionales.

- Mullo Pilamunga, Clara Luz

Universidad Central Del Ecuador. 2014

Título: Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos, modelamiento en ETABS.

Evaluar la posibilidad de implementar aisladores sísmicos basales en estructuras de concreto reforzado (edificio Hospitalización), debido a que Ecuador se encuentra dentro del grupo de países por donde pasa el Cinturón del Fuego del Pacífico (países con alto riesgo sísmico).

- Espinel Jaramillo, Gustavo Roberto y Herrera Flores, Pablo Andrés.

Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. 2013

Título: Diseño sísmico con sistema de amortiguamiento en edificios regulares de hormigón armado y comparación mediante ejemplos.

Análisis comparativo y diseño de una estructura convencional y aislada, teniendo en cuenta diferentes sistemas de aislación basal (aislador elastomérico de alto

amortiguamiento “HDR”, aislador elastomérico de bajo amortiguamiento “LDR” y aislador elastomérico con núcleo de plomo “LRB”), comparando costos y efectos de los sistemas de aislación sobre la estructura con el fin de conocer los beneficios del sistema de aislación elegido.

- Pastora Estrada, Alejandra Gabriela y Ríos Novoa, Marycelia.

Universidad Centroamericana (Managua, Nicaragua). 2016

Título: Análisis del efecto de aisladores sísmico en la respuesta dinámica de un edificio aporticado de 4 niveles, según las condiciones de suelo de la zona noroeste de la ciudad de Managua, Nicaragua.

Analizar la aplicabilidad de sistemas de aislación basal (aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento “HDR” y aisladores con núcleo de plomo “LRB”) para la ciudad de Managua usando el código UBC 97, comparado con un diseño estructural convencional (considerando el RNC-07 y el ACI 318 2014). Las comparaciones principales corresponden a desplazamientos relativos de la superestructura, fuerzas de corte basal, aceleraciones absolutas y modos de vibración, mediante la herramienta de análisis estructural ETABS 2015.

- Arriagada Rosas, Jaime Andrés.

Universidad Austral de Chile. 2005

Título: Aislación sísmica de un edificio de oficinas de siete pisos. (Análisis Comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional).

Estudiar los efectos de la implementación de un sistema de aislación sísmica sobre el comportamiento estructural y de costos, para el edificio Vanguardia. Se diseñarán tres sistemas de aislación (HDR, mixto conformado por LRB y HDR y FPS “aislador péndulo friccionante”), con el fin de seleccionar el sistema más apropiado y realizar una comparación entre las estructuras convencional y aislada.

- Boza Farfán, Zuen Estefania y Galán Tirapo, Danny Jean.

Pontificia Universidad Católica del Perú. 2013

Titulo: Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron.

Aplicar el diseño de un sistema de disipación de energía (amortiguadores de fluido viscoso para un edificio aporticado de 7 pisos que posee una deriva de entrepiso cercana al 1%, bajo las solicitaciones de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente. Se toma en cuenta disipadores lineales y no lineales con el fin de analizar el comportamiento de la estructura con la adición de estos sistemas y obtener cual alternativa de disipación en la más conveniente.

- Guevara Huatuco, Diego Nicolás y Torres Arias, Percy Omar

Pontificia Universidad Católica del Perú. 2012

Titulo: Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal.

Aplicar el diseño de un sistema de disipación de energía amortiguadores de fluido viscoso para un edificio aporticado de 7 pisos con 730 m<sup>2</sup> que posee una deriva de 10‰ el cual supera al límite permitido establecido por la norma NTE E-030 (7‰). Para el diseño del disipador se procede por el análisis Time History (no lineal).

- Morales Díaz, Luisa Joselinne y Contreras Bálaro, Juan José

Pontificia Universidad Católica del Perú. 2012

Titulo: Protección de una edificación existente con disipadores de energía.

Analizar el uso de dispositivos de disipación de energía como método de reforzamiento en una estructura, de esta manera estimar la respuesta dinámica aplicado por un análisis tiempo historia y métodos espectrales, y diseñar en este caso el sistema de protección para una edificación educativa.

### **I.3 Alcances y Limitaciones**

Para la elaboración del siguiente trabajo especial de grado, se toman en cuenta las siguientes limitaciones:

- Cantidad de niveles para los modelos estructurales.
- Igual zona sísmica
- Tipo de suelo y ambiente.
- Igual modelo estructural
- Sistema de amortiguamiento: el resultante de la evaluación que sea más conveniente en el medio venezolano
- Aplicación de cargas.
- Igual secciones de vigas
- Sin combinación de disipadores y aisladores (cada estructura con un tipo de amortiguador sísmico).
- Tres (3) variaciones de altura (20, 30, y 40 pisos).
- El análisis se procede con un Disipador (disposición diagonal y Chevron) y un Aislador (Elastomérico con Núcleo de Plomo).
- No hay combinación de disposición para el disipador.
- Un (1) solo tipo de análisis (Time History No Lineal). posibilidad

Se busca con este planteamiento la rentabilidad del uso de estos sistemas de amortiguación con ayuda de modelos estructurales analizando el desempeño de estructuras (corte basal, desplazamientos, derivas, aceleraciones, fuerza cortante en los pisos, energía disipada), así como el desempeño de los sistemas de amortiguamiento comparándolos con estructuras convencionales en Venezuela.

## **I.4 Objetivos de la Investigación**

### **I.4.1 Objetivo General**

Analizar la factibilidad de la aplicación de sistemas de amortiguamiento en estructuras aporricada de concreto reforzado en Venezuela.

### **I.4.2 Objetivos Específicos**

- Establecer los sistemas de amortiguamiento a ser evaluados.
- Plantear modelos estructurales para análisis de los sistemas de amortiguamiento establecidos.
- Evaluar los resultados de los modelos estructurales y establecer la factibilidad de aplicación de cada sistema en Venezuela.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### II.1 Introducción a la Dinámica Estructural

El análisis de una estructura está basado en comportamientos estático y dinámico, siendo este último muy similar al movimiento real de una estructura, para este análisis es necesario definir ciertos conceptos, tales como:

- Movimientos Periódicos: es el comportamiento de un elemento el cual se repiten en intervalos regulares de tiempo, la forma más sencilla de este comportamiento es el movimiento armónico simple.

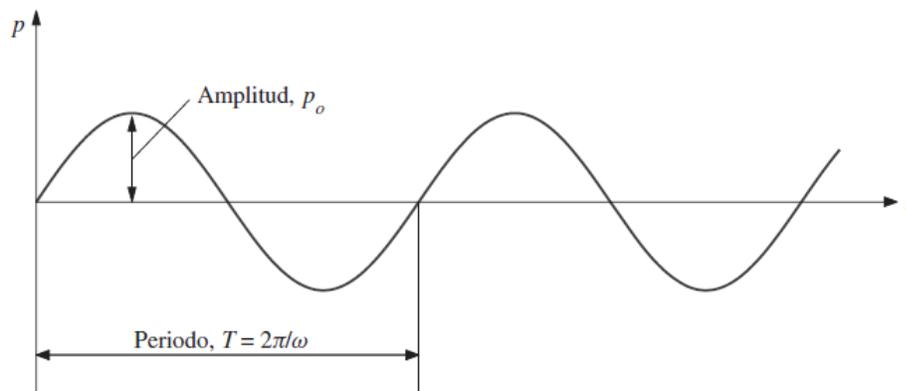


Figura 1. Movimiento periódico (Movimiento Armónico Simple). Fuente: Contreras, Luis 2015.Caracas.

- Movimientos no periódicos: es el comportamiento que tiende a ser no repetitivo a intervalos de tiempo constante, son originados mediante la aplicación de cargas impulsivas (explosiones, impactos, cargas transitorias producidas por la acción de tráfico de vehículos u originados por un sismo).

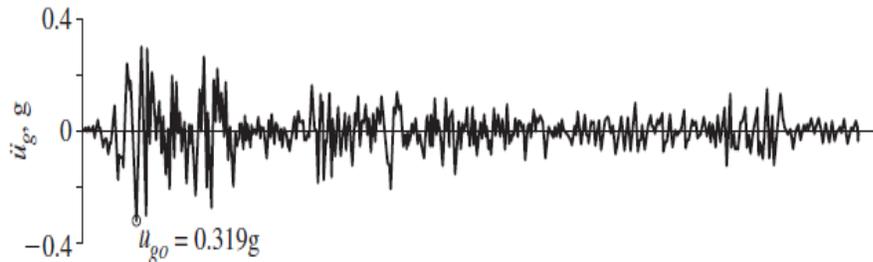


Figura 2. Movimiento no periódico (transitorio “sismo”). Fuente: Contreras, Luis 2015. Caracas.

- Vibraciones libres no amortiguadas: una estructura experimenta vibración libre cuando se ejerce una acción sobre ella generando que se desplace de su posición de equilibrio y a continuación se la deja vibrar en un movimiento periódico. En general existen dos tipos de vibraciones:

- Vibración libre: se genera cuando el movimiento se conserva mediante la acción de fuerzas gravitacionales y elásticas de recuperación, un ejemplo de esto es el comportamiento de un péndulo.

- Vibración forzada: se genera cuando al sistema es sometido bajo la acción de una fuerza externa periódica o intermitente.

Para este comportamiento no amortiguado se establece la Ec 2-1, la cual relaciona el desplazamiento del sistema en función del tiempo:

$$x(t) = x(0) * \text{Cos}\omega t + \frac{x'(0)}{\omega_n} * \text{sin}\omega t \quad (\text{Ec 2-1})$$

Donde:

$x(t)$ : Posición del sistema en función del tiempo

$x(0)$ : Posición inicial

$x'(0)$ : Velocidad inicial

$\omega$ : frecuencia natural del sistema

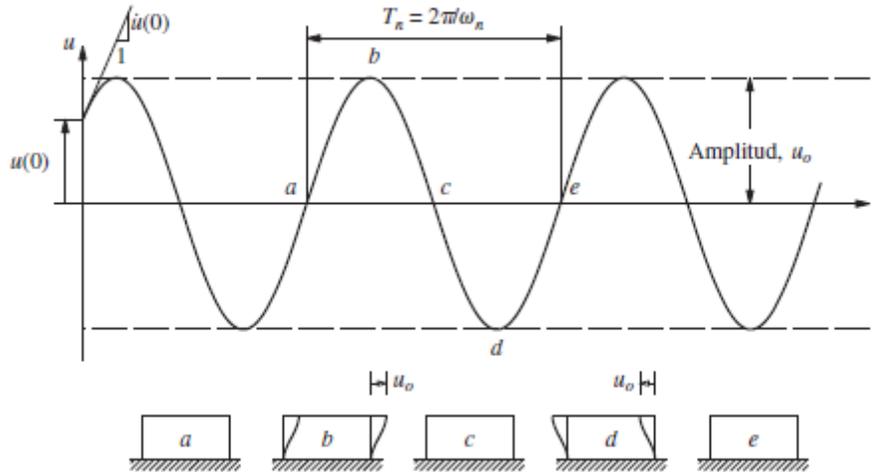


Figura 3. Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento. Fuente: Carvajal, Hendrif y Salazar, Luis 2015.

Caracas

La ecuación (Ec 2-1) se representa con la grafica en la figura 3. Donde se aprecia que el sistema experimenta un movimiento vibratorio ( $u$  oscilador) alrededor de su posición de equilibrio estático, es decir un movimiento armónico y periódico, pudiendo ser expresado por un seno o por un coseno en función de la misma frecuencia " $\omega$ " donde la frecuencia está en función de la rigidez del sistema " $k$ " y la masa " $m$ " ( $\omega^2 = k/m$ ). Donde la porción a-b-c-d-e de la curva de tiempo desplazamiento describe un ciclo de vibración libre del sistema.

El tiempo que requiere el sistema no amortiguado para completar un ciclo de vibración (desde la posición  $a$  hasta la posición  $e$ ) se denomina periodo natural de vibración del sistema " $T$ " cuyas unidades son en segundos. Este parámetro está vinculado con la frecuencia natural de vibración " $\omega$ " es decir:

$$T_{(seg)} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (Ec 2-2)$$

Finalmente, la frecuencia “ $f$ ” se define como el inverso del periodo, o lo que es lo mismo como el número de ciclos completados en la unidad de tiempo.

$$f \text{ (Hz)} = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{Ec 2-3})$$

La frecuencia  $f$  se expresa en ciclos por segundo o en Hertz (Hz), siendo  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/seg} = 2\pi \text{ rad/seg}$ .

- Vibraciones libre con amortiguamiento: En esta vibración el amortiguamiento se atribuye a fuerzas encargadas de resistir el movimiento y/o deformaciones, al disminuir lentamente el movimiento se garantiza que la resistencia a este sea directamente proporcional a la velocidad. Este tipo de fuerzas es lo que se conoce como “amortiguamiento viscoso” o “amortiguamiento natural”, debido a que está asociado al amortiguamiento interno que poseen los materiales.

Este amortiguamiento natural representa la energía disipada por los elementos estructurales de una edificación (columnas, vigas, muros, entre otras), durante el movimiento del edificio, en ese tiempo este amortiguamiento tiene la siguiente expresión:

$$fd = C_s * \dot{x} \quad (\text{Ec 2-4})$$

Donde “ $C_s$ ” es el coeficiente de amortiguamiento de la estructura, es una medida de la energía disipada en un ciclo de vibración, tiene unidades de fuerza por tiempo entre longitud y  $\dot{x}$  es la velocidad lineal del sistema.

El comportamiento vibratorio libre de un cuerpo o sistema con amortiguamiento se expresa de la siguiente manera:

$$m * \ddot{x} + C_d * \dot{x} + k * x = 0 \quad (\text{Ec 2-5})$$

Donde:

$m$ , es la masa del sistema.

$\ddot{x}$ , aceleración del sistema.

$C_d$ , coeficiente de amortiguamiento viscoso.

$\dot{x}$ , velocidad del sistema.

$k$ , rigidez del sistema.

$x$ , desplazamiento del sistema.

Teniendo en cuenta la definición de fracción de amortiguamiento efectivo “ $\xi$ ”, también conocido como el amortiguamiento del sistema:

$$\xi = \frac{C_d}{C_c} = \frac{C_d}{2 * m * \omega} \quad (\text{Ec 2-6})$$

Siendo " $C_d$ ", el coeficiente de amortiguamiento viscoso; " $C_c$ " el valor más pequeño de  $C_d$  que inhibe por completo la oscilación del sistema (representa la división entre un movimiento oscilatorio y no oscilatorio).

$$C_c = 2 * m * \omega = 2 * m * \sqrt{k/m} \quad (\text{Ec 2-7})$$

Retomando la ecuación (Ec 2-5) para simplificar términos se divide ésta entre la masa “ $m$ ”, quedando:

$$\ddot{x} + \xi * 2 * \omega_n * \dot{x} + \omega_n^2 * x = 0 \quad (\text{Ec 2-8})$$

Ahora se procede a resolver la ecuación diferencial (Ec 2-9), sin embargo la resolución de esta ecuación depende fundamentalmente del valor de amortiguamiento efectivo “ $\xi$ ”, debido a esto existirán tres tipos de movimientos:

➤ Si  $C_d < C_c$  ( $\xi < 1$ ), la fuerza resistiva es baja de manera que permite la oscilación alrededor de la posición de equilibrio, de tal forma que la amplitud del movimiento decrece en forma progresiva. Este caso es denominado como “sub-amortiguamiento”, siendo el caso más frecuente en estructuras.

➤ Si  $C_d = C_c$  ( $\xi = 1$ ), el sistema regresa a la posición de equilibrio sin oscilar, siguiendo una curva exponencial en el tiempo. Este caso es denominado “críticamente amortiguado”.

➤ Si  $C_d > C_c$  ( $\xi > 1$ ), no existe oscilación, el sistema no vibra y regresa a la posición de equilibrio de manera mucha más lenta que en el caso anterior. Este caso se denomina “sobreamortiguamiento”.

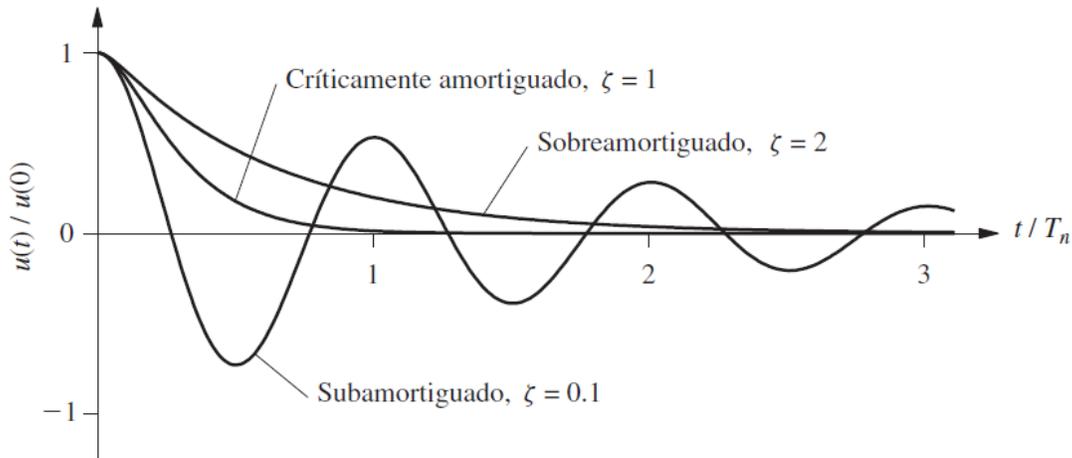


Figura 4. Vibración libre de sistemas sub-amortiguado, críticamente amortiguados y sobre amortiguado.

Fuente: Carvajal, Hendrif y Salazar, Luis 2015. Caracas.

En la figura 4, se puede apreciar el comportamiento de los sistemas para los diferentes casos de amortiguamiento.

Para el caso de sistemas sub-amortiguados, se obtiene la siguiente ecuación:

$$x(t) = e^{-\xi \omega_n t} * \left[ x(0) * \cos(\omega_n * t) + \frac{x(0) + \xi \dot{x}(0)}{\omega_D} * \sin(\omega_D * t) \right] \quad (\text{Ec2-9})$$

Donde  $\omega_D$  y  $T_D$ , representan la frecuencia angular y el periodo amortiguado respectivamente, éstas se muestran a continuación:

$$\omega_D = \omega_n * \sqrt{1 - \xi^2} \quad (\text{Ec 2-10})$$

$$T_D = \frac{T_n}{\sqrt{1 - \xi^2}} \quad (\text{Ec 2-11})$$

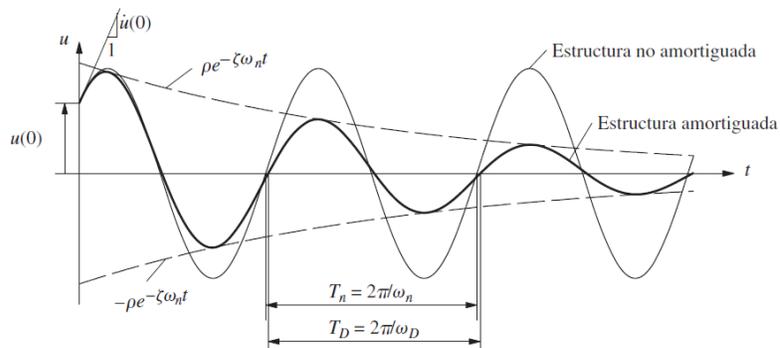


Figura 5. Efecto del amortiguamiento sobre una vibración libre. Fuente: Carvajal, Hendrif y Salazar, Luis 2015. Caracas.

Como se puede apreciar en la figura 5, el efecto del amortiguamiento genera un decaimiento exponencial de la amplitud con el tiempo, destacando que las oscilaciones prácticamente ocurren a iguales intervalos de tiempo. Generalmente en edificaciones, el valor de amortiguamiento crítico  $\xi$  se encuentra entre 2% y 10%, usándose habitualmente para el diseño un valor de 5%. Suponiendo un valor de  $\xi = 0.1$  (10%), se puede llegar a la siguiente conclusión:

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - (0.1)^2} = 0.995 * \omega_n \approx \omega_D$$

De la ecuación anterior se infiere que el amortiguamiento no influye de manera significativa en la frecuencia propia de la estructura, sin embargo un efecto de alta importancia que tiene el amortiguamiento es que afecta de manera proporcional al decaimiento de la amplitud del movimiento vibrando libremente, esto se puede apreciar en la siguiente figura. Apreciándose que a mayor amortiguamiento menor es la cantidad de ciclos necesarios para disminuir la amplitud del movimiento.

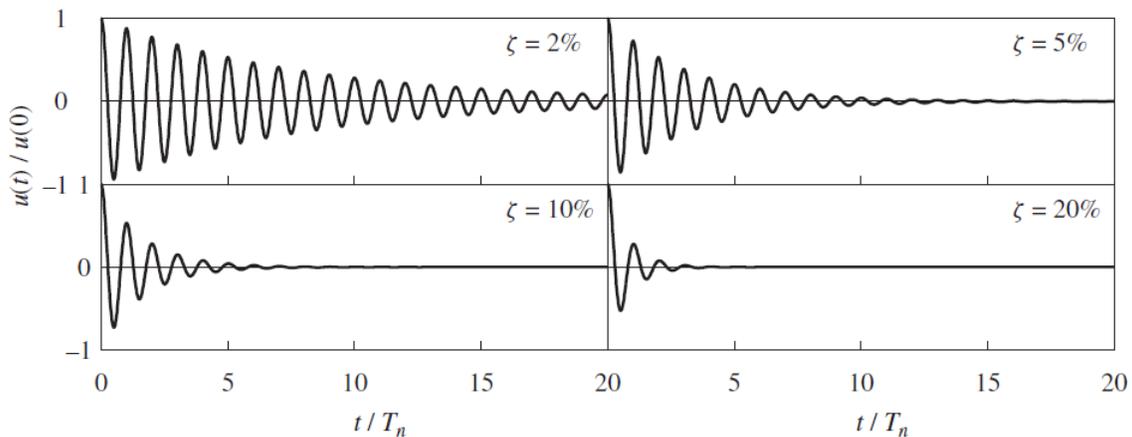


Figura 6. Vibración libre de sistemas con cuatro niveles de amortiguamiento. Fuente: Carvajal, Hendrif y Salazar, Luis 2015. Caracas.

Un efecto de relevante importancia, es el efecto de resonancia, el cual consiste en una amplificación de gran magnitud sobre la oscilación de un sistema generado por efectos de oscilaciones de un agente externo. Este fenómeno no es deseable puesto que puede amplificar en gran magnitud los efectos de un sismo por ejemplo, sin embargo es común

que se presente en estructuras como puentes, fenómenos de electricidad o cuando se sintoniza una emisora de radio.

Se hace necesario referirse a un sistema elástico con amortiguamiento para poder explicar este fenómeno, dicho sistema se ve afectado por un movimiento forzado, denominado vibración forzada, con el fin de representar una fuerza externa y constante en el tiempo, la cual es útil para evitar que el sistema decaiga por acción de las fuerzas restitutivas y amortiguadoras.

Esta fuerza externa generalmente es representada de la siguiente manera  $P_{(t)} = F_o * \sin(\omega_o * t)$  ó  $P_{(t)} = F_o * \cos(\omega_o * t)$ , donde  $\omega_o$  es la frecuencia angular de excitación y  $F_o$  es la amplitud máxima de la fuerza. Recordando al sistema elástico con amortiguamiento y añadiéndole los efectos de dicha fuerza externa se tiene lo siguiente:

$$m * \ddot{x} + C_d * \dot{x} + k * x = F_o * \cos(\omega_o * t) \quad (\text{Ec 2-12})$$

El desarrollo de la resolución de esta ecuación diferencial resulta de gran esfuerzo por lo que llevarla a cabo en este trabajo es poco práctico.

Luego que esta fuerza  $P_{(t)}$  comienza a actuar, la amplitud de la oscilación incrementa. Aunque después de un tiempo suficientemente largo se logra una situación de estado estacionario donde las oscilaciones son generadas con una amplitud constante. Cuando esto se lleva a cabo, la solución de la ecuación (Ec 2-12) es la que sigue a continuación:

$$x = x_o * \sin(\omega_o * t - \Phi) \quad (\text{Ec 2-13})$$

Donde:

$$x_o = \frac{F_o/k}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_o}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2 * \xi * \left(\frac{\omega_o}{\omega_n}\right)\right]^2}} \quad (\text{Ec 2-14})$$

$$\text{Tan}(\Phi) = \frac{2 * \xi * \left(\frac{\omega_o}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega_o}{\omega_n}\right)^2} \quad (\text{Ec 2-15})$$

El cociente  $F_o/k$ , se conoce como la ampliación dinámica, la cual se define como el desplazamiento producido bajo la aplicación de la fuerza  $F_o$ , este se produce si dicha fuerza

es aplicada muy lentamente. El ángulo  $\Phi$  representa la diferencia de fase que existe entre la carga aplicada y la vibración estacionaria producida del sistema amortiguado. La variación de la amplitud dinámica  $F_o/k$ , en función de la relación entre frecuencias  $\omega_o/\omega_n$ , se muestra a continuación.

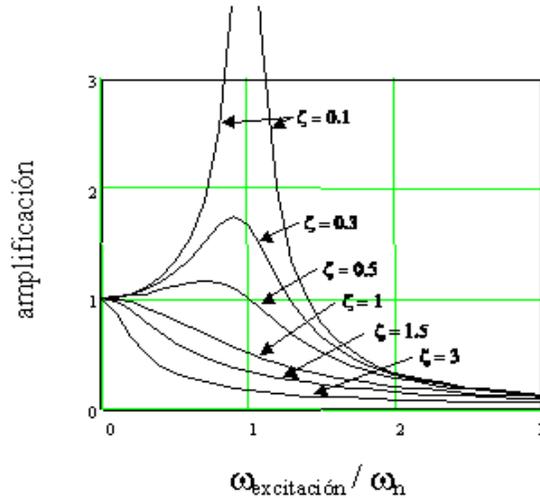


Figura 7.Efecto de amplificación por consecuencia de la resonancia. Fuente:

<http://www.mecapedia.uji.es/resonancia.html>.

Pudiéndose notar que el efecto de resonancia ocurre cuando la relación  $\omega_o/\omega_n$  es igual a la unidad, provocando que el denominador de la ecuación (Ec 2-14) sea cero (0) por consiguiente el cociente  $F_o/k$  se incrementa teniendo al infinito. Haciendo notar que esta amplificación del factor  $F_o/k$  se inhibe a medida que incrementa el amortiguamiento  $\xi$ .

Como se mencionó anteriormente este efecto es de alta importancia, específicamente en el caso de la respuesta sísmica de edificaciones. Efectivamente puede considerarse que una edificación o estructura es un oscilador con un conjunto de frecuencias naturales que dependen de masa, rigideces, irregularidades tanto en planta como en altura, materiales que se emplearon en la elaboración de dicha edificación, entre otras consideraciones. La fuerza externa es generada por las sacudidas del terreno ocasionadas durante un evento sísmico, entendiéndose que este es un efecto no deseado para cualquier estructura debido a que si el periodo natural de vibración coincide con el periodo de la excitación externa las fuerzas se amplifican como se explicó anteriormente,

produciendo consecuencias muy desfavorables como lo es el colapso de dicha estructura. En este orden de ideas se puede concluir que para estructuras con periodos largos el efecto de resonancia ocurre cuando las excitaciones también poseen periodos largos y en el caso de estructuras con periodos bajos ocurre lo mismo para excitaciones de periodos bajos.

## **II.2 Diseño Sismorresistente**

El diseño sismorresistente se basa en diseñar las estructuras de manera que sean rígidas y sean capaces de deformarse para incursionar en el rango inelástico, con el fin de desarrollar ductilidad y disipar energía durante un evento sísmico de alta magnitud (destacando que los sismos son eventos con baja probabilidad pero de magnitudes muy altas generando consecuencias muy destructivas). De ahí la importancia de realizar un buen diseño sismorresistente, el cual se basa en asegurar según las normativas establecidas para cada país, el resguardo de la vida humana, bien sea evitando el colapso parcial o total de las estructuras. Para cumplir con la filosofía del diseño sismorresistente, a través del tiempo se han ido desarrollando normativas a nivel mundial, estas normas se van actualizando a medida de que ocurre estos eventos sísmicos de gran envergadura donde se ponen a prueba dichas normas, siendo el caso para Venezuela, cumplir obligatoriamente con la Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”, en la cual se especifica los requerimientos necesarios para cualquier estructura que se vaya a diseñar dentro del país. Es importante señalar que en dicha norma nos especifica los tipos de sistemas estructurales resistentes a sismos, dentro de los cuales se encuentra los sistemas aporticados, cabe destacar que es el sistema estructural más típico no sólo en Venezuela sino inclusive en Latinoamérica y a nivel mundial.

El desempeño de los sistemas aporticados se basa en disipar la energía entrante por acción de un sismo mediante la fricción interna de los materiales que componen el sistema (usualmente concreto y/o acero) y el efecto térmico de deformaciones elásticas repetitivas. Los miembros que componen el sistema aporticado son vigas y columnas, estos miembros deben ser capaces de resistir fuerzas laterales inducidas sobre la estructura produciendo sobre estos elementos sollicitaciones tales como momentos flectores, esfuerzos de corte, tensiones axiales, etc. La capacidad de poder deformarse se debe en parte a la ductilidad, ocasionando que las columnas estén sometidas a carga axial variable por efecto del evento

sísmico, afectando la resistencia y ductilidad de las mismas, además, la falla de una columna puede originar colapso parcial o total de la estructura, sin embargo una falla en una viga presenta efectos menos graves, que no comprometen la integridad de la edificación, es por esto que las columnas son los elementos que se protegen en los pórticos, cumpliendo con el diseño sismorresistente a fin de obtener una respuesta dúctil.

### II.3 Sistemas de Protección Sísmica

Recordando la ecuación de equilibrio dinámico (Ec 2-5) se tiene que

$$m * \ddot{x} + C_d * \dot{x} + k * x = 0$$

Ahora derivando se obtiene una nueva ecuación en términos de energía (multiplicando los términos de la ecuación por un diferencial de desplazamiento  $dx$ , luego de este se integra y se reagrupan los términos), siendo esta la ecuación de energía que se introduce en un sistema, la cual se transforma y es disipada. Esta ecuación es la siguiente.

$$E_t = E_k + E_s + E_I + E_\xi \quad (\text{Ec 2-16})$$

Siendo:

$E_t$  = Energía externa entrante en un sistema aplicada por un agente externo (sismo).

$E_k$  = Energía cinética, es la fracción de la energía que es transformada en movimiento.

$E_s$  = Energía elástica de deformación, es la fracción de la energía que es transformada en deformación de los elementos estructural que integran al sistema.

$E_I$  = Energía inelástica, es la fracción de la energía asociada con la deformación inelástica de los elementos estructural que integran al sistema.

$E_\xi$  = Energía de amortiguamiento, es la fracción de la energía que es absorbida o amortiguada por fuentes inherentes al sistema.

Este análisis de energía es para una estructura sometida a una fuerza, puesto que el desplazamiento y la velocidad relativos ocasionan esfuerzos en la estructura, una ecuación de energía expresada en función de estos dos términos es de mayor valor que una ecuación de energía expresada en desplazamientos y velocidades absolutos. Destacando que la energía disipada debido al amortiguamiento viscoso solamente es dependiente del movimiento relativo.

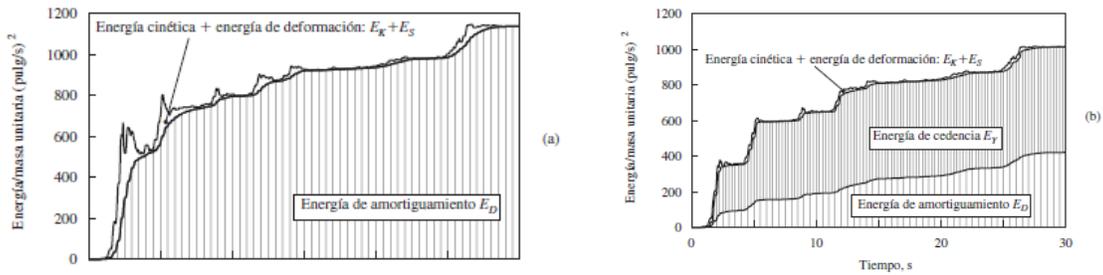


Figura 8. Variación en el tiempo de la energía disipada por amortiguamiento viscoso. a) Sistema lineal  $T = 0.5$  seg,  $\xi = 5\%$ , b) Sistema elastoplástico  $T = 0.5$  seg,  $\xi = 5\%$ . Fuente: Contreras, Luis 2015. Caracas.

En la figura 8 a) se puede apreciar la variación de la energía para dos sistemas de 1 grado de libertad, sobre las cuales se están ejerciendo movimiento sobre el terreno, asimismo se observa que la estructura es capaz de disipar la energía entrante debido al amortiguamiento viscoso y la cedencia. Esto se asevera al hecho de que la energía cinética y la energía por deformación recuperable disminuyen cerca del final del movimiento del terreno (el amortiguamiento viscoso disipa menos energía del sistema inelástico, causando velocidades más pequeñas en virtud del sistema elástico).

En la figura 8 b) se indica la energía de cedencia, la que a su vez revela una demanda impuesta sobre la estructura. Si esta cantidad de energía puede disiparse a través de la energía de cedencia esta debe diseñarse solo con un cuarto de la fuerza desarrollada por el sistema lineal correspondiente. No obstante, la cedencia repartida que disipa la energía ocasiona deterioros muy severos en la estructura dejándola en condición de deformación permanente luego que cesa el evento sísmico.

Con esto se tiene que el sistema estructural para ser capaz de soportar las sollicitaciones sísmicas, la capacidad de respuesta de esta debe ser mayor que la demanda sísmica, es decir, la energía externa entrante  $E_t$  debe ser absorbida o disipada por la suma de la energía cinética  $E_k$ , la elástica  $E_s$ , de amortiguamiento  $E_\xi$ , y la energía inelástica  $E_I$ . La manera de lograr un buen diseño sismorresistente es haciendo que la ecuación anterior (Ec 2-16) logre disipar parte de la energía total entrante de las siguientes maneras:

- Método convencional, el cual consiste en incrementar la ductilidad y la rigidez del sistema con el objetivo de aumentar la energía por deformación inelástica.

- Incrementando la energía de amortiguamiento, a través de dispositivos antisísmicos, tales como aisladores sísmicos y/o disipadores de energía.

Usualmente solo se emplea la primera opción, ya que se basa en la resistencia y la ductilidad a modo de soportar las acciones sísmicas y cumplir con la filosofía sismorresistente. Ahora la segunda alternativa consta en añadir dispositivos amortiguadores (disipadores de energía, aisladores de base, entre otros) a la estructura teniendo como objetivo el aumento del amortiguamiento del sistema, causando esto, reducción de las demandas por las acciones sísmicas y evitar daños en la estructura.

Para la segunda opción, es decir, incorporar sistemas de amortiguamiento al sistema, es necesario conocer qué tipos de sistemas existen en la actualidad y cómo funcionan los mismos. Hoy en día es posible encontrar una gama de diversos dispositivos de protección sísmica, destacando que cada tipo de dispositivo trabaja de manera particular según sea su funcionamiento. Los sistemas de protección sísmica se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: sistemas pasivos, activos, híbridos y semi-activos. Estos dispositivos se pueden apreciar en la siguiente figura.



Figura 9. Clasificación de los sistemas antisísmicos. Fuente: Díaz la Rosa, Marco 2014. Perú.

Los sistemas pasivos se diferencian del resto, en que estos responden de manera inercial a la acción sísmica, y a su vez estos sistemas son más económicos y no dependen de fuentes externas para su funcionamiento. Como se puede apreciar en la figura 8, existen tres tipos de dispositivos dentro de los sistemas pasivos, los cuales son: aislamiento sísmico, disipadores de energía y oscilador resonante. A continuación se realizará una

descripción de los primeros dispositivos (aisladores sísmicos y disipadores de energía), sin embargo la descripción y detallado de los sistemas de oscilador resonante escapa del alcance de este trabajo.

### **II.3.1 Disipadores de Energía**

Son dispositivos que amortiguan la energía entrante producida por una acción sísmica, con el objeto de disminuir esfuerzos entrantes a los elementos estructurales de una edificación, estos a su vez son capaces de generar fuerzas en respuesta al desplazamiento de la estructura. Según el tipo de disipador, responde a estímulos como la velocidad, desplazamiento y la combinación de ambos. Añadiendo estos dispositivos a una estructura se podría alcanzar hasta un 30% de amortiguación (Himler Cano, 2012).

Usualmente son empleados para edificaciones bajas a media altas con un costo relativamente bajo y dado el caso de eventos muy extraordinarios (sismos de gran magnitud) en donde estos dispositivos puedan verse afectados, pueden ser remplazados.

#### **II.3.1.1 Clasificación de los Disipadores de Energía**

Los disipadores de energía se clasifican según su sistema de activación, como sigue a continuación:

- Por desplazamiento: este tipo de dispositivo son activados por medio de los desplazamientos relativos en los extremos del dispositivo, ocasionados por la acción sísmica. Estos sistemas disipan energía mediante la deformación plástica de sus componentes o mediante la fricción entre superficies estrictamente diseñadas para estos fines, dentro de estos dispositivos se encuentran:
  - Disipadores metálicos: su mecanismo de acción se basa en la fluencia de metales debido a esfuerzos producidos por flexión, torsión, corte o una combinación de estas tensiones, proporcionando además de amortiguamiento, rigidez al sistema.

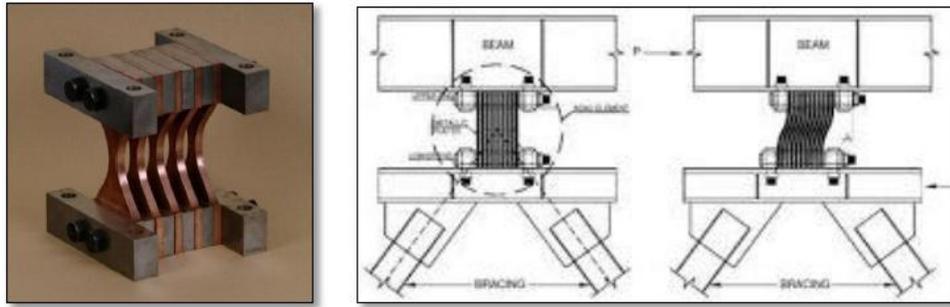


Figura 10. Disipador metálico. Fuente: Díaz la Rosa, Marco 2014. Perú.

- Disipadores friccionales: disipan energía mediante la fricción ocasionada por el desplazamiento relativo entre dos o más superficies de contacto. Son diseñados para activarse luego que se alcanza un nivel de carga establecido en el dispositivo (mientras no se alcance dicha carga, el mecanismo de disipación permanece inerte). Posee un inconveniente el cual es el coeficiente de fricción, ya que este es dependiente de la velocidad, la presión entre las superficies y las condiciones de las mismas.

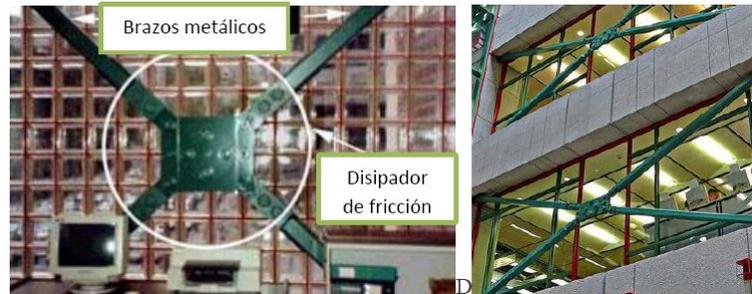


Figura 11. Disipador friccionante. Fuente: Díaz la Rosa, Marco 2014. Perú.

- Disipadores de extrusión de materiales: el comportamiento está fundamentado en la extrusión de materiales por medio de perforaciones, añadiendo amortiguamiento y rigidez. Son duraderos en el tiempo.

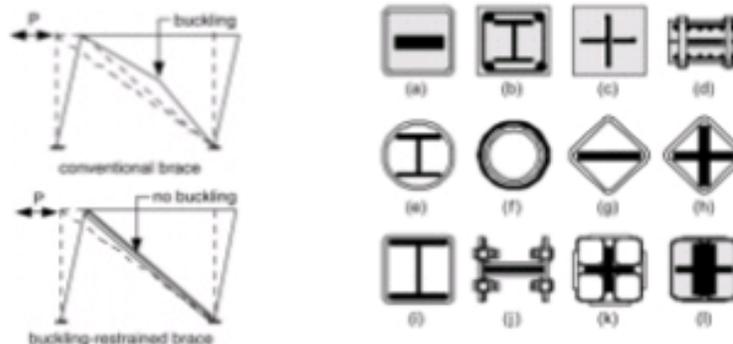


Figura 12. Disipador de extrusión (diagonales de pandeo restringido, BRB). Fuente:  
<https://es.slideshare.net/nelsonecheverria2/sistemas-pasivos-de-proteccion-sismica>.

- Disipadores auto-centrantes: su comportamiento está determinado por los ciclos histeréticos que se producen en conexiones o elementos pre-tensados, estos dispositivos disipan energía por medio de las propiedades de los elementos que lo componen y la geometría de su configuración, luego de finalizada la carga este vuelve a su posición original. De esta manera se logra controlar en gran medida los desplazamientos residuales luego de un sismo.



Figura 13. Disipador auto-centrante (biela). Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción. 2011.

- Por velocidad: son activados a partir de las velocidades relativas de los extremos del dispositivo, ocasionadas por un agente externo, como lo es una acción sísmica. Estos añaden amortiguamiento sin alterar en gran medida la rigidez lateral de las estructuras, y brindan protección contra sismos de cualquier magnitud.

- Disipador de Fluido Viscoso: estos dispositivos poseen un fluido altamente viscoso a base de silicona, el cual puede pasar a través de orificios con diámetros, longitudes e inclinación especialmente determinados para controlar el paso del fluido. Su mecanismo de disipar energía consta en la fricción entre el fluido con las paredes del orificio.



Figura 14. Disipador de fluido viscoso Taylor en edificio Torre Mayor. Fuente: Morales, Luisa y Contreras, Juan 2012. Perú.

- Disipadores de Muro Viscoso: están compuestos por una placa que se mueve en un fluido con alto grado de viscosidad depositado al interior de un molde de acero (muro). Su comportamiento esencialmente depende de la frecuencia y la amplitud de la carga, número de ciclos, y temperatura de trabajo.

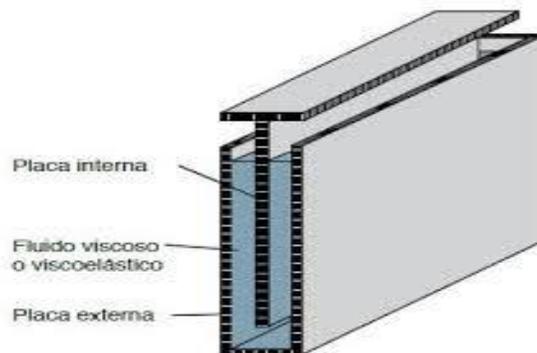


Figura 15. Disipador de muro viscoso. Fuente: [http://byronhoffmann.blogspot.com/2013\\_05\\_01\\_archive.html](http://byronhoffmann.blogspot.com/2013_05_01_archive.html).

- Por desplazamiento y velocidad: estos disipadores son activados mediante la acción combinada de los desplazamientos y velocidades relativas de los extremos del dispositivo, ocasionadas por un agente externo, como lo es una acción sísmica.

- Dispositivos Viscoelásticos sólidos: están formados por un material viscoelástico ubicado entre placas de acero, estos dispositivos disipan la energía mediante la deformación del material producido por el desplazamiento de las placas. Generalmente se encuentran acoplados en arriostres que conectan distintos pisos de la estructura. El comportamiento de

estos puede variar en función de la frecuencia y amplitud del movimiento, del número de ciclos de carga, y de la temperatura de trabajo.

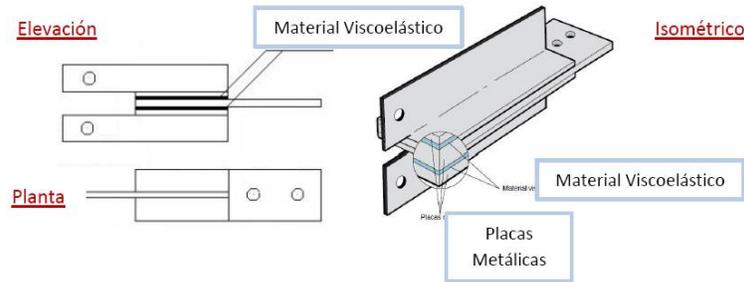


Figura 16. Elevación, planta y vista isométrica de un disipador viscoelástico. Fuente: DÍAZ LA ROSA, MARCO 2014. Perú.

### II.3.2 Fundamentos Teóricos de los Disipadores de Fluido Viscoso

Estos dispositivos consisten en un cilindro metálico lleno de un líquido viscoso a base de silicona y/o aceite, y una cabeza de pistón con orificios la cual separa al cilindro en dos cámaras. Una de estas cámaras que posee un acumulador compensa el cambio de volumen del fluido causado al cambio de posición del pistón durante el movimiento. A continuación se muestra un esquema de este dispositivo.

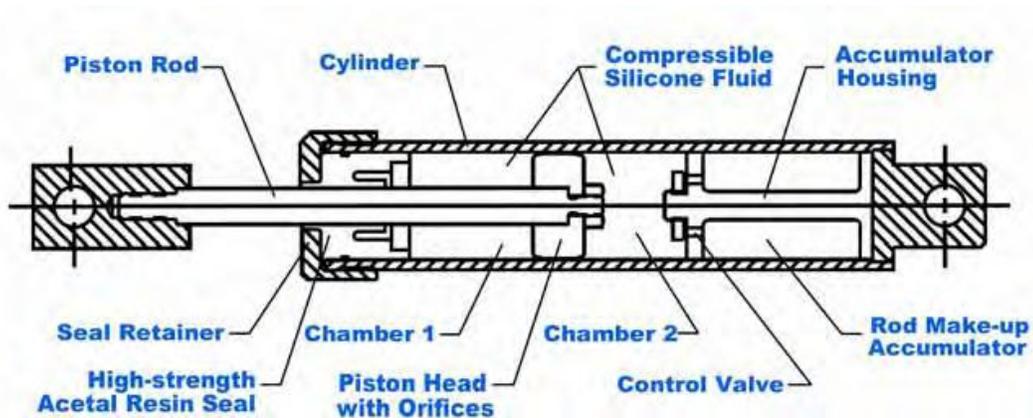


Figura 17. Esquema de un disipador de fluido viscoso. (Fuente: Taylor Devices).

Para un mayor detallado en el Anexo “Figura A.V.1” se muestra el catálogo de disipadores de fluido viscoso suministrado por la compañía Taylor Devices.

### II.3.2.1 Comportamiento Mecánico de un Disipador de Fluido Viscoso

El comportamiento general de un disipador de fluido viscoso es directamente proporcional a la velocidad del sistema y el coeficiente de amortiguación propio del disipador, tal como lo demuestra la siguiente ecuación:

$$F = C * V^\alpha \quad (\text{Ec 2-17})$$

Donde:

$F$  = fuerza del disipador.

$C$  = coeficiente (constante) de amortiguamiento disipador.

$V$  = velocidad relativa en los extremos del disipador.

$\alpha$  = exponente de la velocidad.

Destacando que el coeficiente (constante) de amortiguamiento es dependiente de la frecuencia, temperatura y amplitud del movimiento. Para el cálculo de este parámetro se puede usar la ecuación propuesta por la FEMA 274, la cual es la siguiente:

$$\beta_v = \frac{\lambda * \sum C_j * (\varphi_{rj})^{1+\alpha} * (\cos(\varphi_j))^{1+\alpha}}{2 * \pi * (A)^{1-\alpha} * (\omega)^{2-\alpha} * \sum m_i * (\varphi_i)^2} \quad (\text{Ec 2-18})$$

Siendo:

$\beta_v$  = amortiguamiento viscoso de la estructura.

$C_j$  = coeficiente de amortiguamiento del disipador.

$\varphi_{rj}$  = desplazamientos modal del nivel  $i$  (correspondiente al primer modo de vibración)

$A$  = amplitud del movimiento.

$\omega$  = frecuencia angular.

$m_i$  = masa del nivel  $i$ .

$\lambda$  = parámetro que es función del exponente de la velocidad.

Referente al parámetro  $\lambda$ , este depende del valor del exponente de velocidad  $\alpha$ , este puede ser calculado según la siguiente ecuación.

$$\lambda = 4 * 2^\alpha * \frac{\Gamma^2 * \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)}{\Gamma * (2 + \alpha)} \quad (\text{Ec 2-19})$$

En donde:

$\Gamma$  = función gamma.

$\alpha$  = exponente de la velocidad.

Sin embargo la norma FEMA 274 nos facilita el cálculo del valor de  $\lambda$ , y proporciona la siguiente tabla.

Exponent $\alpha$	Parameter $\lambda$
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Figura 18. Valores de  $\lambda$ , en función del exponente de velocidad  $\alpha$ . Fuente FEMA 273-274.

Concerniente al desplazamiento modal  $\varphi_{rj}$ , la FEMA nos ilustra el cálculo de este valor mediante la siguiente figura.

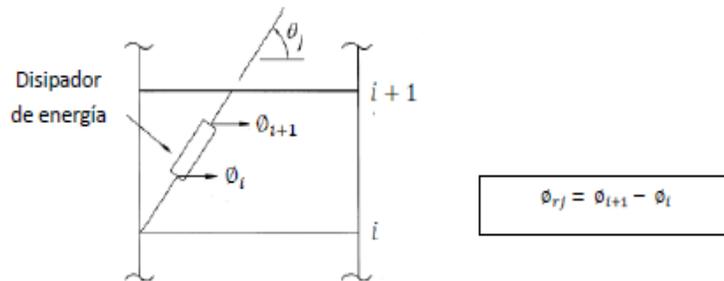


Figura 19. Desplazamiento relativo y ángulo del disipador. Fuente FEMA 273-274.

De la ecuación (Ec 2-19), se puede despejar el valor del coeficiente de amortiguamiento  $C_j$ , quedando.

$$C_j = \frac{\beta_v * 2 * \pi * (A)^{1-\alpha} * (\omega)^{2-\alpha} * \sum m_i * (\varphi_i)^2}{\lambda * (\varphi_{rj})^{1+\alpha} * (\cos(\varphi_j))^{1+\alpha}} \quad (\text{Ec 2-20})$$

Estableciendo el valor de  $\beta_v$ , depende del amortiguamiento que se desea conseguir, el cual se puede obtener mediante el siguiente procedimiento:

- Calcular el factor de reducción de respuesta (B).

$$B = \frac{Deriva_{m\acute{a}x}}{Deriva_{objetivo}} \quad (\text{Ec 2-21})$$

Donde la  $Deriva_{m\acute{a}x}$  se obtiene del análisis tiempo historia para el sismo seleccionado.

- A continuación se determina el valor del amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ )

$$B = \frac{2.31-0.41*\ln(\beta_o)}{2.31-0.41*\ln(\beta_{eff})} \quad (\text{Ec 2-22})$$

Siendo  $\beta_o$  el amortiguamiento inherente de la estructura, la cual anteriormente se comentó y usualmente es fijada en 5%. Ahora despejando se calcula el amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ ). Es importante señalar que la FEMA 273-274, establece que máximo valor de amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ ) es de 30%, ya que para valores superiores a este, es necesario referirse a otra documentación técnica

- Finalmente luego de obtener el amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ ), se calcula el amortiguamiento viscoso ( $\beta_v$ ) como sigue a continuación.

$$\beta_v = \beta_{eff} - \beta_o = \beta_{eff} - 5\% \quad (\text{Ec 2-23})$$

Referente al valor del exponente de velocidad  $\alpha$ .

(Hendrif Carvajal y Jorge Salazar, 2015, Pág 43) “Para el caso de edificaciones se recomiendo el uso  $\alpha < 1$ , típico de un disipador no lineal. Cuando el amortiguador cumple esta condición , logra minimizar golpes de velocidades con un baja fuerza en el amortiguador. Para amortiguadores lineales el valor de  $\alpha$  es igual a 1. En estos dispositivos la fuerza es proporcional a la velocidad relativa, esto provoca un comportamiento fuera de fase que ocurre cuando la fuerza es maxima en la estructura es mínima en el disipador. Los amortiguadores con  $\alpha$  mayor a 1 no son comúnmente utilizados en edificaciones porque necesitan grandes velocidades para incrementar significativamente la fuerza en el amortiguador.

NOTA: según los especialistas “MIYAMOTO INTERNATIONAL”,  $\alpha$  varía entre 0.4 a 0.6 para estructuras comunes. Según el texto “Damping and energy dissipation- Design guideline de Holmes Consulting Group”, el valor de  $\alpha$  varía entre 0.3 a 1, el cual establecen como el rango normal de los dispositivos prácticos.”

Según (Lee and Taylor 2001) “En ingeniería sismorresistente, está generalmente dentro del rango 0.3 a 1.0”.

Teniendo en cuenta la ecuación (Ec 2-17), al mismo tiempo que el valor del exponente de velocidad  $\alpha$  afecta el comportamiento del disipador, esto se verifica en la siguiente gráfica.

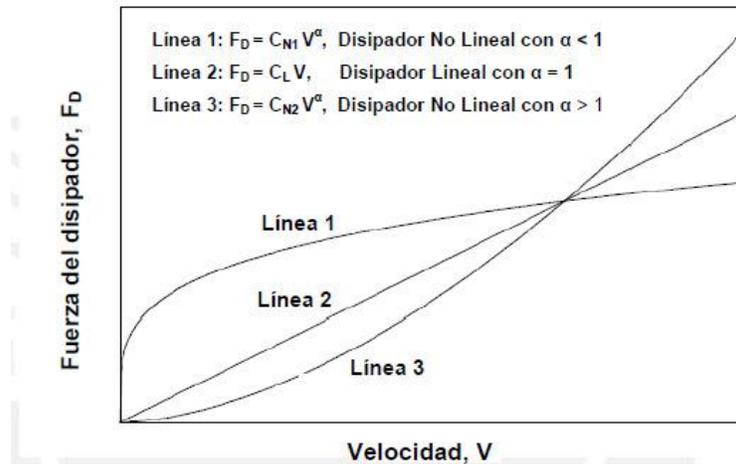


Figura 20. Fuerza del disipador vs Velocidad. Fuente: Seismic design of structures with viscous damping.

Observando que los disipadores no lineales con  $\alpha$  menores a uno, presentan mayor eficiencia a velocidades relativas bajas, siendo los disipadores no lineales con  $\alpha$  mayor a uno, los más eficientes a altas velocidades relativas. Para el caso de estructuras se esperan que las velocidades relativas en el disipador sean bajas, por lo cual se recomienda el uso de disipadores no lineales con valores de  $\alpha$  menores a uno.

De igual manera el valor del coeficiente de velocidad  $\alpha$ , afecta el diagrama de histéresis del disipador, tal como lo indica la siguiente figura.

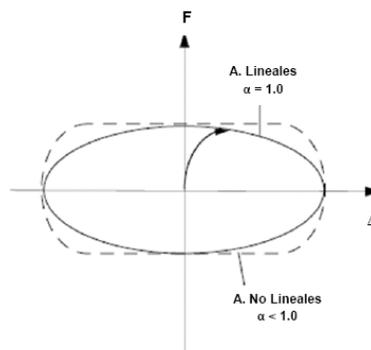


Figura 21. Relación fuerza-deformación de un disipador de fluido viscoso, lineal y no lineal.

(Zuen Boza y Danny Galán, 2013, Pág. 13) “Cuando la estructura alcanza su máximo desplazamiento, su velocidad es cero; por lo tanto, la fuerza en el disipador también será cero y cuando el desplazamiento de la estructura sea mínimo, la fuerza en el disipador será máxima”.

Otro punto muy importante que es parte de las propiedades del disipador es la rigidez  $k$ , se puede definir como la rigidez del dispositivo, la rigidez del brazo metálico en el cual el disipador va conectado al sistema estructural. Es por ello que se debe tomar la rigidez del perfil metálico que se usará, este cálculo se realiza como sigue a continuación.

$$K = \frac{E * A}{L} \quad (\text{Ec 2-24})$$

Siendo:

$E$  = módulo de elasticidad de acero ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

$A$  = área de la sección ( $\text{cm}^2$ ).

$L$  = longitud del perfil metálico (m).

Para la selección del perfil, se tiene que:

(Díaz la Rosa Sánchez, 2015, Pág. 37) “Es importante que este perfil metálico tenga un área ( $A$ ) significativa, esto para minimizar las deflexiones elásticas en el brazo y maximizar las del disipador, logrando de esta manera que el dispositivo se active completamente ante una excitación sísmica”. Por facilidades en la instalación de estos dispositivos es preferible usar perfiles tubulares en detrimento de los perfiles tipo “H”. El diseño de estos perfiles deben satisfacer los siguientes requerimientos:

$$\varphi * T_n = \varphi * F_y * A_g < T_u \quad (\text{Ec 2-25})$$

Chequeo por tracción, donde:

$T_n$  = Tracción nominal.

$\varphi$  = Factor de minoración, igual a 0.9

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia del perfil metálico ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

$A_g$  = Área bruta del perfil ( $\text{cm}^2$ ).

$T_u$  = Tracción última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador.

$$\varphi * P_n = \varphi * F_{cr} * A_g < P_u \quad (\text{Ec 2-26})$$

Chequeo por compresión, donde:

$P_n$  = Compresión nominal.

$\phi$  = Factor de minoración, igual a 0.9

$F_{cr}$  = Esfuerzo de fluencia del perfil metálico ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

$A_g$  = Área bruta del perfil ( $\text{cm}^2$ ).

$P_u$  = Compresión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador.

### II.3.2.2 Criterios de ubicación

Existen diversos tipos de ubicación de estos dispositivos, donde los más comúnmente usados son la disposición tipo Chevron y la disposición diagonal, en todos los casos el disipador es instalado a un perfil metálico que lo conecta al sistema estructural. En este aspecto (Diego Guevara y Percy Torres, 2012, Pág. 22) dice lo siguiente: “En el caso de amortiguadores fluido viscosos, se sugiere ubicarlos inicialmente en las zonas de velocidades máximas y en los entrepisos que experimentan mayor desplazamiento relativo. La ubicación óptima de los amortiguadores se logra mediante un proceso iterativo”. A continuación se muestran estas disposiciones.

- Disposición Chevron: se coloca el disipador de manera horizontal en la unión de las diagonal en forma de V invertida, con el objeto de absorber toda la componente horizontal producto del efecto de la acción sísmica, siendo la disposición que genera mejor desempeño. Esta disposición tiene la desventaja del sobreesfuerzo que se genera sobre la viga en la conexión de esta con las diagonales.

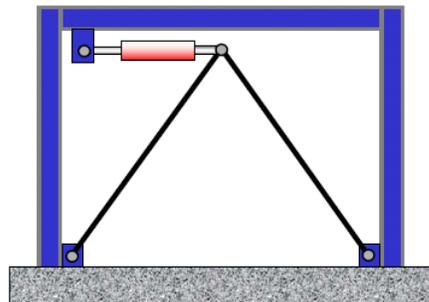
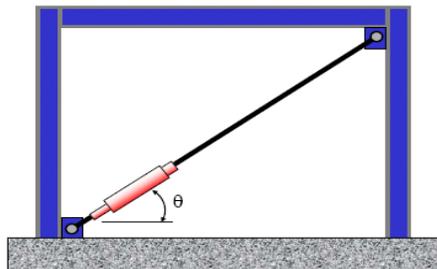


Figura 22. Disposición Chevron. Fuente FEMA 273-274.



Figura 23. Disposición Chevron invertida (Pacific Bell 911, California, USA). Fuente FEMA 273-274.

- Disposición Diagonal: se coloca el disipador en forma diagonal conectándose con el perfil metálico y con la unión viga columna de dos pisos. Posee menor eficiencia que la disposición chevron debido a que no disipa en su totalidad la energía entrante, su eficiencia depende en su diseño y del ángulo de inclinación en su colocación.



 FEMA Instructional Material Complementing FEMA 451, Design Examples Passive Energy Dissipation 16 - 8 - 03

Figura 24. Disposición Diagonal. Fuente FEMA 273-274.



Figura 25. Disposición Diagonal. Fuente FEMA 273-274.

Al igual que estas dos disposiciones, existen otras menos usadas pero igualmente válidas a la hora de emplear estos dispositivos, estas disposiciones se muestran en la siguiente figura.

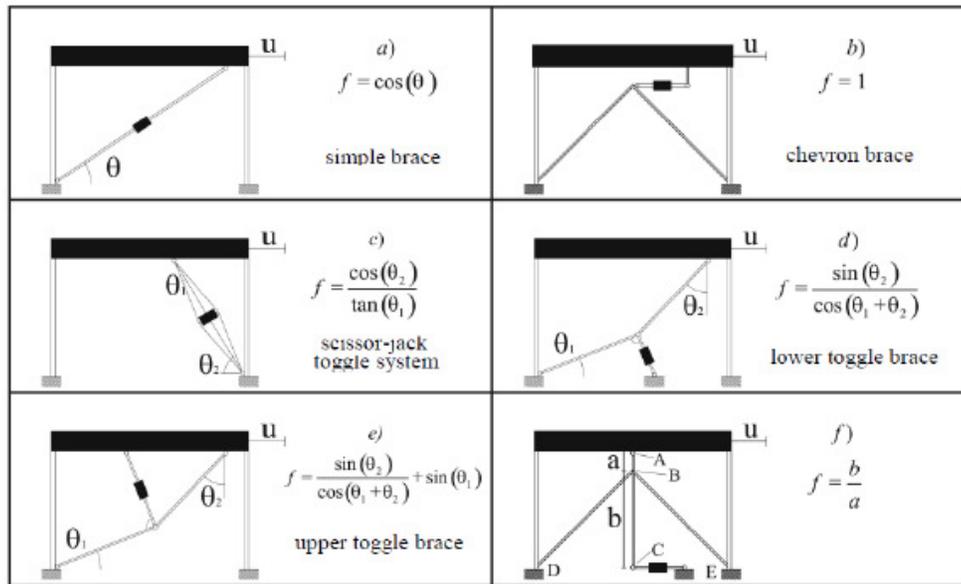


Figura 26. Diferentes tipos de disposición de disipadores. Fuente: Passive control of linear structures equipped with nonlinear viscous damper and amplification mechanism (M.Di Paola, G.Navarra).

Igualmente es válido realizar combinaciones de diferentes disposiciones según sea el caso. Otro punto muy importante es la ubicación de estos, en este aspecto comentan. (Zuen Boza y Danny Galán, 2013, Pág. 24) “Una cantidad mayor de disipadores ubicados sin criterio pueden dar los mismos resultados que un número menor de disipadores ubicados estratégicamente, el ASCE 7-10 exige como mínimo 2 dispositivos por dirección de análisis en cada piso y en arreglo, tal que no genere torsión”.

### II.3.2.3 Efectos de disipadores de energía

Dentro de los efectos de los disipadores de energía en una estructura se tiene la reducción de desplazamientos e incremento de la amortiguación viscosa, como se ha comentado con anterioridad.

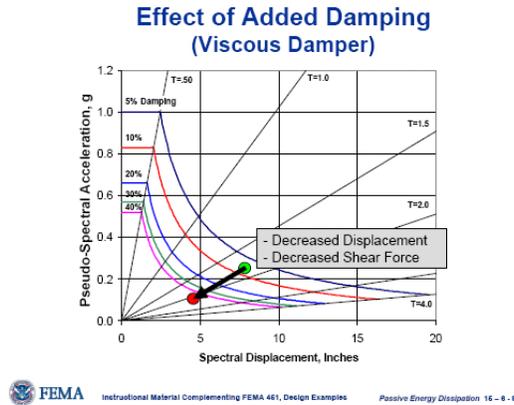


Figura 27. Efecto de adición de amortiguamiento (amortiguamiento viscoso) en una estructura. Fuente FEMA 273-274.

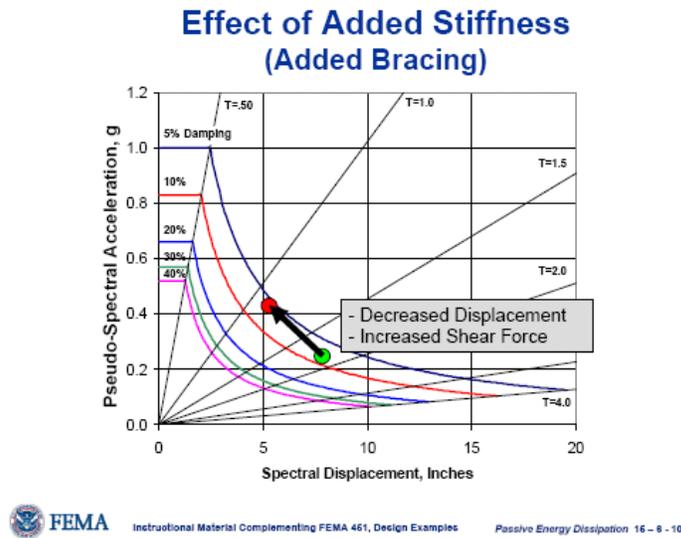
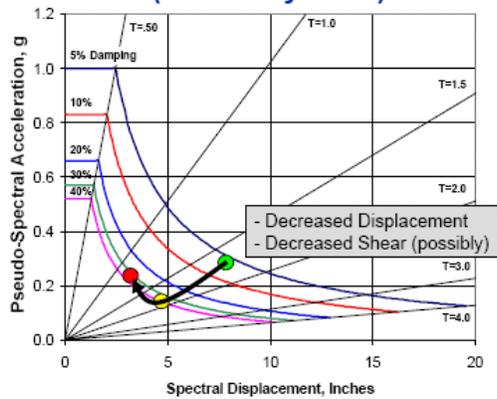


Figura 28. Efecto de adición de rigidez (agregando brazos “perfiles” metálicos) en una estructura. Fuente: FEMA 273-274.

### Effect of Added Damping and Stiffness (ADAS System)



Instructional Material Complementing FEMA 461, Design Examples

Passive Energy Dissipation 16 - 8 - 11

Figura 29. Efecto de adición de rigidez y amortiguamiento en una estructura. Fuente: FEMA 273-274.

En las figuras 27,28 y 29 se puede apreciar como es el efecto de la adición de amortiguamiento, rigidez y por último la combinación de ambos. Siendo el caso de la figura 27 el decremento tanto de desplazamiento como de cortante basal, esto es debido al efecto del amortiguamiento; para la figura 28 se tiene que, al agregar rigidez al sistema los desplazamientos disminuyen, sin embargo el cortante basal incrementó debido a que al poseer más rigidez el sistema es capaz de poder soportar mayor acciones (cargas, fuerzas, etc.) sobre ella; y finalmente para la figura 29 se puede apreciar que al agregar tanto rigidez como amortiguamiento, los desplazamientos igualmente se disminuyen (siendo para este caso los desplazamientos menores, ya que se disminuye por efecto doble, es decir se disminuyen por efecto de la rigidez y al mismo tiempo son disminuidos por el amortiguamiento), aunque el valor de cortante basal puede incrementar o disminuir, esto va a depender de cuál efecto sea de mayor influencia en el comportamiento estructural, y por ende en el valor del cortante basal. Este último caso es el que ocurre cuando se implementan disipadores de fluido viscoso en una estructura, siendo el o los disipadores los que le añaden amortiguamiento al sistema y los brazos (perfiles) metálicos los que le adicionan rigidez al mismo.

### II.3.2 Aisladores Sísmicos

El aislamiento sísmico consiste en desacoplar la estructura con el movimiento (excitación por acción de un sismo) del suelo a través de la incorporación de elementos estructurales con bajos valores de rigidez horizontal entre la estructura (superestructura) y el sistema de fundación de la misma (o como también se le denomina subestructura). El efecto de la alta flexibilidad horizontal de este sistema de protección sísmica origina que se concentren los desplazamientos a nivel del aislamiento al mismo tiempo que disminuye los desplazamientos relativos de los pisos adjuntos (deriva) y las aceleraciones de los pisos. Todo esto ocurre cuando la acción sísmica acontece brindando mayor seguridad y protección a la estructura y por ende a las personas que se encuentren en ella. Con la inclusión de estos sistemas no se pretende aumentar la capacidad de la estructura, en vez de eso disminuye las solicitaciones causadas por el evento sísmico dado que al permitir este “desacople” de la estructura con el suelo, el periodo fundamental de la misma se alargue, provocando un incremento del amortiguamiento con lo que se reduce la demanda sísmica (preferiblemente en suelos rígidos, ya que los suelos blandos tienen un periodo natural largo y si el periodo del suelo coincide con el de la estructura se puede generar el efecto estudiado de resonancia).

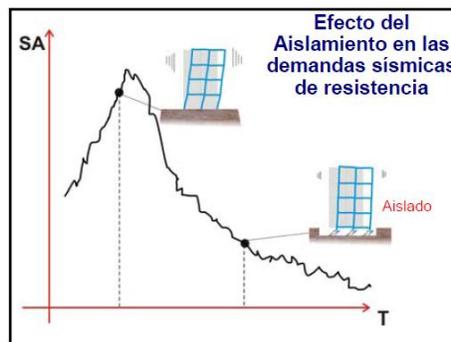


Figura 30. Incremento del periodo por efecto de la aislación sísmica. Fuente: Apuntes de Ingeniería Sísmica

MUÑ2009.

**Effect of Seismic Isolation (ADRS Perspective)**

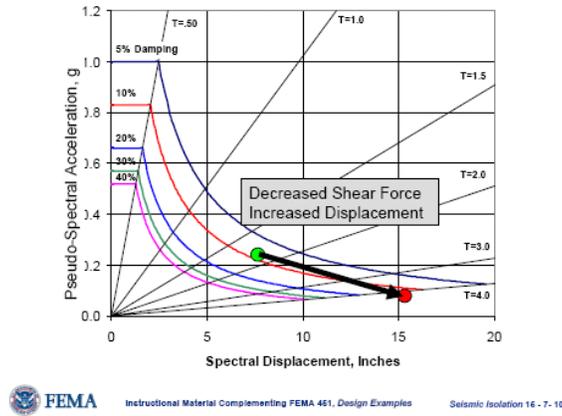


Figura 31. Efecto de aislación sísmica en una estructura. Fuente: FEMA 273-274.

**Effect of Seismic Isolation with Supplemental Dampers (ADRS Perspective)**

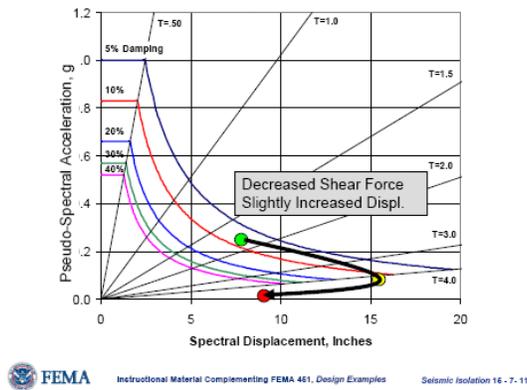


Figura 32. Efecto de aislación sísmica y amortiguador suplementario en una estructura. Fuente: FEMA 273-274.

**Effect of Seismic Isolation (Acceleration Response Spectrum Perspective)**

Increase Period of Vibration of Structure to Reduce Base Shear

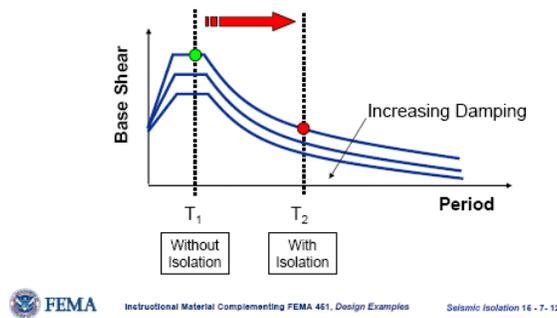


Figura 33. Efecto de reducción del corte basal por el aumento de periodo. Fuente: FEMA 273-274.

### Effect of Seismic Isolation (Displacement Response Spectrum Perspective)

Increase of period increases displacement demand (now concentrated at base)

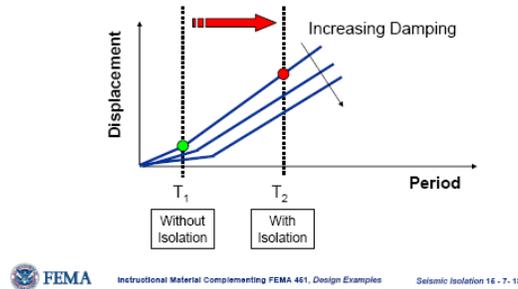


Figura 34. Incremento de la demanda de desplazamiento, ahora concentrado en la base, por efecto del incremento del periodo en la estructura. Fuente: FEMA 273-274.

### Effect of Soil Conditions on Isolated Structure Response

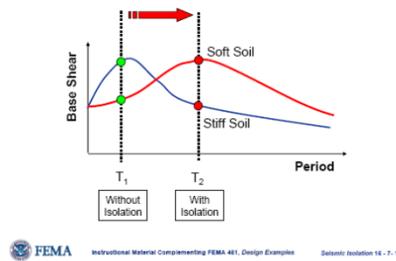


Figura 35. Efecto de las condiciones de suelo para estructura sísmicamente aisladas. Fuente: FEMA 273-274.

Se puede apreciar en las figuras 30 hasta la 34 el efecto del sistema de aislamiento sísmico basal en estructuras, estos efectos ya fueron comentados anteriormente. El objetivo del sistema de aislamiento basal consiste en satisfacer los siguientes requerimientos:

- Flexibilidad horizontal: con el fin de aumentar el periodo natural de la estructura para disminuir la demanda sísmica.
- Amortiguamiento y disipación de energía: disminuir la energía entrante en la estructura y la demanda de deformación en el sistema.
- Resistencia mínima: que el sistema sea capaz de soportar las cargas de servicio y evitar vibraciones, así como sismos de baja intensidad sin comprometer a la estructura.

### **II.3.2.1 Clasificación de Aisladores Sísmicos**

Hay diversos tipos de aisladores sísmicos basales, los cuales se clasifican en función de los materiales que lo integran y en la manera que disipan energía, estos son:

- Aisladores Elastoméricos Convencionales

Estos aisladores están formados por un conjunto de láminas intercaladas de goma elastomérica con planchas de acero (las cuales se unen, es decir, que se comportan como un solo material, a través del proceso de vulcanización, este proceso se logra calentando el caucho y la mezcla con azufre, aumentando sus propiedades mecánicas) y cubierto en sus extremos superior e inferior por dos placas de anclaje, las mismas que van conectadas con la superestructura en su parte superior y al sistema de fundación por la parte inferior por medios de pernos de anclaje. Debido a la gran flexibilidad horizontal, estos aisladores son capaces de deformarse en el plano horizontal permitiendo el desplazamiento relativo entre la superestructura y el suelo. A su vez poseen un alto valor de rigidez vertical que los capacita para soportar las cargas impuestas por la estructura y los asentamientos causados por aplastamiento del material. Usualmente son diseñados con geometría circular debido al hecho de que no afecta la dirección de la carga horizontal aplicada, distribuyéndose los esfuerzos uniformemente. A continuación se muestran dos figuras en donde se aprecian estos dispositivos.



Figura 36. Esquema de un aislador elastomérico. Fuente: FEMA 273-274.

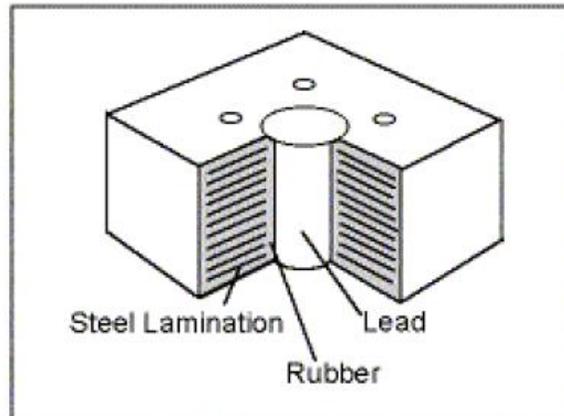


Figura 37. Esquema de un aislador elastomérico. Fuente FEMA 273-274.

Estos aisladores están garantizados para una vida útil de 50 años como mínimo. Cabe destacar que existen varios tipos de aisladores elastoméricos convencionales, entre ellos tenemos:

- Aisladores Elastoméricos de Alto Amortiguamiento (HDR).

Estos aisladores poseen la disposición mencionada, y se diferencia de los elastómeros comunes básicamente por su composición química en la goma usada, ya que esta ha sido mejorada con componentes como carbono, pétreos, y resinas. El espesor de las capas de goma oscila entre 8 - 20 mm y el espesor de las placas acero varía entre 2 - 4 mm, el diámetro de estos se encuentran entre 70 a 90 cm. Esto produce un importante valor de amortiguamiento, el cual oscila entre 10 a 20%.



Figura 38. Aislador Elastomérico HDR. Fuente Arriagada, Jaime 2005. Chile.

Los parámetros usado para el general un modelo bilineal son derivados del módulo de corte,  $G$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) y del amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ ), los fabricantes usualmente establecen los valores del módulo de corte y otras propiedades mecánicas. Es importante señalar que estos presentan mayor sensibilidad a la temperatura de temperatura y frecuencia que los aisladores con núcleo de plomo (LRB) y de bajo amortiguamiento (LDR). Finalmente estos aisladores son de fácil fabricación e instalación lo que representa una ventaja para su aplicación.

- Aisladores Elastoméricos de Bajo Amortiguamiento (LDR).

Estos dispositivos tienen las mismas características geométricas que los de alto amortiguamiento (HDR), siendo la diferencia entre estos las dimensiones que son menores para los aisladores de bajo amortiguamiento (LDR), así como la goma elastomérica usada es de composición natural y no posee refuerzo químico. Los valores de amortiguamiento están entre 5-10%. Con frecuencia estos aisladores son usados en estructuras pequeñas donde el costo de este sistema no sea costoso.

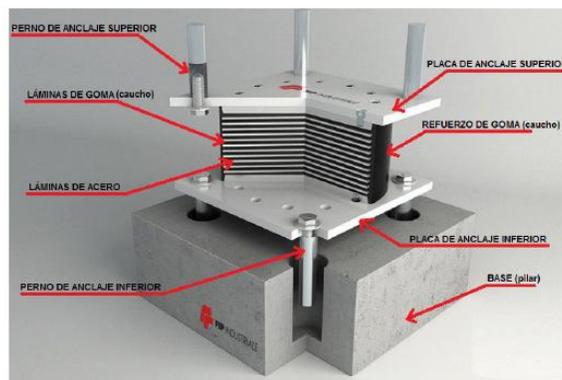


Figura 39. Aislador Elastomérico LDR. Fuente Pastora, Alejandra y Ríos Marycelia 2016.Nicaragua.

- Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo (LRB).

Este aislador es parecido a los anteriores mencionados, HDR y LDR, con la diferencia de que presenta uno o varios orificios circulares dentro de los cuales se encuentran núcleos de plomo, el cual ayuda a generar mayor amortiguación (puede llegar hasta 30%– 40% de amortiguación), gracias a la plastificación (cedencia) del plomo permite estos elevados niveles de amortiguación. Esta plastificación genera deformaciones plásticas y disipando energía en forma de calor.

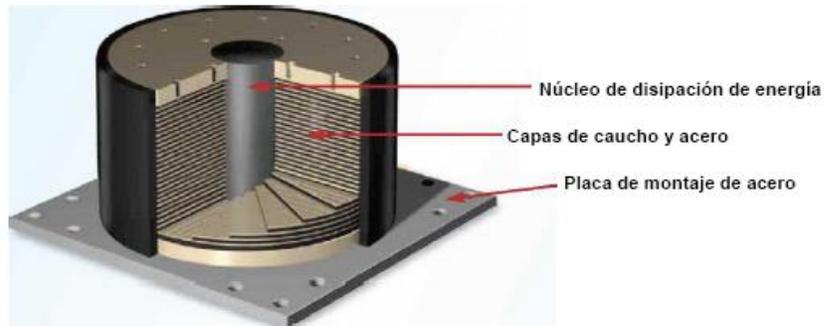


Figura 40. Esquema de aislador con núcleo de plomo (LBR). Fuente: Catálogo Dynamic Isolation System.

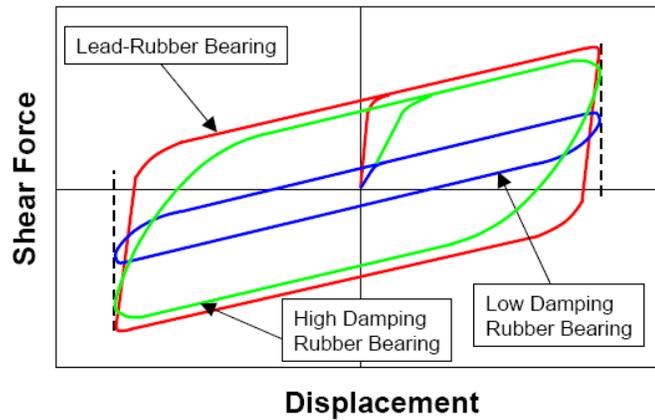


Figura 41. Comportamiento fuerza deformación de aisladores de alto amortiguamiento (HDR), bajo amortiguamiento (LDR) y con núcleo de plomo (LBR). Fuente: FEMA 273-274.

El comportamiento de este aislador mejora en detrimento de los aisladores elastoméricos convencionales (HDR y LDR) gracias a que el núcleo de plomo introducido posee una tensión de cedencia cortante alrededor de 10 MPa ó 102 kgf/cm<sup>2</sup>, luego que este valor es superado la rigidez del aislador se transforma en la del caucho, siendo esta alrededor de 10 veces menor, teniendo un comportamiento bilineal. Luego de finalizar el evento sísmico la goma del aislador regresa a la estructura a su posición inicial, mientras el núcleo de plomo se cristaliza. Siendo importante destacar que los aisladores de núcleo de plomo pueden alcanzar valores de 200% de deformación lateral.

El diseño de estos aisladores debe generar la siguiente información: diámetro exterior, diámetro del núcleo de plomo, altura, número y espesor de placas de confinamiento. Luego que estos parámetros son definidos se recomienda buscar en los catálogos de las empresas fabricantes de estos dispositivos, características iguales o

superiores a los valores de diseño. Acoplarse a valores de los catálogos es mucho más económico que mandar a fabricar un aislador con dimensiones específicas para un proyecto.

- Aisladores de Péndulo Friccional (FPS).

Este aislador a diferencia de los explicados anteriormente se basa en disipar la energía a través de la fricción y el desplazamiento mediante el movimiento pendular del aislador. El aislador de péndulo friccional (FPS) consiste en un deslizador articulado “slider” que se mueve sobre una superficie esférica cóncava (lenticular) de acero inoxidable, causando que al momento de un sismo se producirá un desplazamiento del deslizador “slider” a lo largo de la superficie disipando energía por fricción al mismo tiempo que el desplazamiento es originado en una superficie curva hace que la propia carga vertical transmitida por el deslizador produzca una componente tangencial la cual se encarga de centrar el sistema.



Figura 42. Detalle típico de un aislador de péndulo friccional (FPS). Fuente: Mullo, Clara 2014.Ecuador.

El aislamiento sísmico se logra incrementando el periodo de la estructura, este depende del radio de curvatura de la superficie cóncava, pudiendo variar el periodo de la estructura simplemente cambiando el radio de curvatura de la superficie, por lo que el tamaño del aislador será controlado por el desplazamiento de diseño. Característicamente estos aisladores pueden suministrar un periodo de vibración entre 2 a 5 segundos y una capacidad de desplazamientos mayores a un (1) metro.

Entre las principales ventajas que ofrece este aislador se encuentran las siguientes: posee mayor capacidad de carga vertical que los aisladores elastoméricos, su producción es mucho más rápida que la de los elastoméricos, son de menor costo y la instalación es más

fácil que los elastoméricos. Asimismo existen varios tipos de aisladores de péndulo friccionante, estos son: aisladores de primera generación (péndulo simple), aisladores de segunda generación (doble péndulo) y aisladores de tercera generación (triple péndulo).

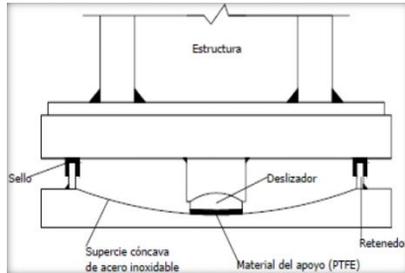


Figura 43. Aislador de péndulo friccionante (FPS) de primera generación (péndulo simple). Fuente: Espinel, Gustavo y Herrera, Pablo 2013.Ecuador.

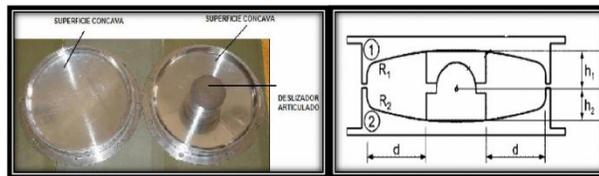


Figura 44. Aislador de péndulo friccionante (FPS) de segunda generación (doble péndulo). Fuente Espinel, Gustavo y Herrera, Pablo 2013.Ecuador.

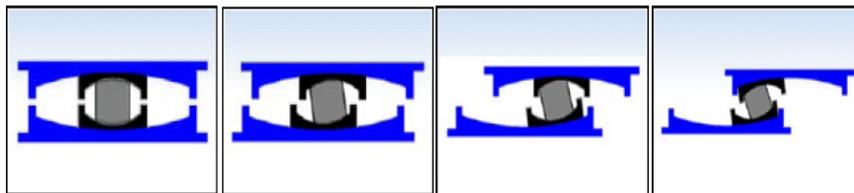


Figura 45. Aislador de péndulo friccionante (FPS) de tercera generación (triple péndulo). Fuente Espinel, Gustavo y Herrera, Pablo 2013.Ecuador.

### II.3.2.2 Fundamentos Teóricos de los Aisladores con Núcleo de Plomo

Al incorporar un sistema de aislación basal, la interface flexible de aislamiento introduce y permite desplazamientos en la base de la estructura, afectando (disminuyendo) la entrada de energía a la estructura, por lo tanto ocasiona que las solicitaciones del sistema sean menores, el desplazamiento de los pisos es relativamente uniforme y las vibraciones internas del sistema son disminuidas, es decir se disminuye el corte basal y las aceleraciones.

Considerando que el sistema de aislación está localizado en la interface de la superestructura y la subestructura, se puede analizar la ecuación de equilibrio dinámico (Ec 2-5) con la incorporación de este sistema, mostrándose en la siguiente ecuación.

$$m * \ddot{u} + C_b * (\dot{u} - \dot{x}_g)\dot{x} + K_b * (u - x_g) = 0 \quad (\text{Ec 2-27})$$

Donde:

$u$ : Movimiento del sistema de aislación.

$x_g$ : Movimiento del suelo.

$m$ : Masa de la estructura.

$C_b$ : Coeficiente de amortiguamiento efectivo de la interface de aislación.

$K_b$ : Rigidez lateral del interface de aislación.

Ahora restando los valores de la ecuación (Ec 2-27), se obtiene la misma ecuación de equilibrio dinámico (Ec 2-5), sólo que en términos velocidades y desplazamientos relativos.

### II.3.2.2.1 Comportamiento Mecánico de los Aisladores con Núcleo de Plomo

#### Plomo

Como se ya se comentó, los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, presentan un comportamiento bilineal, por efecto del acople del plomo con la goma. El diagrama fuerza – desplazamiento explica mejor este comportamiento bilineal del aislador, el cual se muestra a continuación.

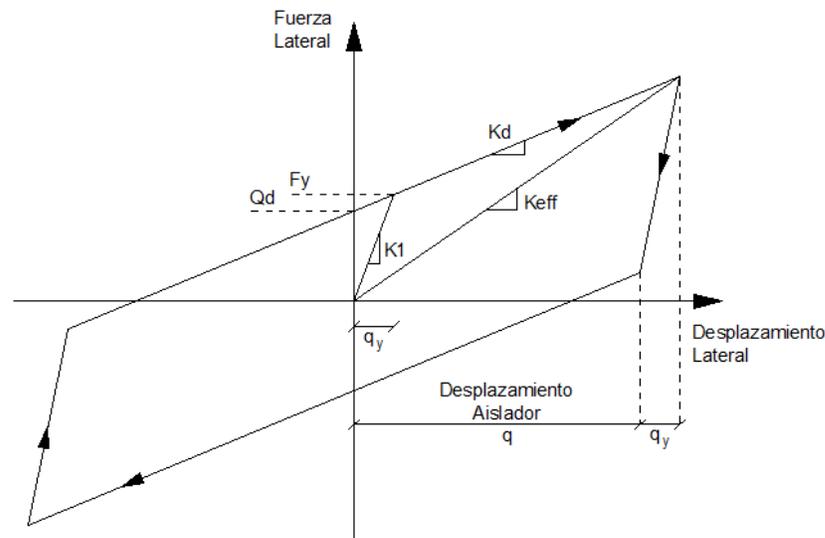


Figura 46. Comportamiento Fuerza-Deformación de un aislador con núcleo de plomo. Fuente: Aguiar, Roberto 2014.

En la figura 45 se observa el comportamiento fuerza-deformación de un aislador con núcleo de plomo, donde:

$K_1$  = Rigidez del plomo (alrededor de 10 veces mayor que  $K_d$ ).

$K_d$  = Rigidez de la goma (caucho).

$K_{eff}$  = Rigidez efectiva lineal del aislador.

$Q_d$  = Fuerza a deformación cero (0).

$F_y$  = Fuerza de cedencia del plomo.

$q$  = Desplazamiento del aislador.

$q_y$  = Desplazamiento de cedencia del aislador.

Obteniendo algunos términos según las siguientes ecuaciones:

$$Q_d = A_L * \tau_y \quad (\text{Ec 2-28})$$

Siendo  $A_L$ , el área de la sección transversal del núcleo de plomo y  $\tau_y$  el esfuerzo cortante del plomo en la cedencia.

$$K_d = \frac{G * A}{T_r} \quad (\text{Ec 2-29})$$

Donde  $G$  es el módulo de corte de la goma,  $A$  el área de la sección del aislador que trabaja a corte y  $T_r$  la sumatoria de la altura de goma del aislador.

$$F_y = Q_d + K_d * q_y \quad (\text{Ec 2-30})$$

$$K_1 = \frac{F_y}{q_y} \quad (\text{Ec 2-31})$$

$$K_{eff} = K_d + \frac{Q_d}{q} \quad (\text{Ec 2-32})$$

$$\beta_{eff} = \frac{2 * Q_d * (q - q_y)}{\pi * K_{eff} * q^2} \quad (\text{Ec 2-33})$$

$$T_{eff} = 2 * \pi * \sqrt{\frac{W_t}{g * K_{eff}}} \quad (\text{Ec 2-34})$$

Donde  $\beta_{eff}$  es el amortiguamiento efectivo del sistema de aislación;  $T_{eff}$  periodo efectivo del sistema y  $W_t$  el peso que ejerce la estructura sobre el sistema de aislación.

Con todos estos parámetros se define las propiedades mecánicas de los aisladores con núcleo de plomo.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLOGICO**

A continuación se analizan varios puntos importantes para el desarrollo del tema en estudio. Antes de la ejecución del modelaje mediante el software ETABS 2016, se inició un proceso de recopilación de información basada en investigaciones de libros, normas, archivos en internet, trabajos previamente realizados, relacionados con el tema de estudio, visitas a embajadas, entre otras, de esta manera poseer buena documentación de interés. Dicha información fue seleccionada basándose primordialmente en el país donde es originario el trabajo y sitio web donde se encuentra, así, de esta manera tener confiabilidad y certeza de la información. El estudio del tema se concentró principalmente en trabajos chilenos donde para el interés de esta investigación, es un país que posee alta actividad sísmica por lo que, implica mejores conocimientos en el campo, así como de igual forma en el estudio de los sistemas de amortiguación sísmica teniendo dentro de esta área, los disipadores y aisladores.

Una vez recopilada la información, el siguiente paso es el estudio e interpretación del contenido, como es el diseño sismorresistente de una estructura, y los derivados del tema principal como, control de derivas, cortes basales, coeficientes de amortiguación, entre otras consideraciones importantes que hay que tomar en cuenta para el cumplimiento de las normas venezolanas.

Al interpretar la información del caso de estudio, se procede al diseño sismorresistente de las estructuras a ser evaluadas (20, 30 y 40 pisos), en este punto el trabajo se divide en dos etapas:

- En la primera se realizó el diseño de 3 edificaciones como estructuras convencionales, para posteriormente compararlas con el diseño de las estructuras con los dispositivos de amortiguación, esto, con el apoyo del programa indicado anteriormente, basado en la Norma Covenin 1756-2001, FEMA 273 Y 274, ASCE 7-10, para estructuras sismorresistentes, estableciendo de esta manera el espectro de diseño indicando los parámetros necesarios tales como, tipo de suelo, tipo de estructura, zona sísmica, factor de

reducción de respuesta y factor de importancia, de acuerdo a lo establecido en dicha norma. La zona de estudio para este trabajo es la región capital (Caracas), ya que hay mayor probabilidad de construcción de edificaciones de grandes alturas, a pesar de no ser la zona sísmica más alta (zona 5), de igual forma se establece los parámetros al momento del diseño estructural.

Se procede al diseño del predimensionado en vigas y columnas. Se coloca losas nervadas en dos direcciones. En el capítulo anterior se detalla el desarrollo del diseño convencional.

- En la segunda etapa, se implementa los sistemas antisísmicos en las estructuras, tanto el disipador de fluido viscoso y el aislador elastomérico con núcleo de plomo, se escogen estos dispositivos ya que fueron elementos con mayor información obtenidos al momento de la investigación. En función a la bibliografía obtenida de estos dispositivos, se modela las estructuras garantizando que los resultados cumplan con las normas, dichos resultados y análisis se discutirán en los capítulos próximos del trabajo.

Finalmente, se realizan los análisis de los resultados obtenidos en los modelados, hay que tomar en cuenta que al momento del diseño se anexó una estructura indicador de 3 pisos para tener un conocimiento del comportamiento que puede tener un edificio al momento de una excitación sísmica y, la respuesta que tiene los dispositivos implementados en él.

Se realiza las conclusiones y recomendaciones finales, de acuerdo a los resultados obtenidos, demostrando o no, la factibilidad en el uso de estos sistemas como método de protección al momento de un evento sísmico que pueda afectar a la estructura, bienes económicos, pero primordialmente, cobrar vidas humanas, teniendo en cuenta de igual manera que al momento de hablar de factibilidad se toca un punto importante que son los costos finales que conlleva este recurso en una obra.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO SISMORESISTENTE

Como se ha mencionado en los capítulos previos, el diseño que enmarca al presente trabajo se realiza en dos etapas de diseño, se procede de la siguiente manera:

#### IV.1 Diseño estructural convencional

##### IV.1.1 Geometría de la estructura

Para fines académicos se elabora una estructura básica de geometría rectangular cuya relación es 2:1 y luces eje a eje de 7m, como se muestra en la figura 47.

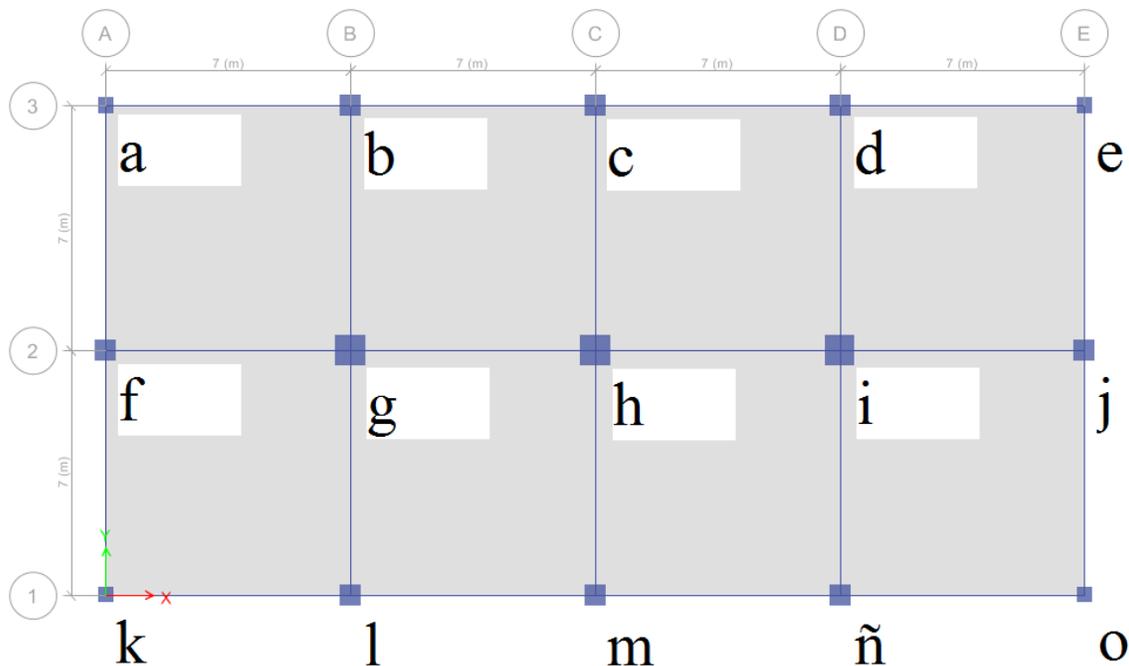


Figura 47.- sección en planta con disposición de vigas y columnas. Fuente: Propia.

En la Figura 47 se presenta la disposición de las columnas, de esta manera se realizará el predimensionado, generando facilidad en el cálculo al momento de asignarle el factor de servicio “k”.

Los tres (3) edificios propuestos en este trabajo tendrán la misma sección, variando únicamente sus dimensiones en las columnas, de acuerdo a la estructura y nivel de análisis.

#### IV.1.2 Diseño de estructura de 20 pisos

Para el modelado del edificio de 20 pisos, se realiza un diseño, basado en el predimensionado de los elementos principales tanto en vigas como en columnas para el chequeo de derivas, periodos de vibración, cortes basales entre otros parámetros indicados en la norma venezolana

##### IV.1.2.1 Predimensionado de la losa

En esta primera etapa se calculan las cargas que serán aplicadas en la losa de la estructura, obteniendo lo siguiente:

- Para cargas muertas o permanente (CP)

Carga sobre losa	kgf/m <sup>2</sup>
tabiquería	150.00
friso	30.00
Plafond	20.00
acabado de piso	100.00
CP (kgf/m <sup>2</sup> )	300.00

Tabla 1. Cargas verticales. Fuente propia.

- Para carga variable (CV)

De acuerdo al uso de la estructura se determina la carga, según lo indicado en la Tabla 5.1 Norma Acciones Mínimas. Obteniendo:

Para uso de OFICINA

CV (kgf/m <sup>2</sup> )	300.00
CV (kgf/m <sup>2</sup> )	100.00

Tabla 2. Cargas verticales. Fuente: Norma Acciones mínimas COVENIN 2002-1988.

Se obtienen dos valores de CV, debido a que, el valor de 300kgf/m<sup>2</sup> se aplicará en los entrepisos, mientras que la carga de 100kgf/m<sup>2</sup> será otorgada a la losa de techo.

Para el cálculo del espesor de la losa, primero se determina que tipo losa se utilizará, nervada o maciza. En el primer prediseño se designa como una losa maciza, el cual se calcula de acuerdo a las condiciones de apoyo y se procede de la siguiente manera:

Losa Maciza		cm	
Simplemente apoyado	L/20	35.00	no hay
Un extremo continuo	L/24	29.17	si
2 extremos continuos	L/28	25.00	si
Voladizo	L/10	70.00	no hay

Tabla 3. Espesor de losa. Fuente: Norma COVENIN 1753 Tabla 9.6.1

En los puntos donde se presenta los términos “si” y “no” indica que para el modelaje en el programa, la losa presenta o no esa condición de apoyo según sea el cálculo. Finalmente la losa presentará de acuerdo a los resultados, un espesor de 30 cm.

Al analizar este resultado se opta por el diseño definitivo de la losa con nervios en dos direcciones con formaletas de 75x75x30 cm con loseta de 5 cm por encima de la formaleta, de esta manera reducir en gran manera las cargas sobre la estructura.

#### **IV.1.2.2 Predimensionado de vigas**

Se considera para todos los niveles la misma sección transversal para las vigas, el prediseño se realiza de dos maneras, como sigue a continuación:

- Sin considerar efecto sísmico

Para las dimensiones de las vigas, se definió la altura en función de la luz de estas. Siendo  $h = L/14$ , donde L es la luz de las vigas. A continuación se recomienda que las dimensiones de estas presenten la siguiente relación  $h = 1.5*b$ , pudiendo hallar los valores de “b” y ajustarlos según las configuraciones más típicas.

	$h \approx L/14$	$h = 1,5*b$	$h$	$b$	$b$ corregido	Sección
L (m)	7.00	0.50	0.50	0.33	0.35	35x50

Tabla 4. Longitud de viga. Fuente: propia.

Siendo L, la longitud de la viga en metros (m), y la sección de esta en centímetros (cm).

- Considerando efecto sísmico

Vigas			Pisos	Factor sismo	
Factor sismo	1.80		<= 4	1.20	
$\phi$	0.90		4-6	1.40	
$\omega$	0.18		6-8	1.60	
Rcu (kgf/cm <sup>2</sup> )	43.44		> 8	1.80	
re (cm)	6.00		Cambiando la base		
b asumida (m)	0.35		b (m)	0.50	
Qu (kgf/m)	6,468.00		Mu (kgf*m)	31,693.20	$\approx Qu*L^2/10$
Mu (kgf*m)	31,693.20	$\approx Qu*L^2/10$	Mu (kgf*cm)	3,169,320	$\approx Qu*L^2/10$
Mu (kgf*cm)	3,169,320.00		d (cm)	51.25	
d (cm)	61.26		h (cm)	57.25	60.00
h (cm)	67.26	70.00	Secciones a usar entre PB y Piso 10		
			50x70		

Tabla 5. Secciones de vigas. Fuente: propia.

Donde:

$$f'c = 400 \text{ kgf/cm}^2$$

$\phi$ : factor de reducción por flexión

$\omega$ : valor sacado entre cuantía máxima (def. unitaria 0,005) y la mínima  $\left(14 * b * d / f_y\right)$

$$R_{cu} = \phi * \omega * (1 - 0.59 * \omega) * f'c \quad (\text{Ec 4-1})$$

Según el cálculo del prediseño de las vigas, se obtuvo una base de 35 cm, ahora tomando en cuenta el efecto sísmico se calcular el valor de h, arrojando una altura de 85 cm. Teniendo en cuenta la relación  $h = 1.5*b$  y respetando la misma se modifican los valores para finalmente obtener una base de 50 cm y altura de 70 cm. Sección final de la viga de 50x70 cm.

La tabla indicada es desde el nivel de PB al décimo piso (10), para los demás la variación radica en el factor sismo, el cual disminuir al ser menor la cantidad de pisos, tal como se aprecia en la esquina superior derecha (Factor Sismo).

#### **IV.1.2.3 Predimensionado de Columnas**

Se realiza con el criterio indicado a continuación:

- Sección cuadrada ( $b = h$ ).
- Cambio de secciones en cada 3 pisos.
- Prediseño con cargas de servicio.

Debido a que las columnas poseen diferentes secciones, se realiza el dimensionado por ancho tributario, teniendo en cuenta el factor K (factor de servicio)

k	0.30	0.25	0.20
columna	central	lateral	esquina

Tabla 6. Valores de factor “k” de columnas. Fuente: propia.

#### **IV.1.2.4 Selección del espectro de respuesta**

De acuerdo a la norma Covenin 1756-2001, esta indica los parámetros a ser usados para establecer el espectro de respuesta sísmica, tales parámetros son:

Definición de Espectro Elástico de Diseño		
R =	1	
To =	0.175	Art. 7.2
$\alpha$ =	1	Tabla 6.1
$\phi$ =	0.9	Tabla 5.1
$\beta$ =	2.6	Tabla 7.1
Ao =	0.3	Tabla 4.1
T* =	0.7	Tabla 7.1
T =	1.75	T=1,6*Ta
T+ =	0	Tabla 7.2
p =	1	Tabla 7.1
c =	0.787511062	Art. 7.2
Zona	5	
Cálculo de Ad		
Ad	0.281	
g (m/s <sup>2</sup> )	9.81	

Tabla 7. Espectro Elástico R=1

Antes de definir el factor de reducción de respuesta, es necesario identificar el tipo de estructura que se diseñará. Donde el art. 6.3.1 de la Norma COVENIN 1756-2001 para estructuras tipo III indica: “Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante pórticos diagonalizados o muros estructurales de concreto armado o de sección mixta acero-concreto, que soportan la totalidad de las cargas permanentes y variables. Los últimos son los sistemas comúnmente llamados de muros”. Siendo este el sistema estructural a ser diseñado, y con el nivel de diseño requerido (ND3), se determina el valor del factor de reducción de respuesta R.

Debido a que el análisis a realizar será mediante un acelerograma (Análisis Time History), Sismo El Centro, el factor de reducción de respuesta será igual a 1 (Espectro Elástico) como se indica en el Capítulo 9 (Método de análisis dinámico con Acelerogramas) de la Norma COVENIN 1756-2001. Destacando que para la Norma Venezolana como la Norma ASCE 7-10, señala que se requiere como mínimo tres pares de acelerogramas, en este caso, para fines académicos solo se trabaja con un (1) par de

registro, mencionado previamente. Finalmente se procede al montaje del espectro en el programa ETABS.

Una vez obtenido los datos, tanto cálculos de los predimensionado como los coeficientes para el modelaje, se procede a la evaluación de la estructura.

Al ser un análisis con espectro elástico ( $R=1$ ) el predimensionado de los elementos estructurales presentaran mayores sollicitaciones, teniendo como consecuencia las fallas de las columnas y las vigas; las cuales requieren mayores secciones de los miembros, causando la adición de muros o pantallas de corte, lo cual rigidizará la estructura, evitando la falla de esta. Siendo importante señalar que la disposición de los muros de corte se debió a las fallas de las vigas (por corte) que estaban ubicadas en el lugar final de los muros.

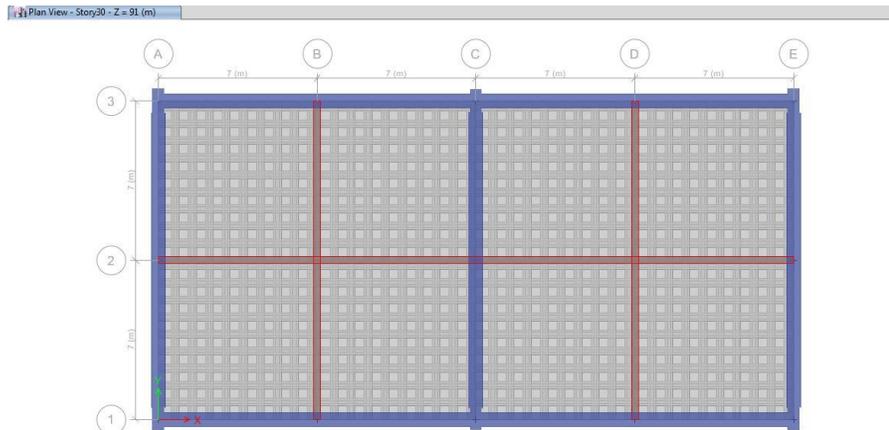


Figura 48. Visualización en planta de la adición de muros de corte. Fuente: propia.

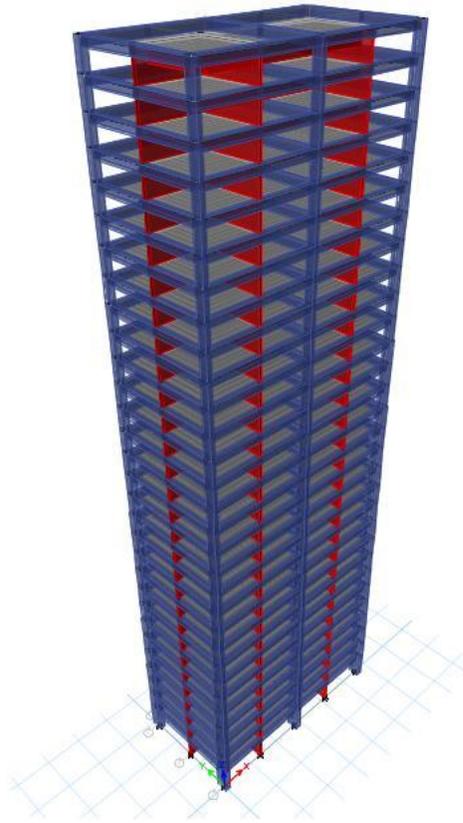


Figura 49. Visualización de la adición de muros de corte. Fuente: propia.

En la evaluación de la estructura se toma como parámetros de medición las derivas, cortante basales, cortante en los pisos, desplazamientos y aceleraciones. Siendo estos valores de comparación para cada modelo estructural.

- Derivas

La deriva resultante se debe verificar de acuerdo a las especificaciones en el Capítulo 10 de la Norma Venezolana sismorresistente, indicando lo siguiente:

“El desplazamiento lateral total  $\Delta_i$  del nivel  $i$  se calculará como”

$$\Delta_i = 0.8 * R * \Delta_{ei} \quad (\text{Ec 4-2})$$

Donde:

$R$  = Factor de reducción de respuesta

$\Delta_{ei}$  = Desplazamiento lateral del nivel i calculado para las fuerzas de diseño, suponiendo que la estructura se comporta elásticamente.

Posteriormente se define el valor límite de deriva según el grupo seleccionado a la estructura (B2), ver anexo “Figura A.III”

- Chequeo de corte basal

Control de corte basal		
según art. 9.6 de la Norma 1756		
VoRaya (Tonf)	$\mu * Ad * W$	3,198.10
$\mu$	0.87	
Ad	0.28	
W ETABS (Tonf)	12,991.89	
Vox ETABS (tonf)		Está muy bien
Voy ETABS (tonf)		
Vo ETABS (tonf)		

Tabla 8. Corte basal. Fuente: propia.

De esta manera se chequea que el corte resultante del diseño es mayor al mínimo requerido por norma.

- Desplazamiento

Se debe tomar en cuenta que para el diseño y resultado del modelo estructural se realizó varias iteraciones en las secciones con el fin de llegar a los resultados mostrados cumpliendo con lo demandado en la Norma COVENIN.

En el cálculo y diseño de las estructuras de 30 y 40 pisos se sigue el mismo procedimiento previamente descrito, en los siguientes puntos se observarán los resultados obtenidos, teniendo en cuenta que se realiza el mismo diseño para estimar los elementos estructurales.

## IV.2 Diseño Estructural con Análisis Tiempo Historia (Time History)

Se ha venido trabajando con un espectro dinámico inelástico para el diseño de las estructuras con un factor de reducción de respuesta  $R=6$ , esto indica que al momento de una excitación sísmica sobre el conjunto, la energía entrante se disipa por deformaciones en el rango elástico. Además del rango inelástico, esta energía se logra disipar por los elementos estructurales (vigas y columnas).

Ahora bien, para el diseño estructural por este análisis la Norma Venezolana indica lo siguiente:

“Los movimientos sísmicos a utilizar en el análisis podrán ser acelerogramas registrados o simulados mediante procedimientos reconocidos. El espectro elástico promedio de los acelerogramas del conjunto deberá aproximarse conservadoramente al espectro de diseño dado en el Artículo 7.2 para el valor  $R=1.0$ , en el rango de los periodos propios de la estructura.” COVENIN 1756-2001.

Con este análisis, la teoría indica que cuando una estructura sufre una excitación sísmica, trabajando de manera elástica, disipa energía a través de sus miembros estructurales sin permitir deformaciones remanentes.

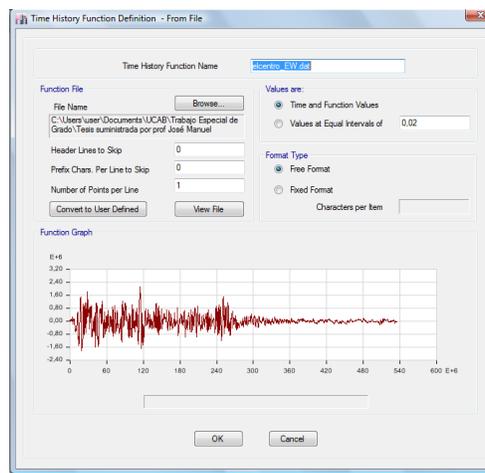


Figura 50.- definición de la función Time History. Fuente: ETABS 2016.

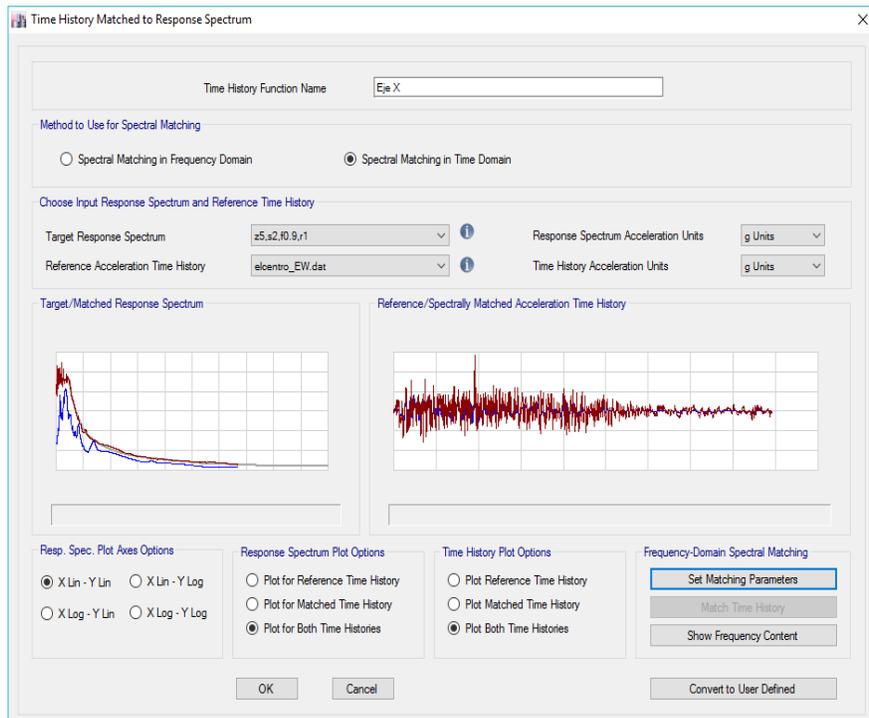


Figura 51. Montaje de Acelerograma con Espectro Elástico R=1 (dirección U1). Fuente: ETABS 2016.

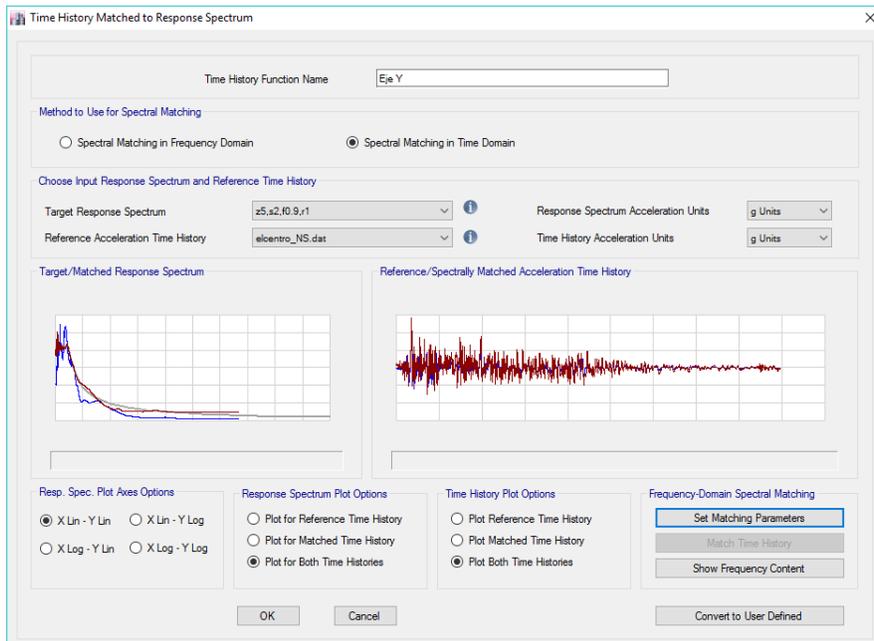


Figura 52. Montaje de Acelerograma con Espectro Elástico R=1 (dirección U2). Fuente: ETABS 2016.

Para el caso de carga, se le asigna tipo “No Lineal”, con el objetivo del diseño de los dispositivos de amortiguación.

Se le asigna intervalos de tiempos de recopilación de información cada 0,1seg para un numero de salto de 1000, de esta manera tener resultados aceptables. El factor de escala se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Factor\ de\ escala\ (SF) = \frac{a \cdot g}{a_{m\acute{a}x}} \quad (Ec\ 4-3)$$

Donde:

$a$  = fracción de la gravedad de acuerdo a la zona sísmica (0.3g)

$g$  = gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>)

$a_{m\acute{a}x}$  = aceleración máxima en la dirección de estudio obtenida en el acelerograma.

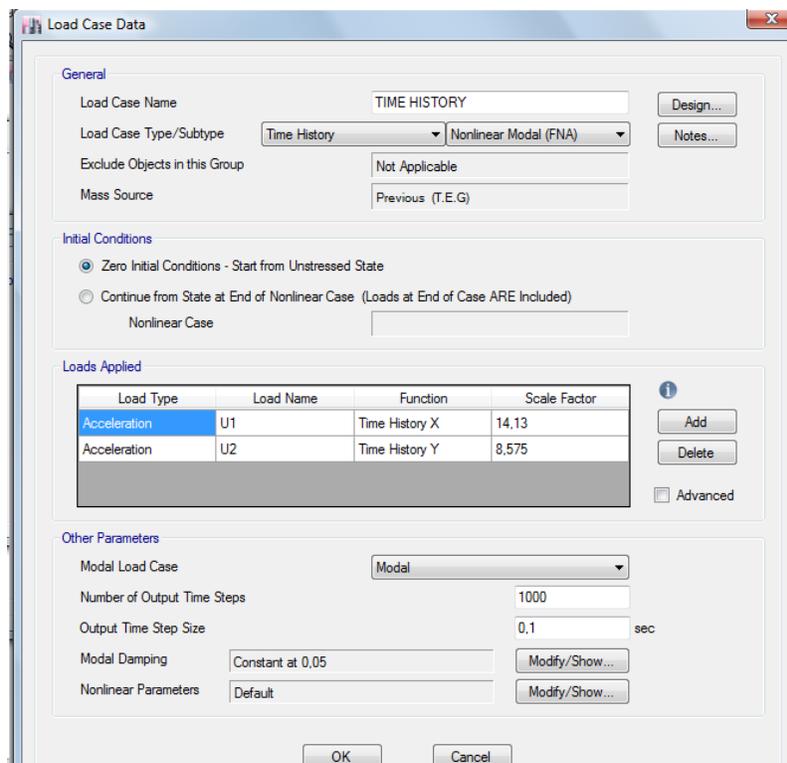


Figura 53. Definición del caso de carga. Fuente: ETABS 2016.

#### IV.2.1 Diseño con análisis Time History en estructura de 20 pisos

Luego de ingresar la data mencionada en el programa, se obtiene los resultados del modelo presentados a continuación:

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0041	0.0020	20
0.0060	0.0027	19
0.0074	0.0033	18
0.0085	0.0035	17
0.0089	0.0036	16
0.0103	0.0039	15
0.0114	0.0042	14
0.0112	0.0039	13
0.0115	0.0041	12
0.0117	0.0042	11
0.0116	0.0041	10
0.0113	0.0038	9
0.0107	0.0037	8
0.0099	0.0034	7
0.0094	0.0037	6
0.0089	0.0039	5
0.0084	0.0038	4
0.0080	0.0037	3
0.0071	0.0033	2
0.0039	0.0018	1

Tabla 9. Valores de deriva. Fuente: propia.

- Corte entrepisos

	Máx +	Mín -
	VX	VY
Piso	tonf	tonf
20	430.34	-181.09
19	868.01	-344.24
18	1261.52	-454.00
17	1615.43	-514.19
16	1930.76	-559.88
15	2191.81	-612.19
14	2369.36	-672.87
13	2446.27	-678.97
12	2438.77	-710.44
11	2563.35	-760.30
10	2650.32	-766.66
9	2671.25	-720.94
8	2628.95	-714.81
7	2623.19	-706.74
6	2692.32	-824.46
5	2865.25	-906.41
4	3084.30	-950.73
3	3238.53	-1010.63
2	3327.96	-1073.05
1	3365.01	-1102.41

Tabla 10. Valores de fuerza cortante en pisos. Fuente: propia.

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
20	7.105	-8.189	6.022	-3.094
19	6.662	-6.788	5.322	-2.530
18	6.157	-5.629	4.084	-2.105
17	5.498	-6.712	2.862	-1.840
16	4.799	-6.452	3.036	-1.816
15	3.997	-5.265	2.552	-1.831
14	4.126	-4.329	3.359	-1.996
13	4.441	-4.001	3.757	-1.887
12	4.292	-4.043	3.394	-1.735
11	4.345	-3.962	3.570	-2.085
10	5.243	-4.330	4.040	-2.497
9	5.570	-4.218	3.776	-2.838
8	5.145	-4.713	3.214	-2.664
7	4.784	-5.057	3.841	-2.091
6	4.676	-4.598	3.924	-1.839
5	4.072	-4.060	3.490	-1.969
4	4.164	-3.849	3.611	-1.794
3	3.795	-3.554	4.075	-1.672
2	4.478	-3.648	4.230	-1.458
1	4.966	-3.497	4.140	-1.877
Base	5.255	-3.464	3.955	-2.592

Tabla 11. Valores de aceleraciones máximas (positivos y negativos) en cada eje. Fuente: propia.

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
0.635	0.218	-0.676	-0.378	20
0.620	0.212	-0.661	-0.362	19
0.597	0.204	-0.640	-0.340	18
0.571	0.194	-0.611	-0.318	17
0.543	0.182	-0.579	-0.295	16
0.510	0.169	-0.545	-0.270	15
0.471	0.155	-0.507	-0.250	14
0.430	0.142	-0.467	-0.229	13
0.393	0.130	-0.430	-0.217	12
0.354	0.118	-0.394	-0.202	11
0.313	0.114	-0.356	-0.191	10
0.273	0.108	-0.323	-0.178	9
0.234	0.099	-0.288	-0.162	8
0.201	0.089	-0.252	-0.143	7
0.170	0.076	-0.216	-0.121	6
0.138	0.063	-0.179	-0.099	5
0.107	0.049	-0.139	-0.078	4
0.076	0.035	-0.099	-0.056	3
0.046	0.021	-0.060	-0.034	2
0.020	0.009	-0.025	-0.014	1
0.000	0.000	0.000	0.000	Base

Tabla 12. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en cada eje. Fuente: propia.

Después de los resultados dados para las tres estructuras se debe tomar las siguientes consideraciones:

- Derivas: el factor 0,8 es indicado en las tablas para el cálculo del desplazamiento lateral  $\Delta_i = 0.8 * R * \Delta_{ei}$
- Desplazamiento: las unidades indicadas en las tablas son en metros (m).
- Aceleración: se presenta las tablas para cada estructura ya que será necesario al momento de diseñar los dispositivos de disipación sísmica.

Para las estructuras de 30 y 40 pisos ver Anexos II y III respectivamente.

### **IV.3 Metodología de diseño para sistemas de protección sísmica**

Una vez obtenido el diseño previo de las estructuras se procede al diseño de los dispositivos disipadores, con fines a la realización del presente trabajo se opta por el diseño de dos (2) de estos elementos, el primero es un Disipador de Fluido Viscoso y el segundo es un Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB), Con el objeto de conocer el comportamiento de estos sistemas ante un evento.

#### **IV.3.1 Disipador de Fluido Viscoso**

La Norma ASCE 7-10 indica en el Capítulo 18 lo siguiente:

- Mínimo dos dispositivos en cada dirección para el análisis
- Se debe presentar dispositivos en todos los niveles
- El dispositivo debe ser diseñado para resistir torsión

Se decide colocar los disipadores de manera simétrica, de esta manera garantizar que todos los dispositivos trabajen en iguales condiciones.

Cabe destacar como se indica en el Capítulo III, se analiza una estructura indicador de 3 pisos a fin de obtener el comportamiento de esta presentando los sistemas de protección sísmica. Donde el criterio de diseño no se realizó según la Norma Venezuela, siendo las secciones de columnas y vigas de 50x50 cm y 50x70 cm respectivamente. Únicamente para esta estructura se presentaran los gráficos resultantes de su diseño.

#### **IV.3.1.1 Disipador de energía en estructura de 20 pisos**

- Amortiguamiento objetivo

Se determina el Factor de Reducción de respuesta (B) por la siguiente ecuación:

$$B = \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_{objetivo}} \quad (\text{Ec 2-21})$$

Donde:

$D_{m\acute{a}x}$ : Deriva máxima en la estructura sin disipador

$D_{objetivo}$ : Deriva resultante con disipador

Para el periodo de la estructura con el análisis time history sin disipador  $T= 2,541$  seg la  $D_{m\acute{a}x} = 0,011856$  y fijando  $D_{objetivo} = 0,0067$  se obtiene:

$$B = \frac{0,011856}{0,0067} = 1,769$$

Para la determinación del  $\beta_{eff}$  se procede al cálculo siguiente:

$$B = \frac{2,31-0,41*\ln(\beta_0)}{2,31-0,41*\ln(\beta_{eff})} \quad (\text{Ec 2-22})$$

El amortiguamiento inherente se fija en 5% para estructuras convencionales dando  $\beta_{eff} = 28,78\%$ . Se procede al cálculo de él amortiguamiento que presentara el disipador.

$$\beta_{eff} = \beta_{viscoso} - 5\% \quad (\text{Ec 2-23})$$

Despejando se obtiene que  $\beta_{viscoso} = 23,78\%$

Se procede a la determinación del exponente de velocidad ( $\alpha$ ) de acuerdo a lo indicado en el Capitulo 9 de la FEMA 274

Exponent $\alpha$	Parameter $\lambda$
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Figura 18. Valores de  $\lambda$ , en función del exponente de velocidad  $\alpha$ . Fuente FEMA 273-274.

Fijando que  $\alpha = 0,3$  se determina el parámetro  $\lambda$ , por interpolación se obtiene que  $\lambda = 3,66$

Para el coeficiente de amortiguación (C) se procede de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_j = \frac{\beta_v * 2 * \pi * (A)^{1-\alpha} * (\omega)^{2-\alpha} * \sum m_i * (\varphi_i)^2}{\lambda * \sum C_j * (\varphi_{rj})^{1+\alpha} * (\cos(\varphi_j))^{1+\alpha}} \quad (\text{Ec 2-20})$$

Donde:

$\beta_H$ : Amortiguamiento viscoso de la estructura

$C_j$ : coeficiente de amortiguamiento del dissipador j

$m_i$  : Masa del nivel i

$\Theta_j$ : Angulo de inclinación del dissipador j

$\varphi_{rj}$ : Desplazamiento modal en el nivel i

A: amplitud del desplazamiento del modo fundamental

$\omega$ : frecuencia angular

$\lambda$ : parámetro lambda (dependiente del exponente de velocidad descrita por la FEMA 274).

Para el cálculo del coeficiente de amortiguamiento, se realiza en ambas disposiciones.

#### **IV.3.1.1.1 Disipador tipo Diagonal**

Ubicación de los disipadores $\theta$	
Nivel	Angulo de inclinación $\theta$
Story 2-20	23.1986
Story1	29.7449

Tabla 13. Ángulo de inclinación de los disipadores. Fuente: propia.

A continuación se presenta en una tabla de Excel el cálculo de los términos para la determinación del coeficiente de amortiguamiento:

Dirección X-X							
piso	$\Phi_i$ (m)	$\Phi_{i+1}$ (m)	$\Phi_{rj}$ ( $\Phi_i - \Phi_{i+1}$ )	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)	COS $\theta$	$\cos\theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m * \Phi_i^2$
Story20	0.2125	0.0000	0.0088	51.5805	0.9191	0.0019	2.3295
Story19	0.2037	0.2125	0.0106	62.8768	0.9191	0.0024	2.6101
Story18	0.1932	0.2037	0.0111	62.8768	0.9191	0.0026	2.3465
Story17	0.1821	0.1932	0.0116	62.8768	0.9191	0.0027	2.0844
Story16	0.1705	0.1821	0.0119	62.9422	0.9191	0.0028	1.8292
Story15	0.1586	0.1705	0.0123	63.0341	0.9191	0.0030	1.5849
Story14	0.1462	0.1586	0.0130	63.0341	0.9191	0.0032	1.3477
Story13	0.1332	0.1462	0.0126	63.4016	0.9191	0.0030	1.1254
Story12	0.1207	0.1332	0.0131	63.9014	0.9191	0.0032	0.9306
Story11	0.1076	0.1207	0.0128	63.9014	0.9191	0.0031	0.7392
Story10	0.0947	0.1076	0.0121	67.6139	0.9191	0.0029	0.6066
Story9	0.0826	0.0947	0.0121	67.7830	0.9191	0.0029	0.4625
Story8	0.0705	0.0826	0.0120	67.7830	0.9191	0.0029	0.3366
Story7	0.0585	0.0705	0.0110	68.2289	0.9191	0.0026	0.2331
Story6	0.0474	0.0585	0.0106	68.8463	0.9191	0.0024	0.1547
Story5	0.0368	0.0474	0.0099	68.8463	0.9191	0.0022	0.0932
Story4	0.0269	0.0368	0.0086	69.3805	0.9191	0.0018	0.0503
Story3	0.0183	0.0269	0.0075	70.0861	0.9191	0.0016	0.0236
Story2	0.0108	0.0183	0.0061	70.0861	0.9191	0.0012	0.0082
Story1	0.0047	0.0108	0.0047	73.2137	0.8682	0.0008	0.0016
base	0.0000	0.0047	0.0000		Suma	0.0491	18.8980

Tipo diagonal

Tabla 14. Cálculos de parámetros para obtener el coeficiente de amortiguamiento. Fuente: propia.

Valores de Amortiguamiento Y-Y	
$\alpha$	0.3
$\beta_{eff}$	30
$\beta_o$	5
$\beta_{visc}$	25
T	1.18 segundos
$w^{(2-\alpha)}$	17.17
$A^{(1-\alpha)}$	0.27
$\lambda$	3.66

FRECUENCIA=FREC.ANG./2*PI()=w	5.32	Rad/seg
FRECUENCIA=1/T	0.85	

A(Amplitud)	0.1520
-------------	--------

Tabla 15. Cálculos de parámetros para obtener el coeficiente de amortiguamiento. Fuente: propia.

$\Sigma Cd$	757.804
C (tonf*seg/m)	4.736

160 disipadores

Se usará un C de 4 por cada disipador

Tabla 16. Valor del coeficiente de amortiguamiento. Fuente: propia.

➤ Perfil de acero de soporte

Se designa los perfiles de acero como brazos de soporte y vinculación con la estructura. Escogiendo un perfil (catalogo de UNICON) de sección cuadrada 260x260 (mm) se procede al cálculo de la rigidez K como se expresa a continuación:

$$K = \frac{E * A}{L} \quad (\text{Ec 2-24})$$

Donde:

E: modulo de elasticidad del perfil ( $2,1 \times 10^6$  Kgf/cm<sup>2</sup>)

A: área de la sección del perfil seleccionado

L: longitud del brazo metálico (sin la longitud del disipador)

Para determinar la longitud L se procede a la selección del disipador de acuerdo al catalogo de los fabricantes TAYLOR DEVICES inc. Indicado en los anexo “Figura A.V.1”.

Seleccionando el disipador de F= 250 kN, L=86,7cm tenemos lo siguiente:

para F=250KN	F = 25.48 tonf
K	E*A/L
E(kgf/cm <sup>2</sup> )	2,100,000
Fy(kgf/cm <sup>2</sup> )	3,515
L story 1 (m)	7
L story 2,20 (m)	7
K1 (tonf/m)	11,369.17
K2,20 (tonf/m)	12,127.11

Tabla 17. Cálculo de rigideces. Fuente: propia.

K1 es la rigidez del perfil para el primer nivel, K2-20 es la rigidez de los perfiles desde el nivel 2 hasta el 20.

➤ Chequeo de los elementos de acero

perfil HxB 260x260 (mm)	
H (mm)	260
B (mm)	260
e.nominal (mm)	11
A. diseño (cm <sup>2</sup> )	98.61
esb. Ala	20.42
esb. Alma	20.42
I <sub>x</sub> =I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	10052.33
S <sub>x</sub> =S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	773.26
r (cm)	10.1
Z <sub>x</sub> =Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	912.34

Tabla 18. Propiedades del perfil metálico. Fuente: propia.

Se determina si el perfil seleccionado resiste las solicitaciones en conjunto con el disipador.

Diseño de los elementos de acero				
Fe piso1 (kgf/cm <sup>2</sup> )	7,484.16	Fcr (kgf/cm <sup>2</sup> )	2,450.55	
Fe piso2-20 (kgf/cm <sup>2</sup> )	9,949.54	Fcr (kgf/cm <sup>2</sup> )	2,559.97	
$\phi^*P_n$ (kgf)	217,484.30	$\phi^*P_n$ (tonf)	217.48	$\phi^*F_{cr}*A$
$\phi^*T_n$ (kgf)	311,952.74	$\phi^*T_n$ (tonf)	311.95	$\phi^*F_y*A$

Tabla 19. Diseño del perfil metálico. Fuente: propia.

Piso 2-20		Piso 1	
Fuerza+ (tonf)	13.3677	Fuerza+ (tonf)	0.7866
Fuerza- (tonf)	-14.1746	Fuerza- (tonf)	-0.7866
Está bien	Está bien	Está bien	
Está bien	Está bien	Está bien	

Tabla 20. Verificación de fuerzas de diseño del perfil. Fuente: propia.

El perfil es eficaz a las cargas ejercidas por el comportamiento estructural.

Las propiedades finales para el disipador son las siguientes:

Las propiedades de los disipadores son las siguientes:		
C (tonf*sg/m)	5	K2 - 20 (tonf/m)
K1 (tonf/m)	11,369.167	12,127.111
$\alpha$	0.3	

Tabla 21. Propiedades del disipador. Fuente: propia.

Se muestra en el programa ETABS el procedimiento para introducir las propiedades del disipador.

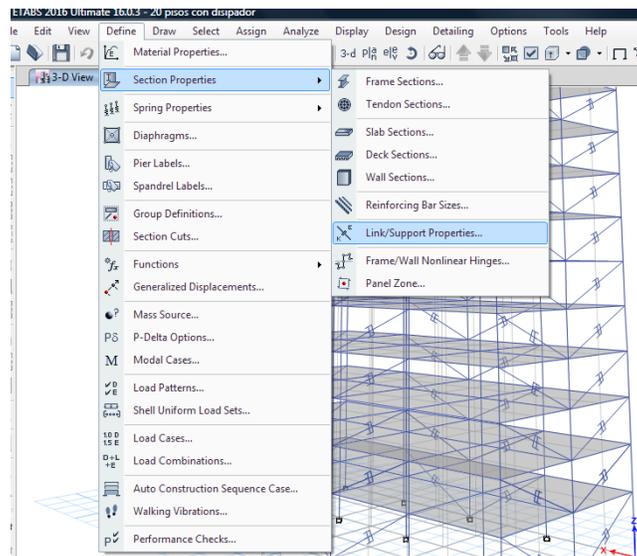
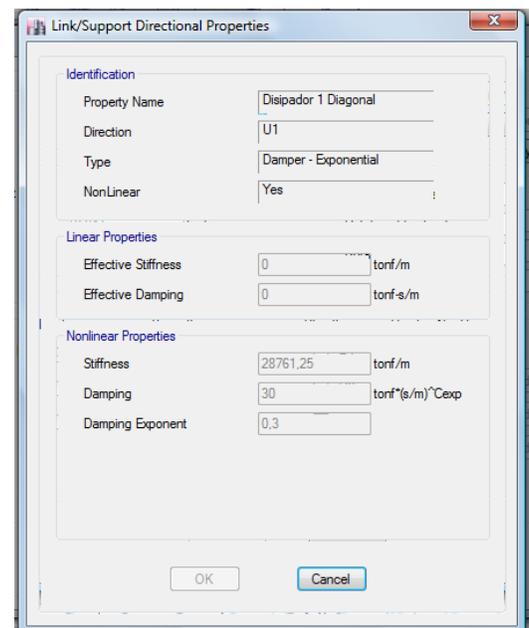
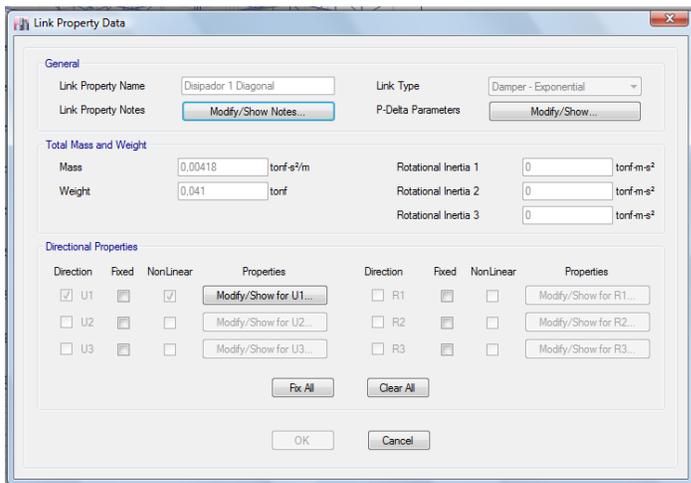


Figura 54. Asignación de propiedades para el disipador de fluido viscoso. Fuente: ETABS 2016.



Figuras 55 y 56. Asignación de propiedades para el disipador de fluido viscoso. Fuente: ETABS 2016.

Donde:

$K$  = Stiffness

$C$  = Damping

$\alpha$  = Damping Exponent

Finalmente al tener la estructura con el disipador modelado en el software se obtiene los siguientes resultados:

➤ Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0033	0.0015	20
0.0048	0.0020	19
0.0060	0.0024	18
0.0070	0.0026	17
0.0076	0.0027	16
0.0088	0.0029	15
0.0098	0.0031	14
0.0096	0.0031	13
0.0100	0.0032	12
0.0102	0.0033	11
0.0102	0.0033	10
0.0100	0.0032	9
0.0098	0.0032	8
0.0092	0.0031	7
0.0089	0.0032	6
0.0084	0.0034	5
0.0078	0.0034	4
0.0072	0.0032	3
0.0062	0.0029	2
0.0034	0.0016	1

Tabla 22. Valores de deriva. Fuente: propia.

➤ Corte entrepisos

	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
Piso	tonf		tonf	
20	405.24	-401.26	318.00	-152.13
19	791.44	-732.26	613.29	-267.48
18	1112.75	-978.90	837.03	-342.42
17	1436.20	-1165.75	973.01	-375.70
16	1708.62	-1416.15	1030.50	-397.63
15	1923.16	-1710.23	1039.54	-454.25
14	2077.96	-1949.29	1083.03	-475.99
13	2176.70	-2132.80	1121.54	-521.20
12	2271.30	-2266.60	1114.76	-565.21
11	2429.86	-2348.22	1077.20	-598.59
10	2528.62	-2375.26	1019.98	-610.14
9	2572.11	-2341.06	1002.63	-593.87
8	2565.88	-2349.15	1052.74	-639.15
7	2524.01	-2356.38	1114.69	-682.77
6	2485.44	-2314.51	1231.09	-714.24
5	2637.35	-2215.60	1310.99	-772.30
4	2802.65	-2188.70	1361.41	-835.86
3	2941.57	-2186.08	1390.66	-904.04
2	3078.11	-2281.08	1424.56	-975.25
1	3079.31	-2273.37	1407.15	-964.11

Tabla 23. Valores de fuerza cortante en pisos. Fuente: propia.

➤ Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
20	6.558	-6.035	5.131	-2.394
19	6.103	-5.193	4.463	-1.854
18	5.625	-4.794	3.433	-1.400
17	4.927	-5.170	2.555	-1.415
16	4.146	-5.074	2.715	-1.181
15	3.548	-4.435	2.391	-1.179
14	3.507	-4.192	2.799	-1.176
13	3.601	-3.786	3.147	-1.126
12	3.673	-3.530	2.920	-1.176
11	4.077	-3.247	3.250	-1.213
10	4.742	-3.477	3.613	-1.334
9	4.646	-3.512	3.327	-1.670
8	4.258	-3.489	2.985	-1.647
7	4.584	-3.837	3.607	-1.566
6	4.717	-3.763	3.765	-1.452
5	4.423	-3.340	3.446	-1.514
4	4.191	-3.193	3.227	-1.586
3	4.930	-3.535	3.618	-1.418
2	5.311	-3.729	3.851	-1.521
1	5.366	-3.523	3.945	-1.805
Base	5.255	-3.464	3.955	-2.592

Tabla 24. Valores de aceleraciones máximas (positivas y negativas) en ambos ejes. Fuente: propia.

➤ Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
0.571	0.191	-0.634	-0.373	20
0.558	0.186	-0.661	-0.362	19
0.541	0.180	-0.640	-0.340	18
0.518	0.172	-0.611	-0.318	17
0.492	0.164	-0.579	-0.295	16
0.465	0.154	-0.545	-0.270	15
0.434	0.145	-0.507	-0.250	14
0.401	0.135	-0.467	-0.229	13
0.368	0.126	-0.430	-0.217	12
0.334	0.116	-0.394	-0.202	11
0.298	0.105	-0.356	-0.191	10
0.262	0.098	-0.323	-0.178	9
0.225	0.089	-0.288	-0.162	8
0.191	0.078	-0.252	-0.143	7
0.159	0.067	-0.216	-0.121	6
0.127	0.055	-0.179	-0.099	5
0.096	0.043	-0.139	-0.078	4
0.067	0.031	-0.099	-0.056	3
0.040	0.018	-0.060	-0.034	2
0.017	0.008	-0.025	-0.014	1
0.000	0.000	0.000	0.000	Base

Tabla 25. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en ambos ejes. Fuente: propia.

Para las estructuras de 30 y 40 pisos ver Anexos II.1.1 III.1.1 respectivamente.

#### IV.3.1.1.2 Disipador tipo Chevron

A comparación de la disposición en diagonal, el ángulo de inclinación  $\theta$  será igual a cero puesto que esta de forma horizontal dispuesto en el centro de la viga con dos soportes de perfiles de acero, el resto de los cálculos es exactamente de la misma manera.

Ángulo disipadores	Direccion X-X							
	piso	$\Phi_i$ (m)	$\Phi_{i+1}$ (m)	$\Phi_{ij}$ ( $\Phi_i - \Phi_{i+1}$ )	Masa (tonf·s <sup>2</sup> /m)	COS $\theta$	$\cos\theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{ij}^{(1+\alpha)}$	$m * \Phi_i^2$
0	Story20	0.2125	0.0000	0.0088	51.5805	1.0000	0.0021	2.3295
0	Story19	0.2037	0.2125	0.0106	62.8768	1.0000	0.0027	2.6101
0	Story18	0.1932	0.2037	0.0111	62.8768	1.0000	0.0029	2.3465
0	Story17	0.1821	0.1932	0.0116	62.8768	1.0000	0.0030	2.0844
0	Story16	0.1705	0.1821	0.0119	62.9422	1.0000	0.0032	1.8292
0	Story15	0.1586	0.1705	0.0123	63.0341	1.0000	0.0033	1.5849
0	Story14	0.1462	0.1586	0.0130	63.0341	1.0000	0.0035	1.3477
0	Story13	0.1332	0.1462	0.0126	63.4016	1.0000	0.0034	1.1254
0	Story12	0.1207	0.1332	0.0131	63.9014	1.0000	0.0036	0.9306
0	Story11	0.1076	0.1207	0.0128	63.9014	1.0000	0.0035	0.7392
0	Story10	0.0947	0.1076	0.0121	67.6139	1.0000	0.0032	0.6066
0	Story9	0.0826	0.0947	0.0121	67.7830	1.0000	0.0032	0.4625
0	Story8	0.0705	0.0826	0.0120	67.7830	1.0000	0.0032	0.3366
0	Story7	0.0585	0.0705	0.0110	68.2289	1.0000	0.0029	0.2331
0	Story6	0.0474	0.0585	0.0106	68.8463	1.0000	0.0027	0.1547
0	Story5	0.0368	0.0474	0.0099	68.8463	1.0000	0.0025	0.0932
0	Story4	0.0269	0.0368	0.0086	69.3805	1.0000	0.0021	0.0503
0	Story3	0.0183	0.0269	0.0075	70.0861	1.0000	0.0017	0.0236
0	Story2	0.0108	0.0183	0.0061	70.0861	1.0000	0.0013	0.0082
0	Story1	0.0047	0.0108	0.0047	73.2137	1.0000	0.0009	0.0016
0	base	0.0000	0.0047	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	Suma						0.0528	16.5685

Tipo Chevron

Tabla 26. Cálculos de parámetros para obtener el coeficiente de amortiguamiento. Fuente: propia.

$\Sigma Cd$	618.56
C	3.87

160 disipadores

Se usará un C de 4 por cada disipador

Tabla 27. Valor del coeficiente de amortiguamiento. Fuente: propia.

C presentado en (Tonf\*seg/m)

Mismo perfil seleccionado del catalogo UNICON 260x260 (mm), tenemos:

para F=250KN	F = 25.48 tonf
K	E*A/L
E(kgf/cm <sup>2</sup> )	2,100,000
Fy(kgf/cm <sup>2</sup> )	3,515.00
Fu (kgf/cm <sup>2</sup> )	4,360.00
L story 1 (m)	5.32
L story 2,20 (m)	4.61
K1 (tonf/m)	38,961.08
K2,20 (tonf/m)	44,922.18

Tabla 28. Cálculo de rigideces. Fuente: propia.

Propiedades finales para esta disposición:

Las propiedades de los disipadores Y son las siguientes:		
C (tonf*sg/m)	4	K2 - 20 (tonf/m)
K1 (tonf/m)	38,961.084	44,922.176
$\alpha$	0.3	

Tabla 29. Propiedades del perfil metálico. Fuente: propia.

Para esta disposición se obtienen los siguientes resultados:

➤ Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0027	0.0012	20
0.0039	0.0015	19
0.0051	0.0018	18
0.0062	0.0021	17
0.0067	0.0023	16
0.0077	0.0025	15
0.0086	0.0027	14
0.0085	0.0027	13
0.0089	0.0028	12
0.0092	0.0029	11
0.0092	0.0030	10
0.0092	0.0030	9
0.0092	0.0031	8
0.0087	0.0031	7
0.0084	0.0031	6
0.0080	0.0032	5
0.0075	0.0031	4
0.0071	0.0029	3
0.0058	0.0025	2
0.0031	0.0014	1

Tabla 30. Valores de deriva. Fuente: propia.

➤ Corte entrepiso

	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
Piso	tonf		tonf	
20	398.2799	-300.8874	265.7657	-111.5124
19	728.6195	-545.5074	514.0118	-190.8053
18	1006.4692	-802.6318	713.6805	-246.2903
17	1242.9479	-1049.7229	847.7851	-313.1559
16	1503.983	-1280.4771	923.4917	-364.7094
15	1714.6698	-1496.2691	961.1641	-390.5583
14	1876.5531	-1706.9365	975.678	-399.8079
13	1992.2449	-1880.1958	977.5023	-438.1501
12	2099.6845	-2012.0055	975.7077	-475.4355
11	2262.2413	-2093.2325	968.7493	-503.8143
10	2370.7805	-2138.8728	954.2656	-514.2859
9	2430.9763	-2194.6844	927.9701	-540.0579
8	2448.7194	-2224.69	964.6678	-578.842
7	2438.152	-2222.1165	1022.2659	-603.8319
6	2417.0395	-2189.9752	1084.4484	-639.1696
5	2482.8708	-2181.7639	1133.496	-683.1566
4	2635.9104	-2145.0089	1187.5216	-755.3041
3	2746.5454	-2086.0672	1244.0019	-813.1645
2	2885.9869	-2153.9334	1344.9605	-895.2057
1	2828.7884	-2081.4786	1299.4298	-842.5949

Tabla 31. Valores de fuerza cortante en pisos. Fuente: propia.

➤ Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
20	6.32	-4.75	4.48	-1.70
19	5.73	-4.48	3.84	-1.35
18	4.84	-4.24	3.14	-1.39
17	4.47	-4.11	2.32	-1.24
16	3.93	-4.08	2.52	-0.98
15	3.68	-3.93	2.34	-0.99
14	3.52	-3.91	2.52	-0.92
13	3.64	-3.54	2.79	-0.88
12	3.75	-3.40	2.61	-0.95
11	3.69	-3.14	3.04	-1.02
10	3.92	-2.85	3.36	-1.11
9	4.21	-3.06	3.08	-1.08
8	4.17	-2.98	2.93	-1.26
7	4.31	-2.89	3.60	-1.18
6	4.59	-3.03	3.75	-1.23
5	4.54	-3.18	3.39	-1.35
4	4.21	-3.02	3.27	-1.49
3	4.75	-3.28	3.73	-1.39
2	5.11	-3.45	3.97	-1.39
1	5.24	-3.36	4.01	-1.87
Base	5.25	-3.46	3.95	-2.59

Tabla 32. Valores de aceleraciones máximas (positivas y negativas) en ambos ejes. Fuente: propia.

➤ Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
0.521	0.180	-0.605	-0.368	20
0.511	0.176	-0.592	-0.354	19
0.496	0.170	-0.575	-0.336	18
0.477	0.164	-0.553	-0.317	17
0.455	0.157	-0.528	-0.295	16
0.431	0.149	-0.500	-0.272	15
0.404	0.140	-0.470	-0.250	14
0.375	0.132	-0.436	-0.230	13
0.346	0.123	-0.402	-0.215	12
0.316	0.114	-0.366	-0.198	11
0.284	0.105	-0.329	-0.181	10
0.250	0.095	-0.293	-0.163	9
0.216	0.084	-0.257	-0.145	8
0.182	0.073	-0.223	-0.126	7
0.152	0.062	-0.190	-0.106	6
0.121	0.050	-0.155	-0.085	5
0.091	0.038	-0.119	-0.064	4
0.064	0.027	-0.084	-0.044	3
0.037	0.016	-0.051	-0.026	2
0.016	0.007	-0.022	-0.011	1
0.000	0.000	0.000	0.000	Base

Tabla 33. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en ambos ejes. Fuente: propia.

Para las estructuras de 30 y 40 pisos ver Anexos II.1.2 y III.1.2.

### **IV.3.2 Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)**

El diseño de estos dispositivos se basa primordialmente en el incremento de los periodos de vibración presentes en la estructura, de esta manera disminuir las aceleraciones presentes en el sistema.

#### **IV.3.2.1 Metodología de diseño**

A continuación se presenta por paso el proceso de diseño del aislador de núcleo de plomo a fin de obtener las propiedades mecánicas que serán ingresadas para modelar el comportamiento de este sistema, se procede de la siguiente manera:

##### **IV.3.2.1.1 Estructura de 20 pisos**

Previo al diseño es preciso calcular ciertos parámetros, tal como lo indica la NCh2745-2003, presentado a continuación:

- Desplazamiento de diseño y máximo:

$$D_D = \frac{C_D}{B_D} \quad (\text{Ec 4-4})$$

$$D_M = \frac{C_M}{B_M} \quad (\text{Ec 4-5})$$

Siendo:

$C_D$   $C_M$ : Coeficiente sísmico de desplazamiento en función al tipo de suelo

Para conocer estos coeficientes, primero se debe proceder a lo siguiente:

- Parámetro Z de zona sísmicas

La Norma Chilena NCh2745 define 3 zonas sísmicas como se presenta de la siguiente manera:

Zona Sismica	Z
1	0.75
2	1
3	1.25

Tabla 34. Valor de Z. fuente: Norma Chilena NCh2745-2003.

Sin embargo se para este trabajo se debe de realizar bajo la Norma Venezolana, presentado a continuación:

Zona sismica Norma Chilena	Ao	Zona sismica Norma Venezolana	Ao	Z
1	0.1 a 0.2	1	0.10	0.75
		2	0.15	
		3	0.20	
2	0.2 a 0.3	4	0.25	1.00
		5	0.30	
3	0.3 a 0.4	6	0.35	1.25
		7	0.40	

Tabla 35. Fuente: T.E.G. Carvajal Hendrif y Salazar Jorge.2015.

- Factor de amplificación sísmica  $M_m$  :

La norma chilena indica, mediante la siguiente tabla, el factor  $M_m$  en función de la zona sísmica.

zona sismica	Mm
1	1.2
2	1.2
3	1.2

Tabla 36. Valor  $M_m$ . Fuente: Norma Chilena NCh2745-2003.

Finalmente las ecuaciones correspondientes para determinar los coeficientes sísmicos, se indican a continuación en la siguiente tabla:

Tipo de suelo	Cd (mm)	Cm (mm)
1	200*Z	200*Mm*Z
2	300*Z	300*Mm*Z
3	330*Z	330*Mm*Z

Tabla 37. Ec. Cd y Cm. Fuente: Norma Chilena NCh2745-2003.

- Amortiguamiento efectivo

Se debe estimar para el primer cálculo el valor del  $\beta_{eff}$  teniendo en cuenta que no debe ser mayor al 30% del crítico.

- Geometría del dispositivo

Para el diseño del aislador, primero se determinara el peso sísmico total de la estructura, de esta manera conocer el prediseño del dispositivo conociendo el peso ejercido en cada una de ellas. El número de aisladores dependerá del número de columnas presentes en la edificación.

$$Peso/aislador = \frac{W}{N} \quad (Ec 4-6)$$

Siendo:

$W$  : Pesos sísmicos de la estructura (obtenido en el software ETABS)

$N$  : Número de aisladores presente en el sistema

Donde indica las propiedades mecánicas y geométricas para cara dispositivo dependiendo del diámetro. Teniendo en cuenta que la geometría del aislador será circular.

- Rigidez horizontal  $K_H$  del aislador

$$K_{HTOTAL} = \frac{4*\pi^2*W}{TDp} \quad (Ec 4-7)$$

$$K_H = \frac{K_{HTOTAL}}{N} \quad (Ec 4-8)$$

- Área del núcleo de plomo del aislador

Con la tensión admisible y la carga máxima sobre el dispositivo se procede al cálculo del área. Esta viene indicada por:

$$A_p = \frac{P_{máx}}{\sigma_{adm}} \quad (\text{Ec 4-9})$$

Implícitamente se conoce el diámetro  $D_p$  del núcleo de plomo del aislador.

Se procede a la selección mediante el catálogo presentado en el Anexo “Figura A.V.2”.

Donde se indica las propiedades mecánicas y geométricas para cada dispositivo dependiendo del diámetro. Teniendo en cuenta que la geometría del aislador será circular.

- Capacidad a cero deformación

Viene indicado como  $Q$  en función a la tensión de fluencia del plomo dada por:

$$Q = A_p * \tau_y \quad (\text{Ec 4-10})$$

$$\frac{Q}{W} = \% \quad (\text{Ec 4-11})$$

Además se debe chequear que  $D_p$  esté dentro del rango indicado:

$$\frac{D}{6} \leq D_p \leq \frac{D}{3} \quad (\text{Ec 4-12})$$

- Espesor total de la goma

El espesor  $H_r$  depende de la deformación lateral por corte, tomando en cuenta el desplazamiento de diseño.

$$H_r = \frac{D_D}{\gamma_s} \quad (\text{Ec 4-13})$$

- El modulo de corte  $G$

$$G = \frac{Kh*Hr}{Ap} \quad (\text{Ec 4-14})$$

Se verifica con el rango indicado en las ofertas del mercado.

- Se estima el espesor de la capa de la goma  $t_r$ , controla la flexibilidad horizontal del dispositivo.
- Factor de forma  $S$ , parámetro adimensional que mide el tamaño de una lamina de goma.

$$S = \frac{D^2 - D_p^2}{4 * D * t_r} \quad (\text{Ec 4-15})$$

Ecuación indicada para aisladores anulares

Se debe garantizar que el factor de forma  $S$  sea  $> 10$  para que la rigidez vertical sea adecuada en el diseño

- Se determina a continuación el espesor de capa de goma

$$n = \frac{H_r}{t_r} \quad (\text{Ec 4-16})$$

- Se escoge un valor de espesor de placas de acero  $t_s$  verificando que los esfuerzos actuantes sea menores a lo permitido por el dispositivo.

$$\sigma_s = 1.5 * \frac{t_r}{t_s} * \sigma_{ac} \quad (\text{Ec 4-17})$$

$$\sigma_{adm} \leq 0.75 * \sigma_y \quad (\text{Ec 4-18})$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{adm} \quad (\text{Ec 4-19})$$

- Rigidez inicial  $K_e$  y rigidez post-fluencia  $K_d$

$K_d$ , es la rigidez de la goma presentada en la post fluencia del material, calculándose de la siguiente manera:

$$K_d = \frac{1.15 * G * A}{H_r} \quad (\text{Ec 4-20})$$

$K_e$  , es la rigidez inicial del núcleo de plomo

$$K_e = 10 * K_d \quad (\text{Ec 4-21})$$

$$K_{eff} = K_d + \frac{Q}{D_D} \quad (\text{Ec 4-22})$$

- Se determina el desplazamiento de fluencia, posteriormente el esfuerzo fluente

$$D_y = \frac{Q}{J} \quad (\text{Ec 4-23})$$

$$F_y = Q + K_d * D_y \quad (\text{Ec 4-24})$$

El valor de J será entre (5.5 a 9) veces  $K_d$ .

- La rigidez vertical  $K_v$  será calcula con la sección plena del aislador (placas de acero)

$$\frac{1}{E_c} = \left( \frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K} \right) \quad (\text{Ec 4-25})$$

$$K_v = \frac{E_c A}{H_r} + \frac{E_l A_p}{H_l} \quad (\text{Ec 4-26})$$

Donde:

$K$ : modulo de compresibilidad de la goma (2000MPa)

$E_l=140000$  Kgf/cm<sup>2</sup>

- La frecuencia vertical será calculada de la siguiente manera:

$$f_v = \sqrt{6Sfh} \quad (\text{Ec 4-27})$$

La frecuencia vertical debe ser mayor de 10Hz, caso contrario se debe revisar el espesor de la capa de goma  $n$ .

➤ Deformación angular máxima se calcula mediante la suma de las deformaciones asociadas al corte, flexión y compresión. La última se desprecia por la poca influencia en el comportamiento.

$$\gamma_{max} = \gamma_s + \gamma_c \quad (\text{Ec 4-28})$$

$$\gamma_s = \frac{D_M}{H_r} \quad (\text{Ec 4-29})$$

$$\gamma_c = 6 * S * \varepsilon_c \quad (\text{Ec 4-30})$$

$$\varepsilon_c = \frac{P_{m\acute{a}x}/A}{E_o(1+2*K*S^2)} \quad (\text{Ec 4-31})$$

$E_o$ , es un dato del fabricante y el valor  $K$  se considera de 0.7 a 1.

La deformación máxima viene dado por lo siguiente:

$$\gamma_{max.propuesto} = \frac{0.85*\varepsilon_b}{F.S.} \quad (\text{Ec 4-32})$$

$\varepsilon_o$ , se considera como 5.5

$F.S. \geq 1.5$

Se realiza el siguiente chequeo:

$$\gamma_{max} \leq \gamma_{max.propuesto} \quad (\text{Ec 4-32})$$

Si no verifica esta condición se a procede al cambio de espesor de goma.

➤ Verificación al pandeo

Al presentarse solicitaciones en el aislador debidos a fuerzas compresivas y cortantes, se genera flexión en el elemento. Por lo que se debe chequear esta condición

$$P_{critica} = \frac{P_s}{2} * \left( \sqrt{1 + 4 * \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \quad (\text{Ec 4-33})$$

$P_s$ , es la rigidez de corte efectiva y  $A_s$  es el area de corte efectiva, dado por:

$$P_s = (GA)_{eff} = GA_s \quad (\text{Ec 4-34})$$

$$A_s = A \frac{h}{H_r} \quad (\text{Ec 4-35})$$

La carga de alabeo para una columna con deformación nula al esfuerzo al corte, es presentado como se indica:

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{h^2} \quad (\text{Ec 4-36})$$

$(EI)_{eff}$ , es la rigidez a la inclinación, también denominado como “Tilting”

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_C I \quad (\text{Ec 4-37})$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{D_e}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_i}{2} \right)^4 \right] \quad (\text{Ec 4-38})$$

Se debe verificar la siguiente condición para el buen comportamiento al pandeo inducido por cargas al aislador, presentado de la manera siguiente:

$$\frac{P_{critica}}{P_{maxima}} \geq F.S. \quad (\text{Ec 4-39})$$

$$F.S. \approx 2$$

De no chequear, se procede a cambiar el diámetro del núcleo de plomo o la altura de la goma.

➤ Verificación al volcamiento

También llamado “roll out”, mediante la carga vertical mínima se verifica el máximo desplazamiento para que se produzca esta condición

$$D_{max} = \frac{P_{min}\phi}{P_{min} + K_H H} \quad (\text{Ec 4-40})$$

Se define el factor de seguridad contra volcamiento, generalmente es igual a 2

$$F.S. = \frac{D_{max}}{D_D} \quad (\text{Ec 4-41})$$

Se debe tomar las siguientes consideraciones:

Al estar el dispositivo conectado a la estructura por medio de llaves de corte o clavijas, este factor de seguridad es de real importancia, ya que de esta forma es más factible que se produzca este fenómeno. Por otro lado, si está conectado por sistema de pernos, este factor de seguridad no es relevante, ya que por el tipo de conexión se evita el volcamiento.

#### IV.3.2.2 Diseño aislador de núcleo de plomo para 20 pisos

Siguiendo la metodología de diseño para el dispositivo, se presenta a continuación la tabla con el diseño final del aislador y los parámetros para el modelaje en el software ETABS.

W (tonf)	12991.89	Peso Sísmico (CP + γCV) sacado de ETABS		
Cantidad Aisladores	15			
P. En aisladores (tonf)	866.13		T edif normal (seg)	1.18
T diseño (seg)	2	Periodo objetivo deseado		
g (m/s <sup>2</sup> )	9.81			

Tabla 38. Valores para cálculo de aisladores con núcleo de plomo.

suponiendo	β eff (%)	25
------------	-----------	----

Tabla 39. Valor asumido de β<sub>eff</sub>. Fuente: propia.

Z	Mm	Tipo de suelo
1	1.2	2

Tabla 40. Valores “Z” y “Mm” para tipo de suelo. Fuente: Norma Chilena NCh2745-2003.

Con las cargas máximas y mínimas dadas por los casos de cargas dadas en el programa se puede determinar las cargas máximas y mínimas sobre el aislador, se muestra a continuación:

TABLE: Base Reactions	
Load Case/Combo	FZ
	tonf
Comb1	16597.12
Comb2	17863.87
Comb3 Max	20483.45
Comb3 Min	10242.36
Comb4 Max	15790.13
Comb4 Min	5549.03

Tabla 41. Combinaciones de cargas. Fuente: ETABS 2016.

$B_D$	2.17	$B_M$	2.17
P máx (tonf)	20,483.45	P máx/aislador (tonf)	1,365.56
P mín (tonf)	5,549.03	P mín/aislador (tonf)	369.94
$\tau_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	100	tensión de cedencia del plomo	
$\sigma_{ac}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	90	$\gamma$ máx (%)	250
$\gamma_s$	1.5	Deformación lateral por corte	

Tabla 42. Cálculo de fuerzas máximas y propiedades del aislador.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES			
DESCRIPCION	limite inferior LB	limite superior LB	unidades
MODULO DE CORTE EFECTIVO DE GOMA G	5.95	8.05	Kg/cm2
MODULO VOLUMETRICO DE GOMA K	2000	2000	Mpa
MODULO DE CORTE DEL PLOMO Gp	127.5	172.5	Mpa
ESFUERZO DE CORTE DEL PLOMO Tpy	85	115	kg/cm2

Desplazamiento de diseño Dd (cm)	13.82
Desplazamiento máximo Dmáx (cm)	16.59

$P_{m\acute{a}x}$ (KN)	13,396.18
------------------------	-----------

Tabla 43. Propiedades de los materiales que componen el aislador, desplazamientos de cálculo y fuerza máxima en el aislador. Fuente: propia.

Con  $P_{m\acute{a}x}$  por aislador se selecciona por el fabricante el dispositivo, teniendo lo siguiente:

Kh total (tonf/m)	13,070.83
Kh (tonf/m)	871.39

Tabla 44. Valor de rigidez horizontal en conjunto e individual de cada aislador. Fuente: propia.

Diámetro aislador (cm)	116			
Área aislador (cm <sup>2</sup> )	10,568.32			
Otra metodología, D. plomo entre 15 a 20% D. total				
diám plomo 15% (cm)	17.4	Área plomo (cm <sup>2</sup> )	237.79	
diám plomo 20% (cm)	20	Área plomo (cm <sup>2</sup> )	314.16	valor a usar
Q/aislador (kgf)	31,415.93			
Q/aislador (KN)	308.19	Está bien	valor a usar	

Tabla 45. Cálculo de fuerza por cada aislador. Fuente: propia.

Hr (cm)	8	
tr (cm)	1	Se Supuso
G (kgf/cm <sup>2</sup> )	6.60	
S	28.14	Ok
$\sigma_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	270.00	
$\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	2,400.00	Valor de cedencia de las placas de acero
$\sigma_{adm}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,800.00	Ok

fi	1.15
Kd (kg/cm)	10,020.97
Ke (kg/cm)	100,209.67
Keff (kg/cm)	12,293.39
Dy (cm)	0.35
Fy (kgf)	34,906.59

$K$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	20,000.00
$EI$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	140,000.00
$1/E_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	9.86E-05
$E_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	10,144.07
$K_v$ (kgf/cm)	17,225,270.81

$f_h$ (Hz)	0.5	
$f_v$ (Hz)	34.46	O.K
$K_h$ (tonf/m)	871.39	Está bien
$T$ (seg)	2.00	Está bien

$\gamma_s$	2.07		
$\gamma_c$	0.56		
$\varepsilon_c$	0.00		
$E_o$	35.00		
$\gamma_{max}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.64		
$E_b$	5.50		
F.S	1.50		
$\gamma_{propuesto}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	3.12		
chequeo	OK		
$\beta_{eff}$	0.115		
Paso 17			
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	15,191.96		
$P_s$ (kgf)	100,209.67		
$I$ (cm <sup>4</sup> )	8,880,101.19		
$E \cdot I_{eff}$ (kgf*cm <sup>2</sup> )	30,026,798,188.56	Rígidez a la inclinación	
$P_e$ (kgf)	2,240,851,565.61		Está bien
$P_{crítica}$ (kgf)	1,323,480,464.31	$P_{crítica}$ (tonf)	1323480.464

Tabla 46. Cálculo de propiedades para el diseño del aislador con núcleo de plomo. Fuente: propia.

Para este trabajo se considera conexión por pernos, por lo que no se requiere verificación por volcamiento.

Finalmente se presenta la tabla para el modelado del disipador en el programa:

C (Tonf*seg/m)	63.64
Kd (tonf/m)	1002.10
Kv (tonf/m)	1722527.08
Keff (tonf/m)	1229.34
Fy (tonf)	34.91
Ratio	0.1

Tabla 47. Propiedades del disipador para el modelaje. Fuente propia.

Teniendo como resultado del modelaje lo siguiente:

➤ Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.00023	0.00116	20
0.00022	0.00119	19
0.00022	0.00120	18
0.00022	0.00120	17
0.00021	0.00118	16
0.00021	0.00114	15
0.00019	0.00109	14
0.00019	0.00103	13
0.00018	0.00097	12
0.00018	0.00091	11
0.00018	0.00085	10
0.00018	0.00080	9
0.00019	0.00077	8
0.00022	0.00074	7
0.00024	0.00073	6
0.00028	0.00072	5
0.00031	0.00070	4
0.00039	0.00091	3
0.00177	0.00167	2
0.02639	0.01271	1

Tabla 48. Valores de Deriva. Fuente: propia.

➤ Corte entrepisos

Piso	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	<b>VX</b>		<b>VY</b>	
	tonf		tonf	
20	129.51	-256.29	36.08	-210.88
19	156.55	-294.78	77.87	-235.43
18	292.90	-336.87	249.88	-151.45
17	622.58	-475.96	523.53	-199.84
16	783.31	-565.38	613.12	-236.06
15	704.56	-593.67	498.37	-258.65
14	486.16	-582.38	360.26	-341.86
13	417.48	-576.03	342.01	-454.77
12	447.39	-615.60	418.97	-415.41
11	765.26	-691.36	589.09	-311.68
10	1160.91	-766.98	935.68	-329.09
9	1378.23	-804.18	1105.47	-340.38
8	1241.65	-775.71	954.38	-354.26
7	774.96	-686.27	607.86	-367.36
6	521.04	-706.47	359.00	-681.66
5	468.23	-990.49	222.43	-885.15
4	494.38	-718.67	341.97	-642.77
3	1216.62	-739.98	981.25	-379.59
2	3245.22	-1594.09	2700.12	-454.84
1	5892.66	-2751.62	4938.56	-615.13

Tabla 49. Valores de fuerza cortante en pisos. Fuente: propia.

➤ Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
20	1.95	-1.97	1.21	-0.90
19	1.81	-1.84	1.11	-0.82
18	1.60	-1.64	1.02	-0.71
17	1.48	-1.40	1.01	-0.65
16	1.36	-1.22	1.01	-0.56
15	1.30	-1.22	0.99	-0.52
14	1.24	-1.14	0.93	-0.50
13	1.14	-0.97	0.84	-0.46
12	1.05	-0.83	0.84	-0.44
11	1.09	-0.80	0.84	-0.44
10	1.14	-0.81	0.83	-0.48
9	1.24	-0.88	0.89	-0.49
8	1.29	-0.92	0.94	-0.48
7	1.28	-0.93	0.94	-0.47
6	1.28	-0.92	0.90	-0.52
5	1.31	-0.90	0.91	-0.58
4	1.31	-0.92	0.91	-0.62
3	1.27	-0.96	0.95	-0.67
2	1.31	-1.01	0.99	-0.68
1	1.32	-1.04	0.99	-0.66
Base	1.44	-1.08	1.15	-0.66

Tabla 50. Valores de aceleraciones máximas (positivos y negativos) en cada eje. Fuente: propia.

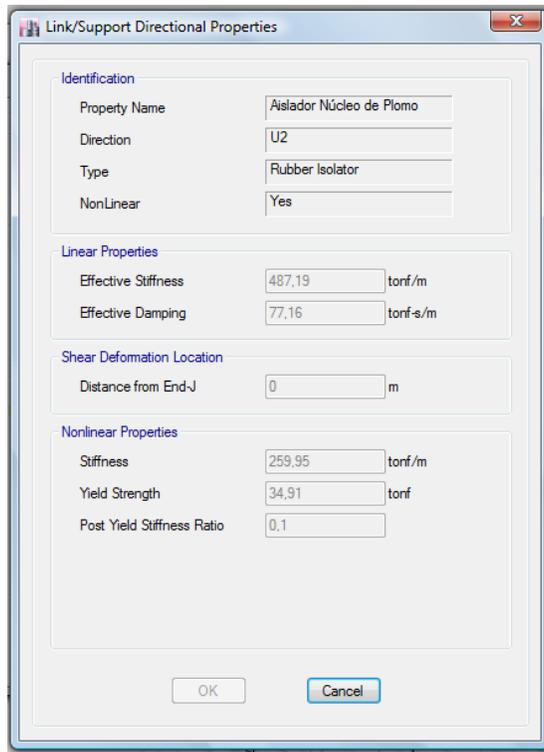
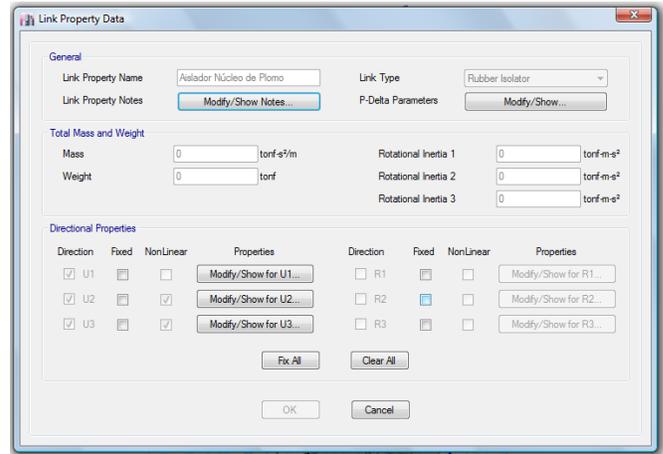
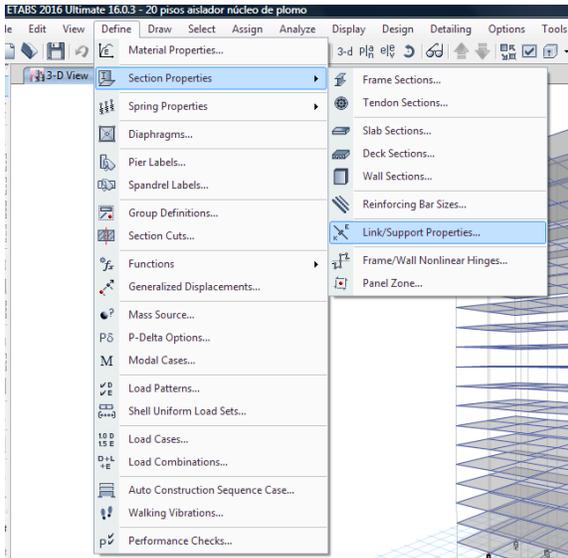
➤ Desplazamientos

MAXIMOS		MINIMOS		
UX	UY	UX	UY	piso
max X	max Y	min X	min Y	
0.347	0.156	-0.463	-0.400	20
0.346	0.154	-0.463	-0.398	19
0.346	0.153	-0.462	-0.395	18
0.345	0.151	-0.462	-0.395	17
0.345	0.150	-0.461	-0.393	16
0.345	0.148	-0.460	-0.390	15
0.344	0.147	-0.460	-0.388	14
0.344	0.146	-0.459	-0.386	13
0.344	0.144	-0.459	-0.384	12
0.343	0.143	-0.458	-0.382	11
0.343	0.142	-0.458	-0.381	10
0.343	0.141	-0.457	-0.380	9
0.343	0.140	-0.457	-0.379	8
0.342	0.139	-0.457	-0.378	7
0.342	0.138	-0.456	-0.377	6
0.341	0.137	-0.456	-0.376	5
0.341	0.135	-0.455	-0.374	4
0.340	0.134	-0.454	-0.372	3
0.339	0.133	-0.453	-0.370	2
0.338	0.131	-0.452	-0.367	1
0.337	0.131	-0.450	-0.364	Base

Tabla 51. Valores de desplazamientos máximos (positivos y negativos) en cada eje. Fuente: propia.

Para los resultados obtenido en las estructuras de 30 y 40 pisos ver anexos II.2 y III.2 respectivamente.

A continuación se muestra de manera grafica el proceso para introducir los parámetros calculados en el programa ETABS.



Figuras 57, 58 y 59. Modelaje para el aislador de núcleo de plomo. Fuente: ETABS 2016.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados presentes en este capítulo de dispondrán de la siguiente manera:

- Diagramas de energía disipada sin ningún sistema de amortiguamiento, con disipador de fluido viscoso en disposición diagonal, disipador de fluido viscoso con disposición chevron y presentando aislador elastomérico con núcleo de plomo.
- Comparación de derivas (en ambos ejes X e Y), con y sin la presencia de los sistemas de amortiguamiento.
- Comparación de fuerzas basales en función del tiempo (en ambos ejes X e Y), con y sin la presencia de los sistemas de amortiguamiento.
- Comparación de fuerzas cortantes en cada nivel de la estructura (en ambos ejes X e Y), con y sin la presencia de los sistemas de amortiguamiento.
- Comparación de desplazamiento por pisos de cada estructura (en ambos ejes X e Y), con y sin la presencia de los sistemas de amortiguamiento.
- Comparación de aceleraciones (en ambos ejes X e Y), con y sin la presencia de los sistemas de amortiguamiento.

Esto se realiza para cada estructura empezando por la estructura indicador de 3 pisos, luego las de 20, 30 y 40 pisos respectivamente. Posteriormente se realiza el análisis de estos resultados.

- Estructura de 3 Pisos
  - Energía Disipada de manera convencional

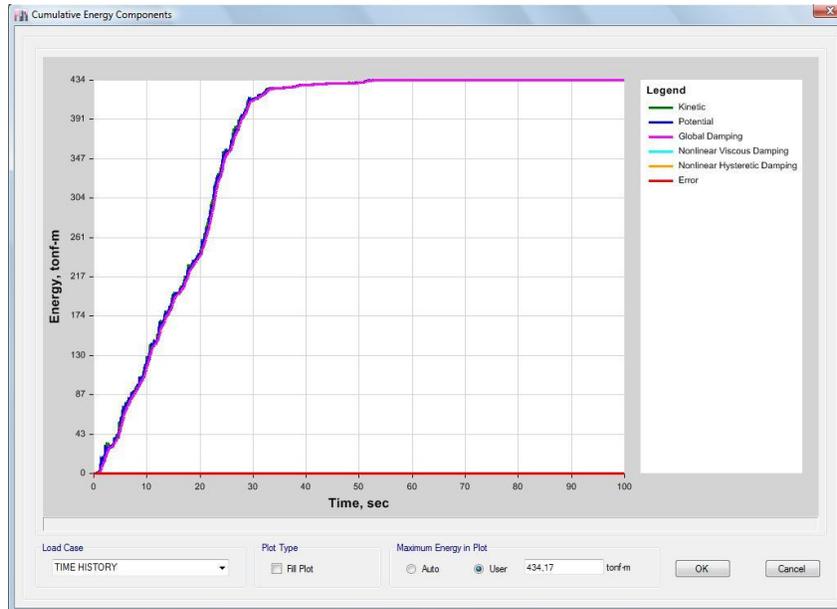


Figura 60. Diagrama de energía disipada de manera convencional. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

- Energía Disipada con disipador en disposición diagonal

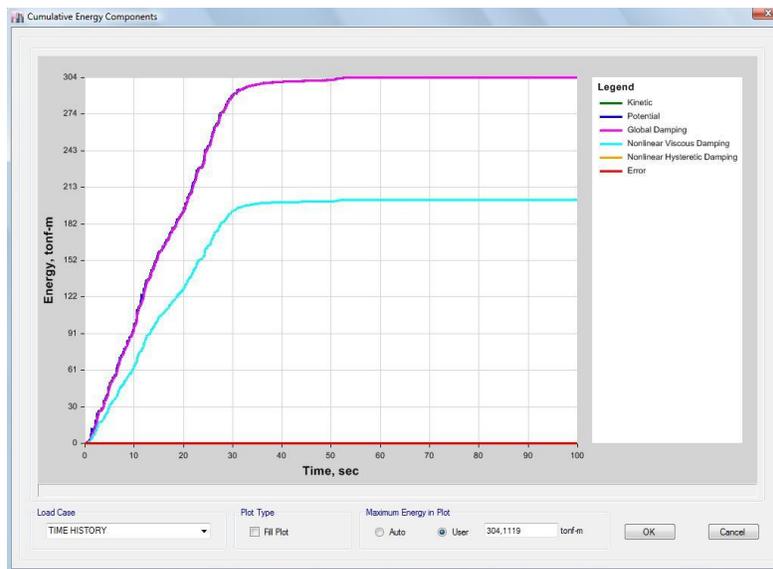


Figura 61. Diagrama de energía disipada con disipador en disposición diagonal. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

- Energía Disipada con disipador en disposición chevron

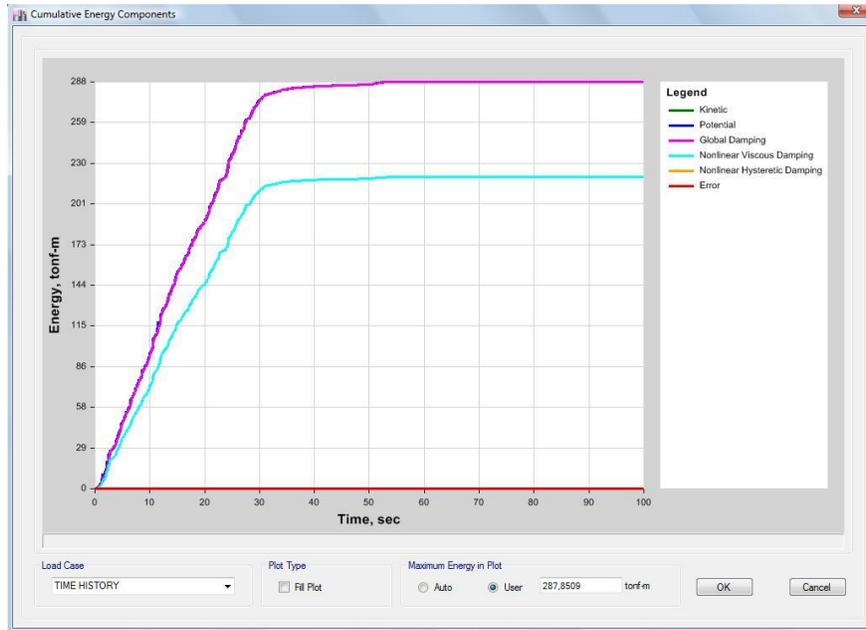


Figura 62. Diagrama de energía disipada con disipador en disposición chevron. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

- Energía Disipada con aislador elastomérico con núcleo de plomo



Figura 63. Diagrama de energía disipada aislador núcleo de plomo. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

La energía entrante en la estructura se ve disminuida al implementar el disipador de fluido viscoso, ya que esta disminuye desde 434.17 tonf\*m (sin ningún sistema de amortiguación) a 304.11 tonf\*m para la disposición diagonal y 287.85 tonf\*m para la disposición chevron. Siendo esta última la más favorable puesto que además de ser el sistema que mayor disminución de energía produce también es el que produce más disipación, estando alrededor de 75%. Cabe destacar que el aislador elastomérico con núcleo de plomo incrementa la energía entrante a 474.17 tonf\*m, y causando una disipación menor al 5%.

- Estructura de 20 Pisos
  - Energía Disipada de manera convencional

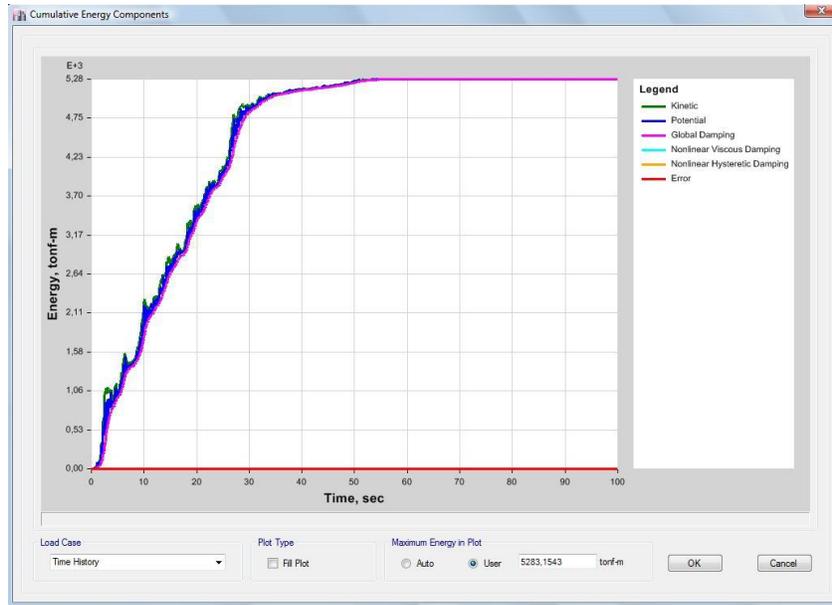


Figura 64. Energía disipada de manera convencional. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

- Energía Disipada con disipador en disposición diagonal

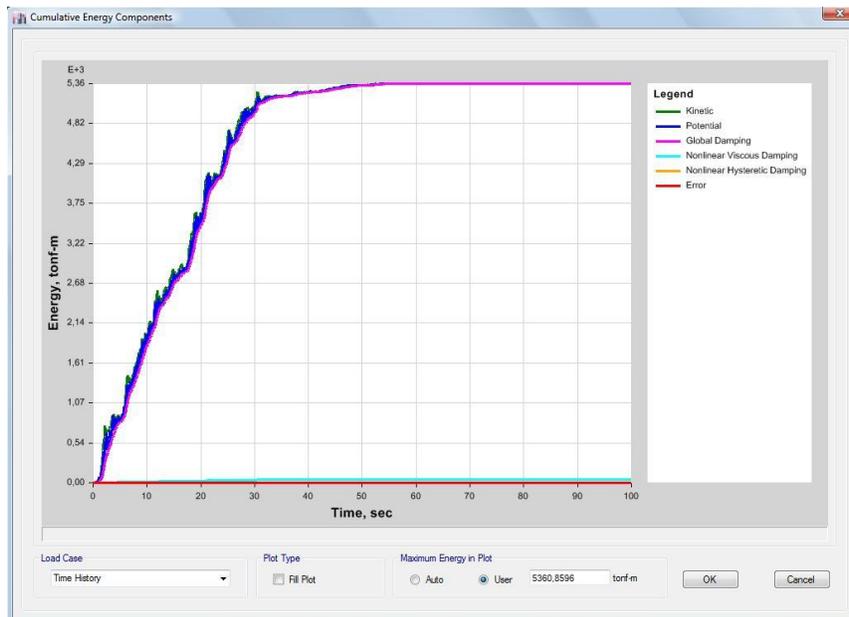


Figura 65. Energía disipada con disipador en disposición diagonal. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Energía Disipada con disipador en disposición chevron

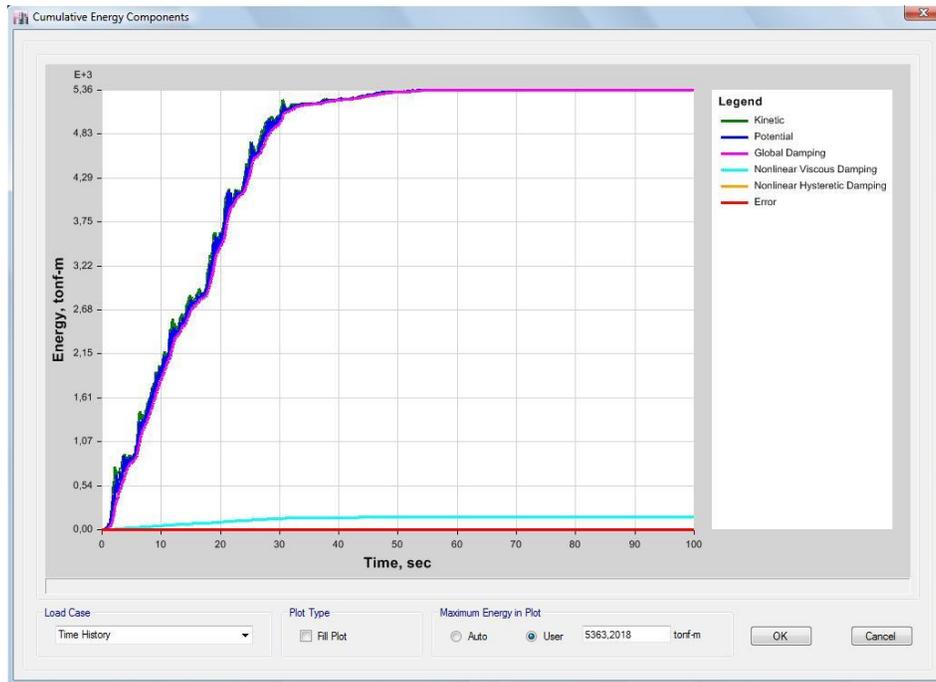


Figura 66. Energía disipada con disipador en disposición chevron. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Energía Disipada con aislador elastomérico con núcleo de plomo



Figura 67. Energía disipada aislador núcleo de plomo. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Comparación de derivas

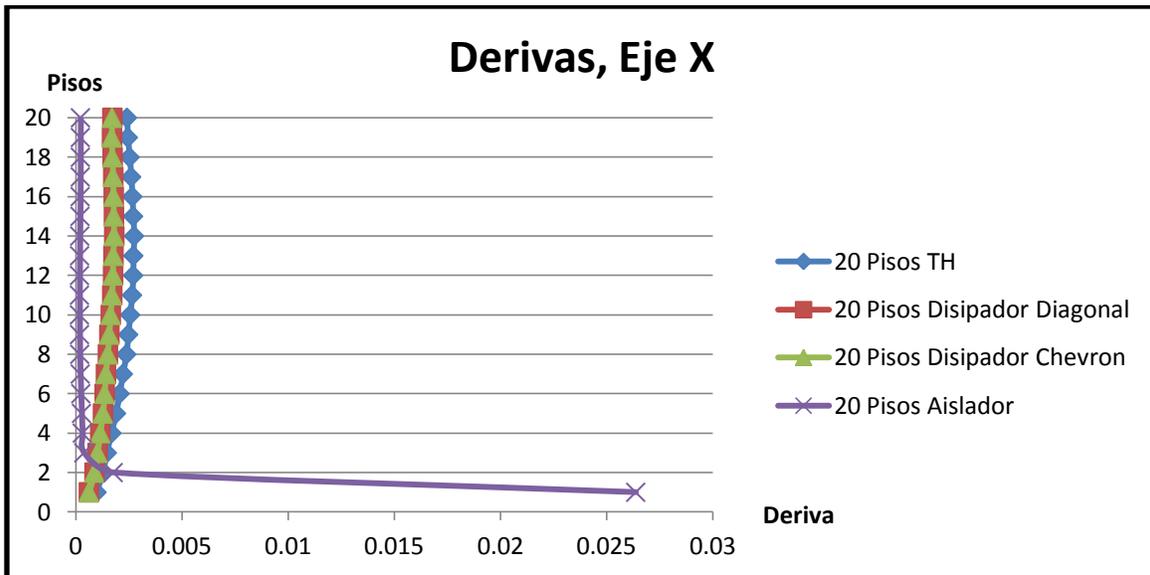


Gráfico 1. Variación de derivas para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

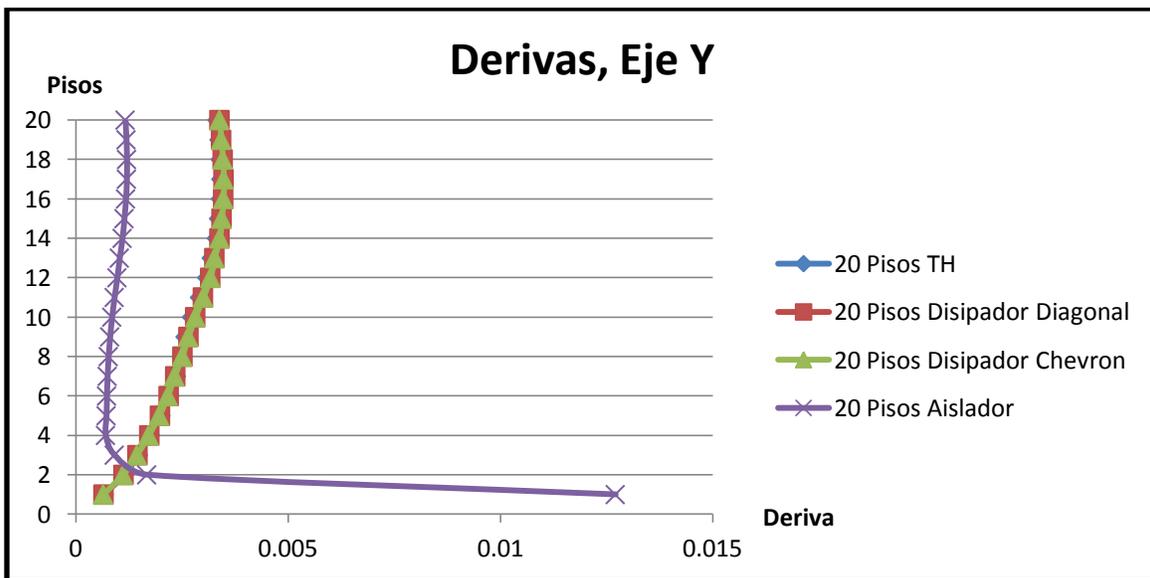


Gráfico 2. Variación de derivas para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de fuerzas basales

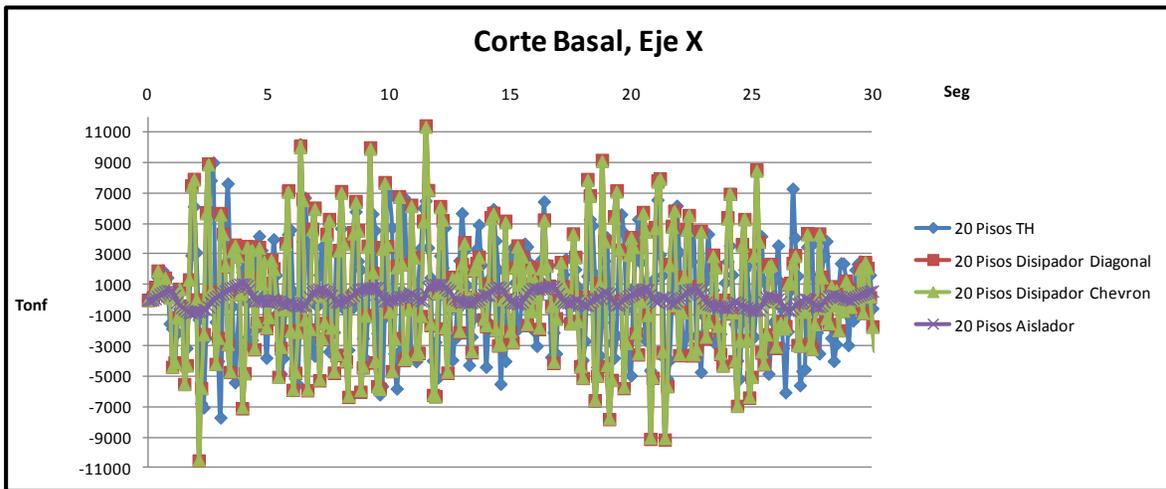


Gráfico 3. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 30 segundos para mejor apreciación). Fuente: Elaboración propia.

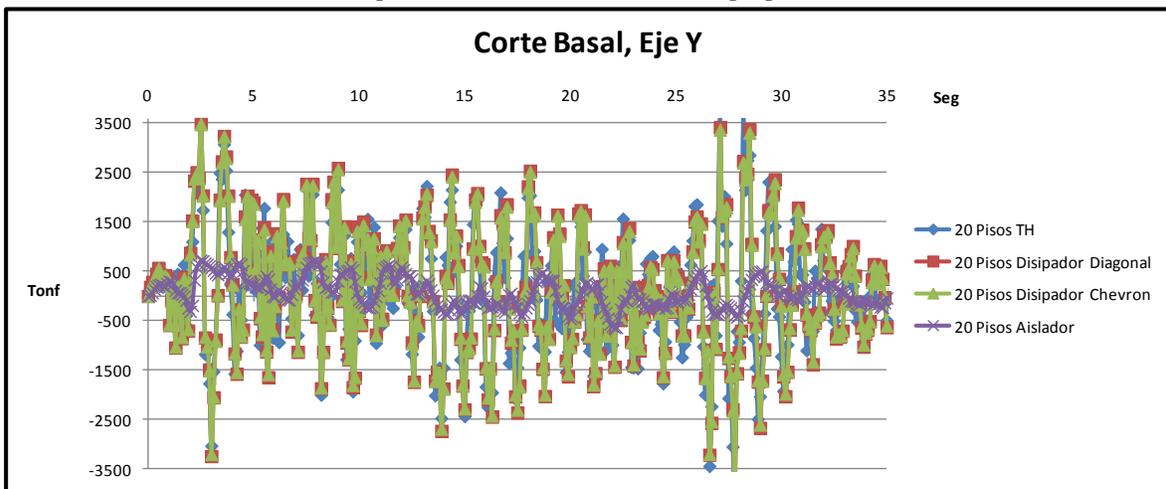


Gráfico 4. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 35 segundos para mejor apreciación). Fuente: Elaboración propia.

- Comparación de cortantes en los pisos

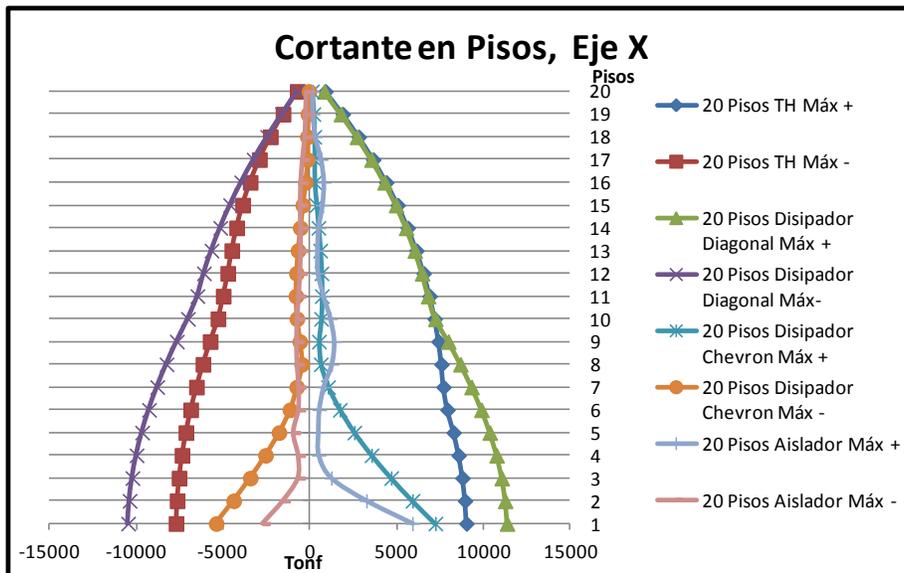


Gráfico 5. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

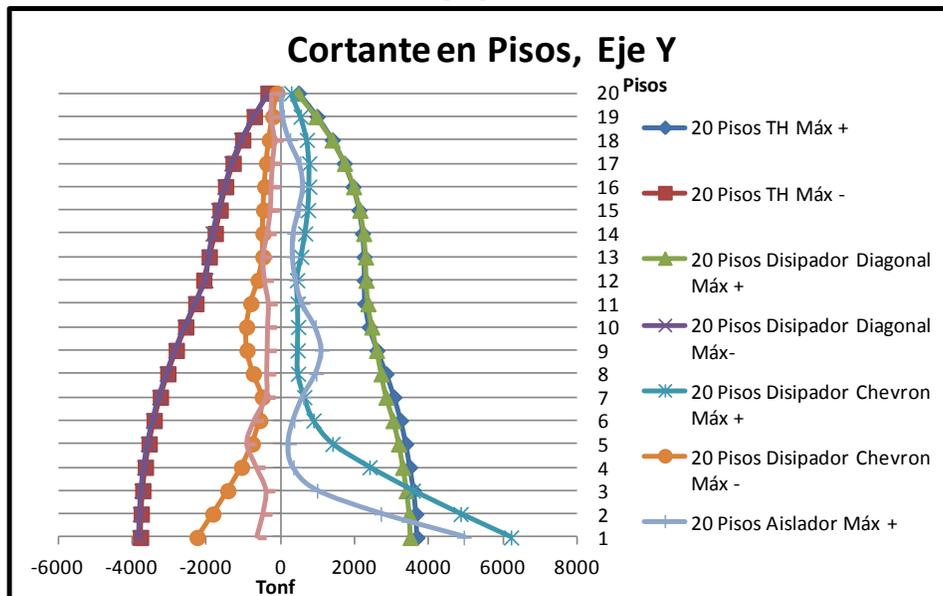


Gráfico 6. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de desplazamientos

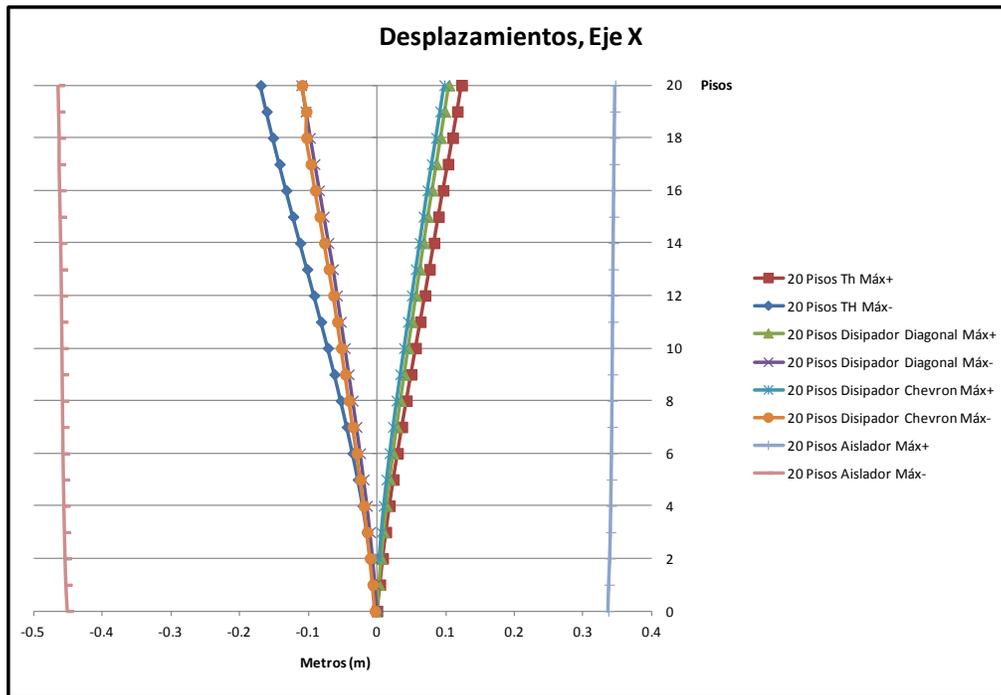


Gráfico 7. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

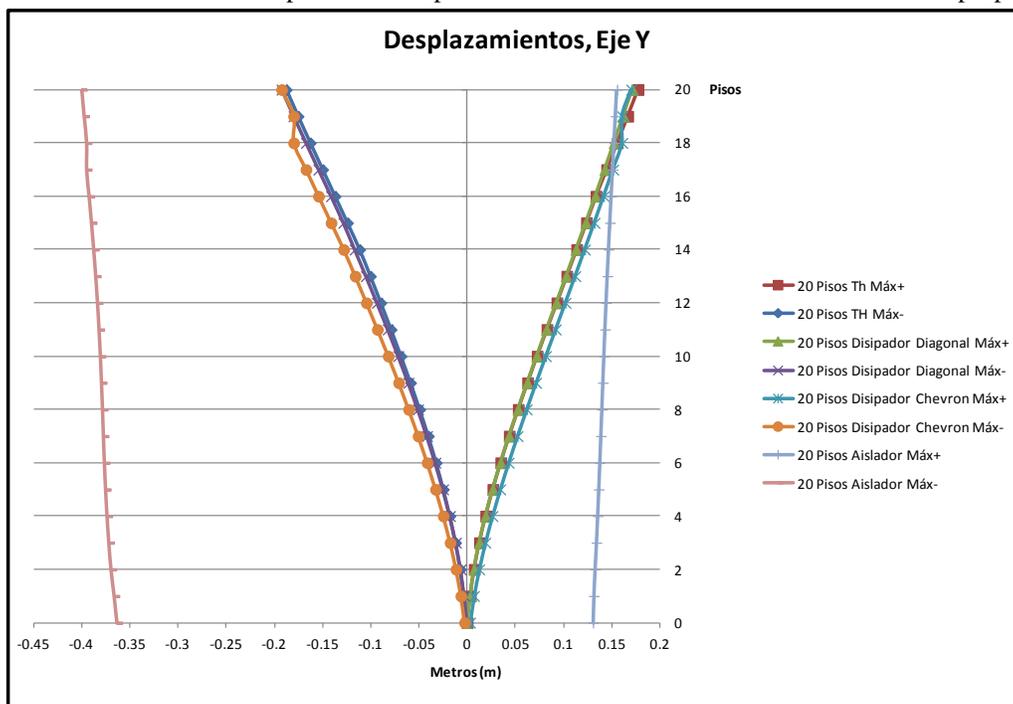


Gráfico 8. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de aceleraciones

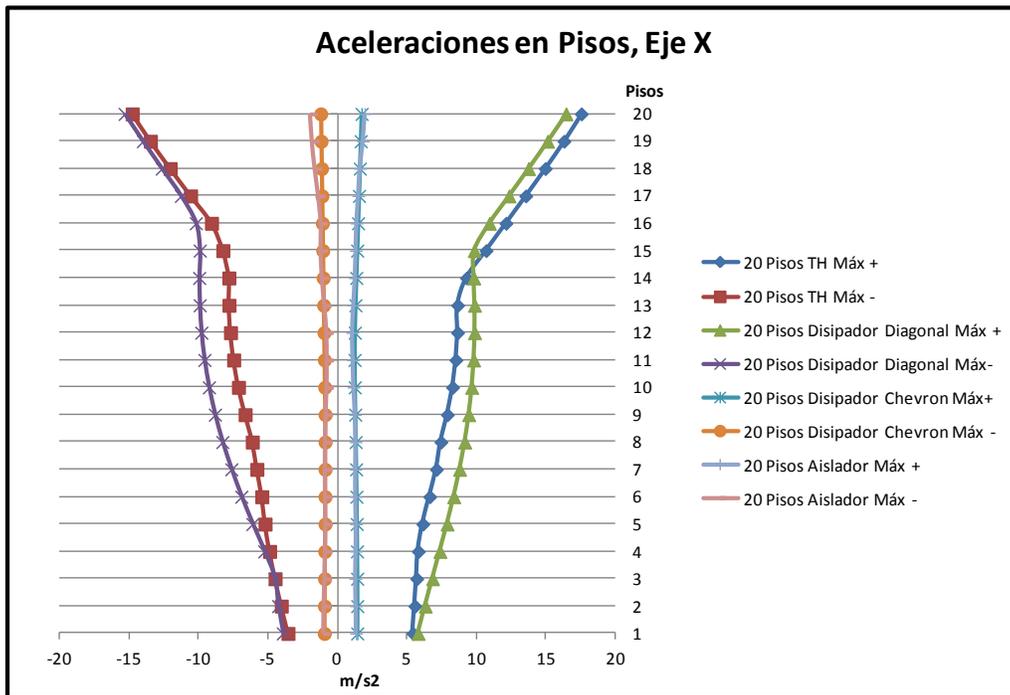


Gráfico 9. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

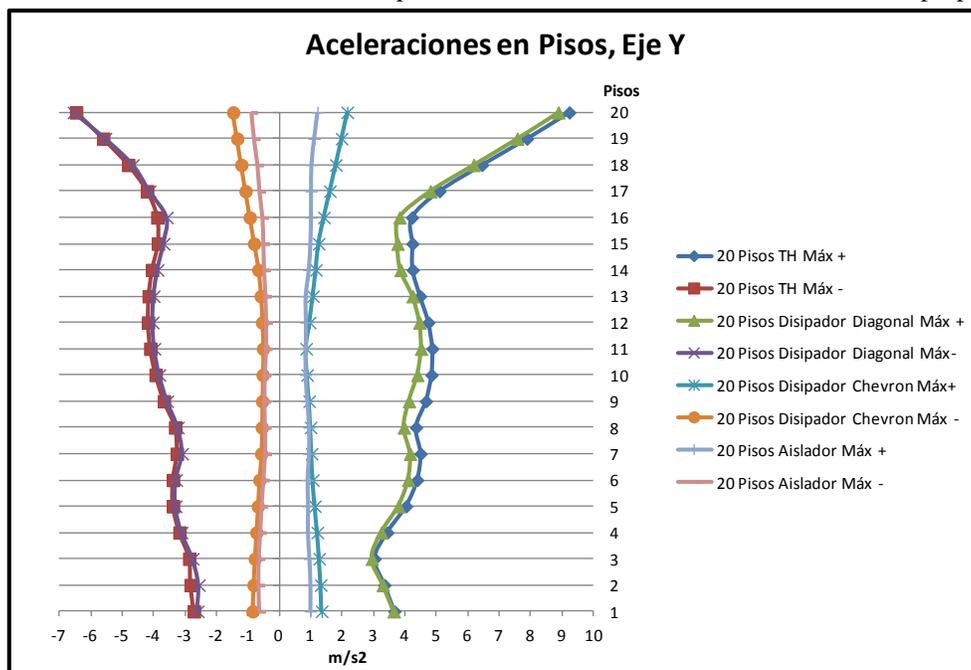


Gráfico 10. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

Se observa para esta estructura, un leve incremento de la energía entrante debido a la adición de los disipadores de fluido viscoso, siendo 5283.16 tonf\*m para el caso de la estructura convencional, 5360.86 tonf\*m para el disipador con disposición diagonal, 5363.20 tonf\*m para el disipador con disposición chevron. La disipación de energía causada para ambos arreglos es insignificante, representando alrededor del 2% de la energía entrante.

Con el otro sistema de amortiguación (aislador con núcleo de plomo), la energía entrante al sistema es de 3888.28 tonf\*m, siendo una disminución considerable. La disipación de energía con este dispositivo es aproximadamente de un 65%.

La deriva obtenida con la adición del disipador de fluido viscoso (para ambas disposiciones) es prácticamente igual, sin embargo disminuye a comparación con la estructura convencional. Destacando que los valores de deriva más bajos se presentan para el aislador, a excepción del primer piso, esto se debe a que este dispositivo permite deformaciones en la base provocando la mayor deriva para el primer nivel.

El cortante basal resultante con el disipador diagonal y chevron, de manera general incrementa en comparación a la estructura convencional, aunque en ciertos momentos los valores más altos corresponden a esta última. El comportamiento a través del tiempo con el uso de los disipadores es atípico referente a la estructura que no presenta estos sistema de amortiguación, puesto que, los cortes máximos no coincide con los presentados con los disipadores.

Se aprecia una disminución de los cortes entre los pisos con la presencia del disipador tipo chevron y el aislador basal, caso contrario con el disipador tipo diagonal, el cual en los niveles inferiores presentan altos valores en comparación a la estructura sin estos sistemas, sin embargo, esta tendencia se acopla al de la estructura convencional en los niveles superiores.

Al hablar de los desplazamientos presentes en la estructura, se observa que el aislador sigue el patrón esperado, siendo estos uniformes y de mayor amplitud en

comparación a los disipadores, los cuales logran rigidizar la estructura disminuyendo este comportamiento.

Caso contrario se presenta en las aceleraciones, donde el aislador produce una disminución de estos, manteniendo el mismo patrón en todos los niveles. De manera general, los disipadores diagonales presentan un comportamiento similar al de la estructura, tendiendo a ser las mayores aceleraciones en los niveles inferiores, ocurriendo las disminuciones en los niveles superiores.

Cabe destacar, que para el disipador tipo chevron se tiene el mismo comportamiento que el aislador, obteniendo los menores valores de aceleraciones presentes en la estructura.

- Estructura de 30 Pisos
  - Energía Disipada de manera convencional

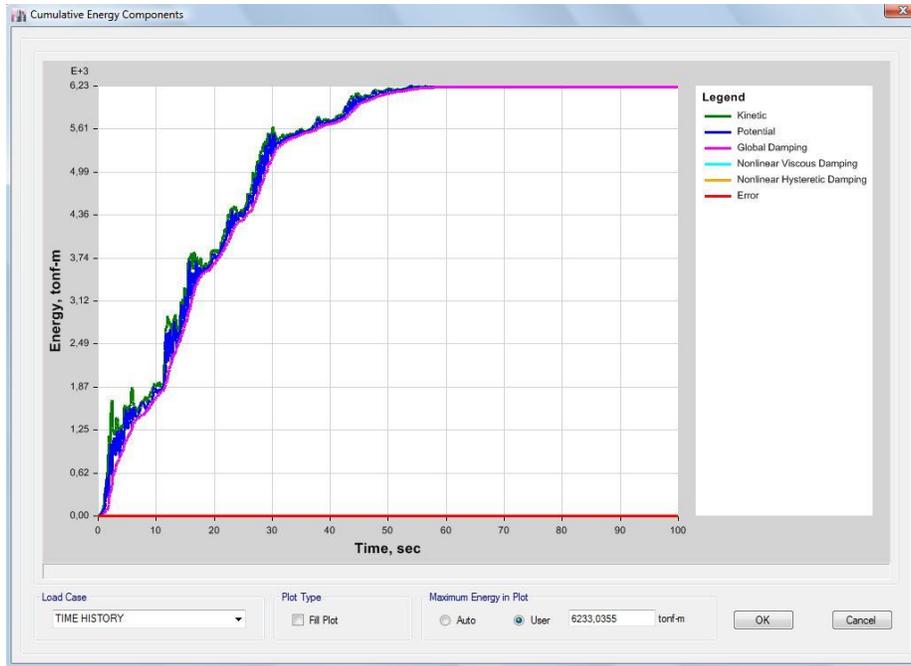


Figura 68. Energía disipada de manera convencional. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

- Energía Disipada con disipador en disposición diagonal

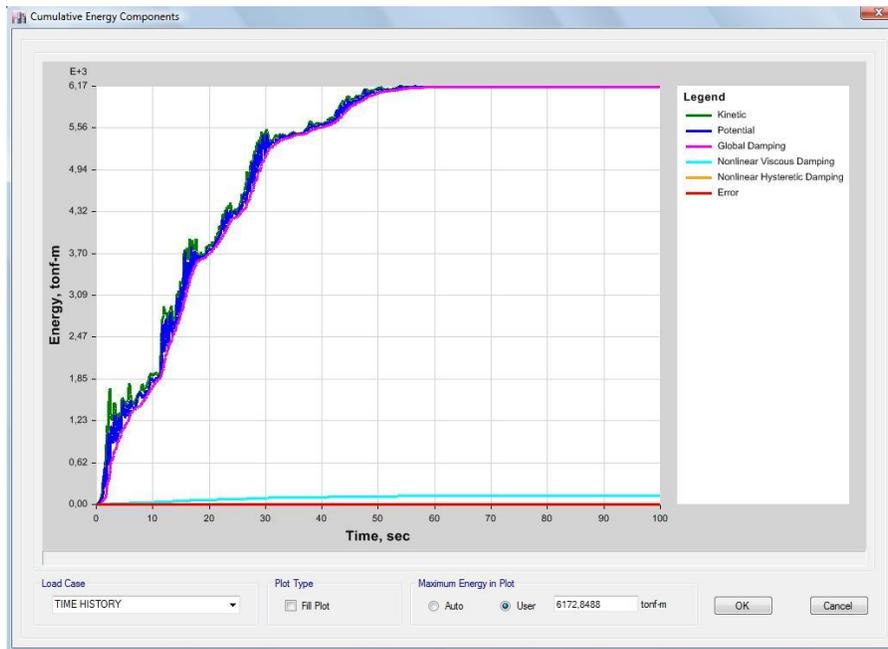


Figura 69. Energía disipada con disipador en disposición diagonal. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Energía Disipada con disipador en disposición chevron

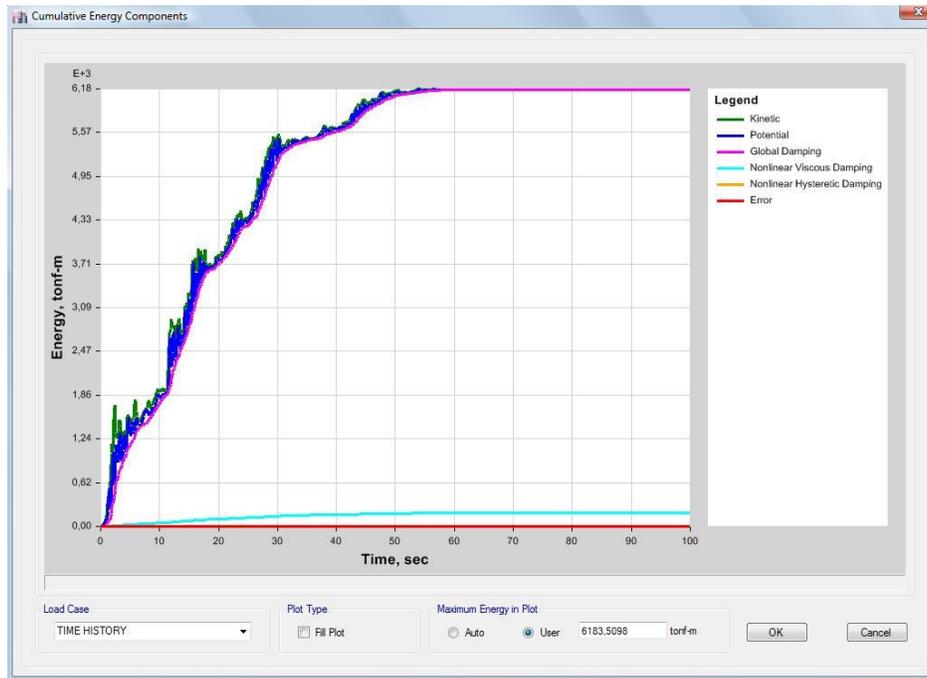


Figura 70. Energía disipada con disipador en disposición chevron. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Energía Disipada con aislador elastomérico con núcleo de plomo

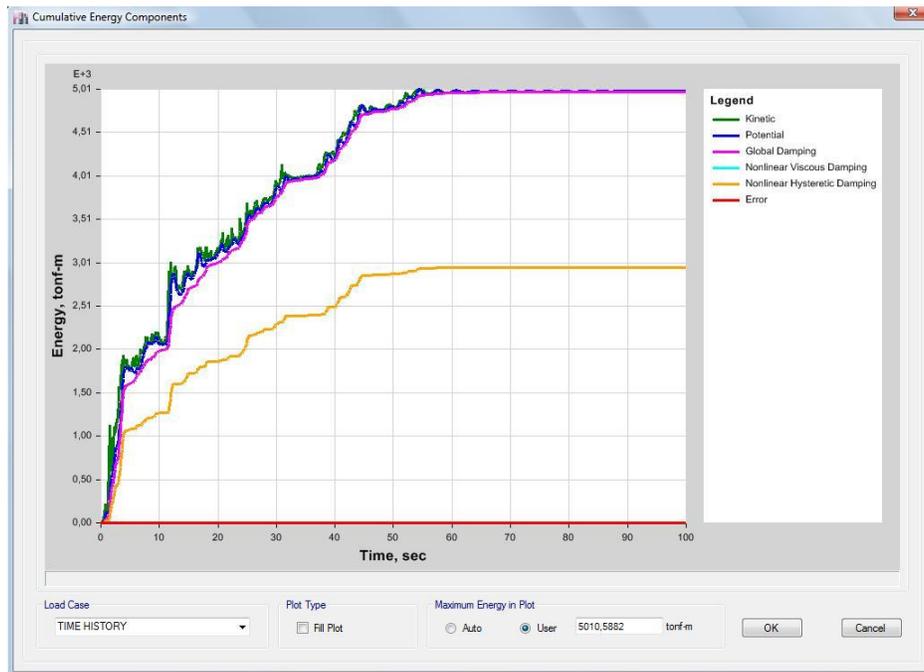


Figura 71. Energía disipada aislador núcleo de plomo. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Comparación de derivas

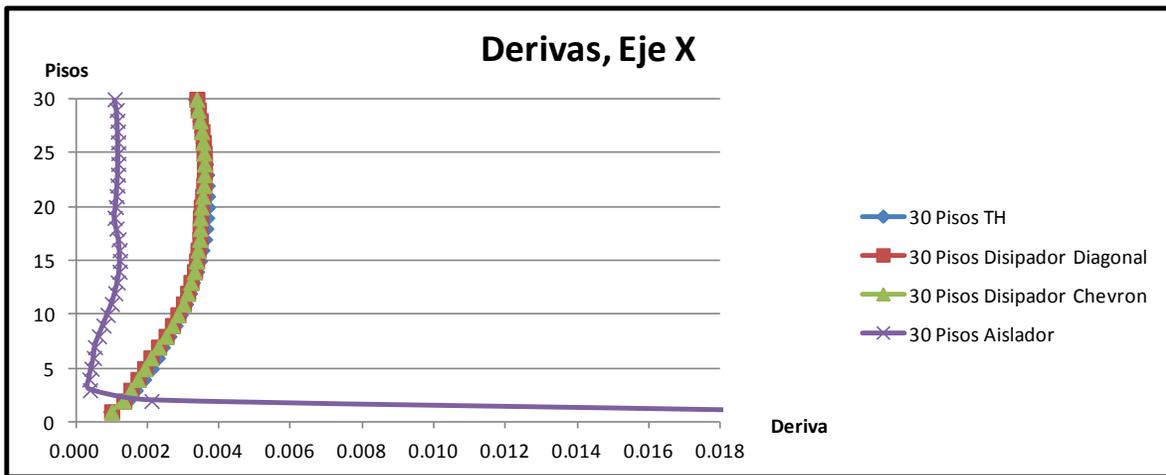


Gráfico 11. Variación de derivas para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

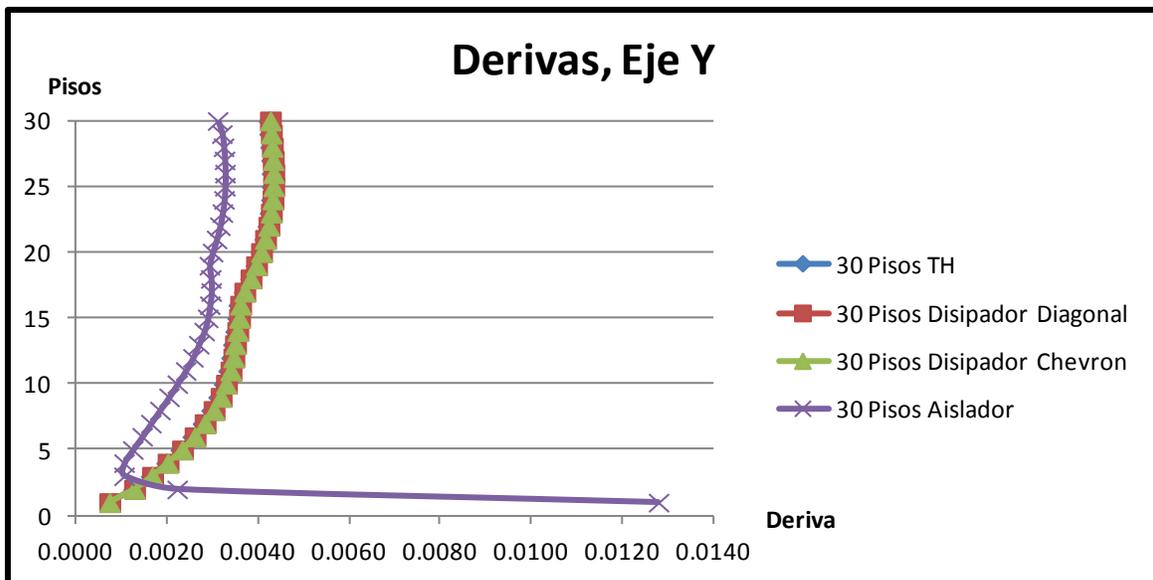


Gráfico 12. Variación de derivas para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de fuerzas basales

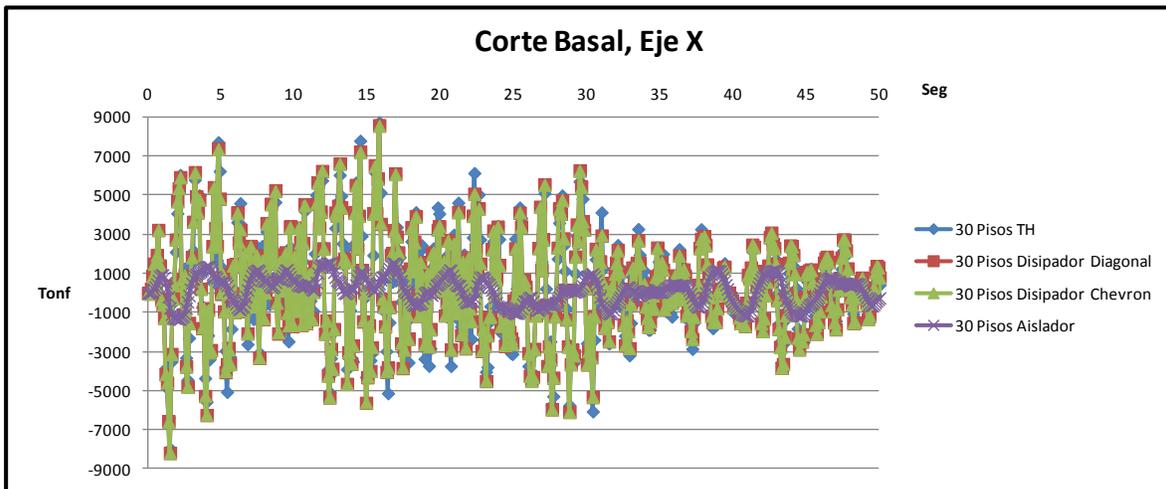


Gráfico 13. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación). Fuente: Elaboración propia.

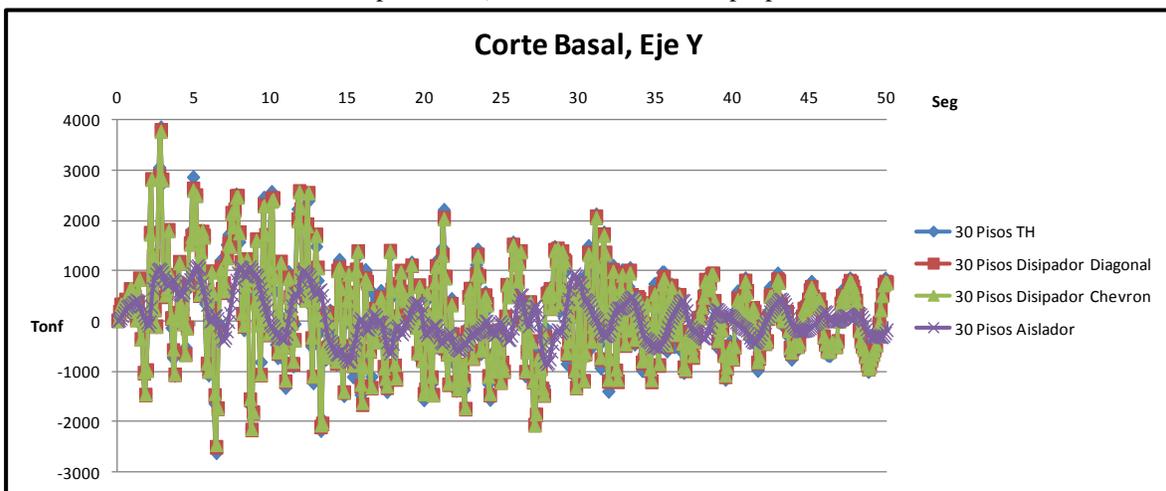


Gráfico 14. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación). Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de cortantes en los pisos

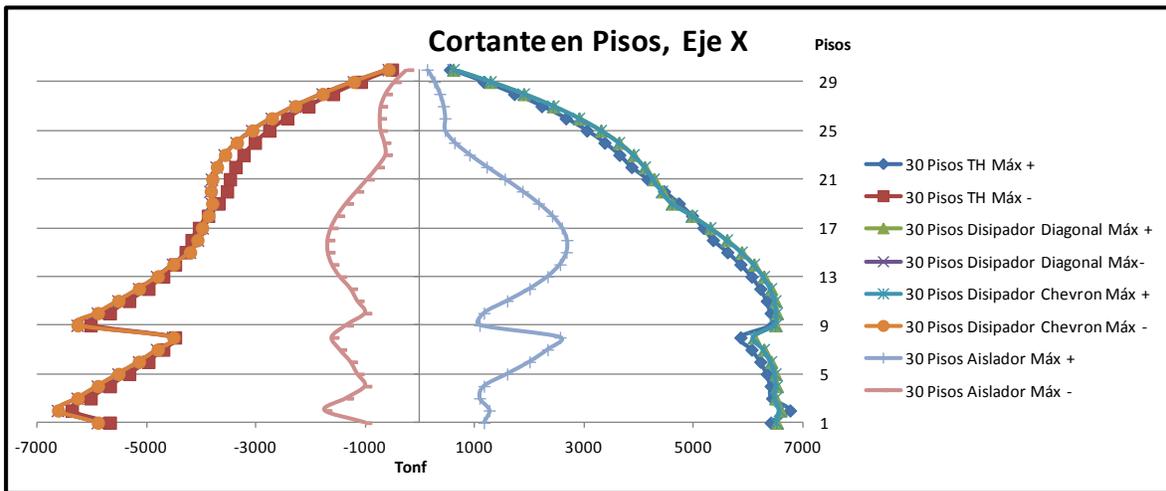


Gráfico 15. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

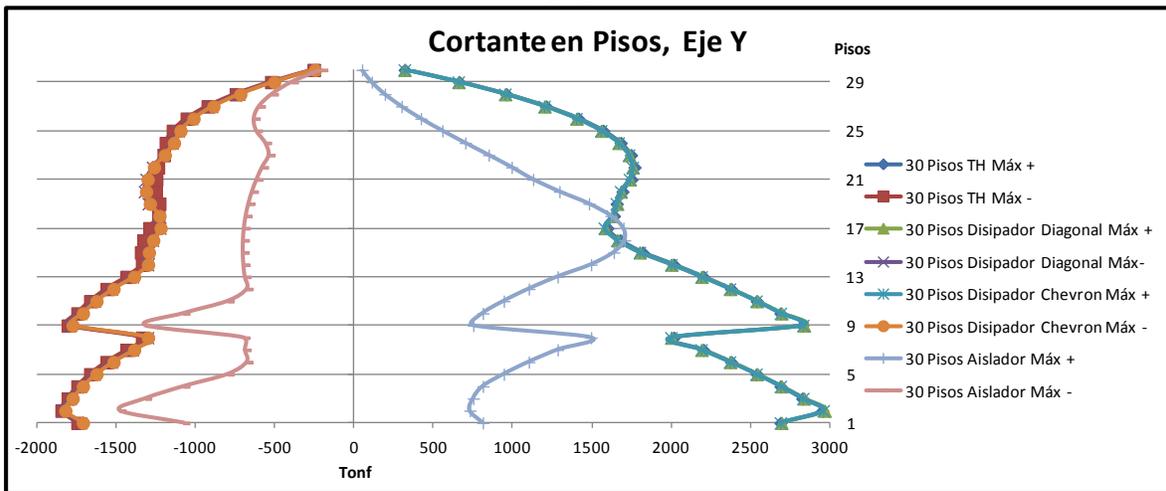


Gráfico 16. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de desplazamientos

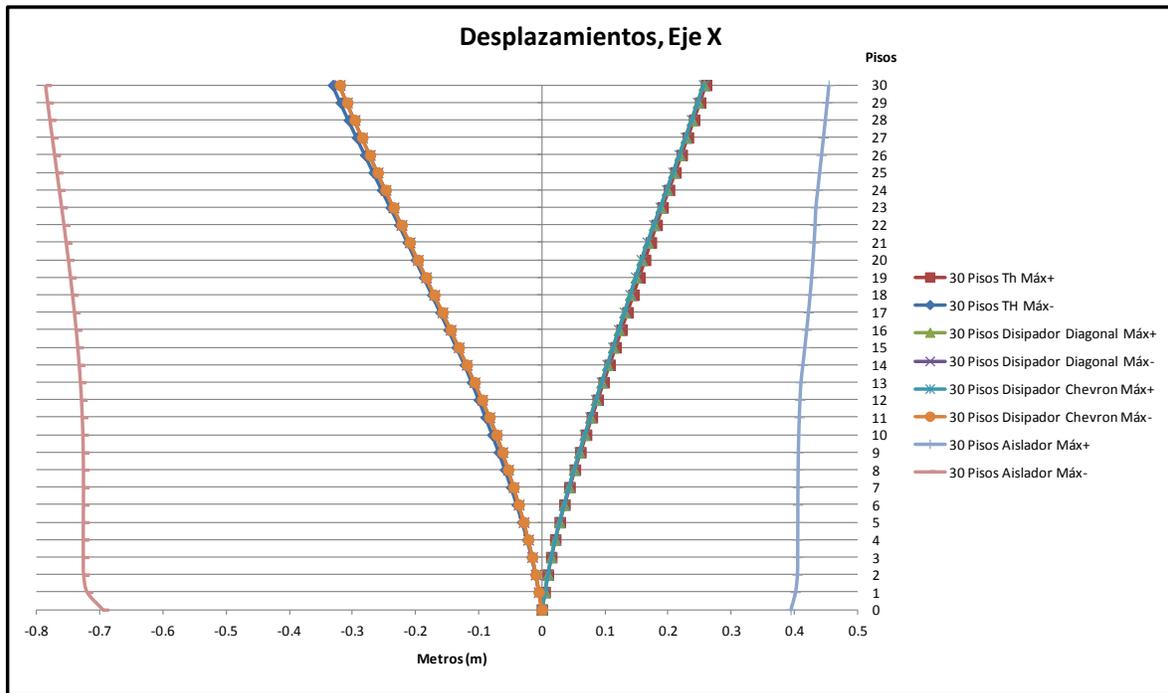


Gráfico 17. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

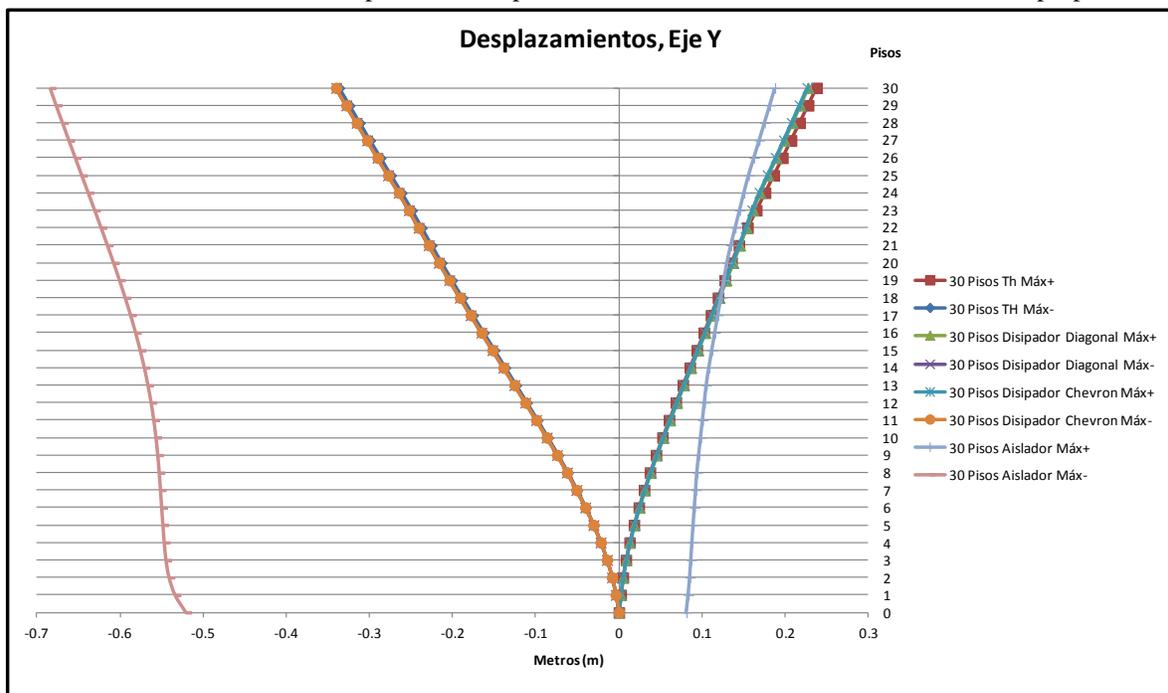


Gráfico 18. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de aceleraciones

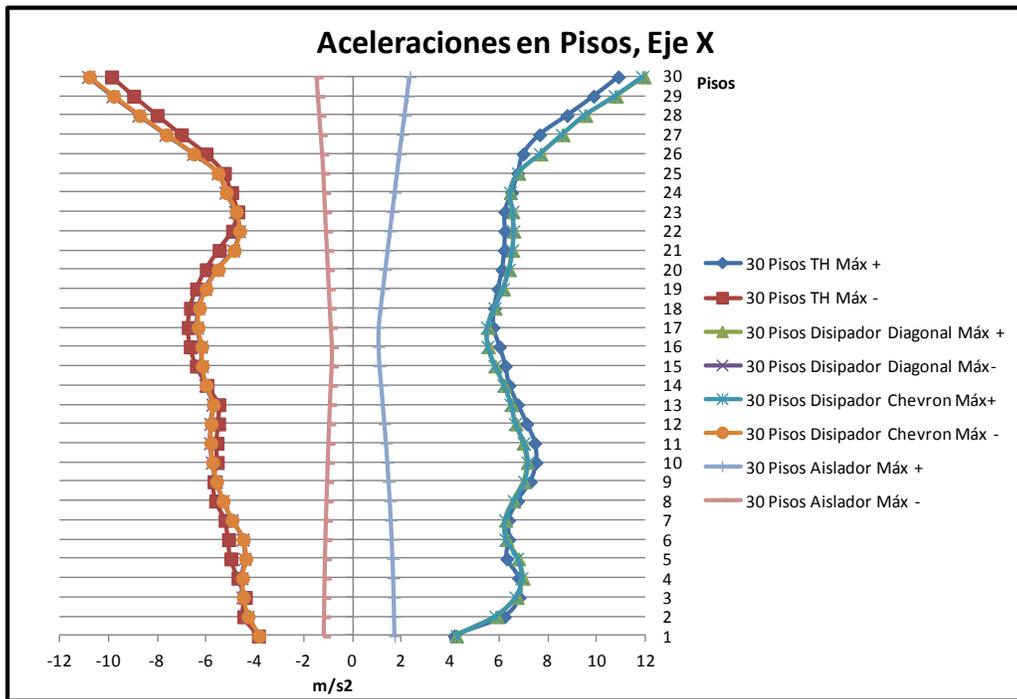


Gráfico 19. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

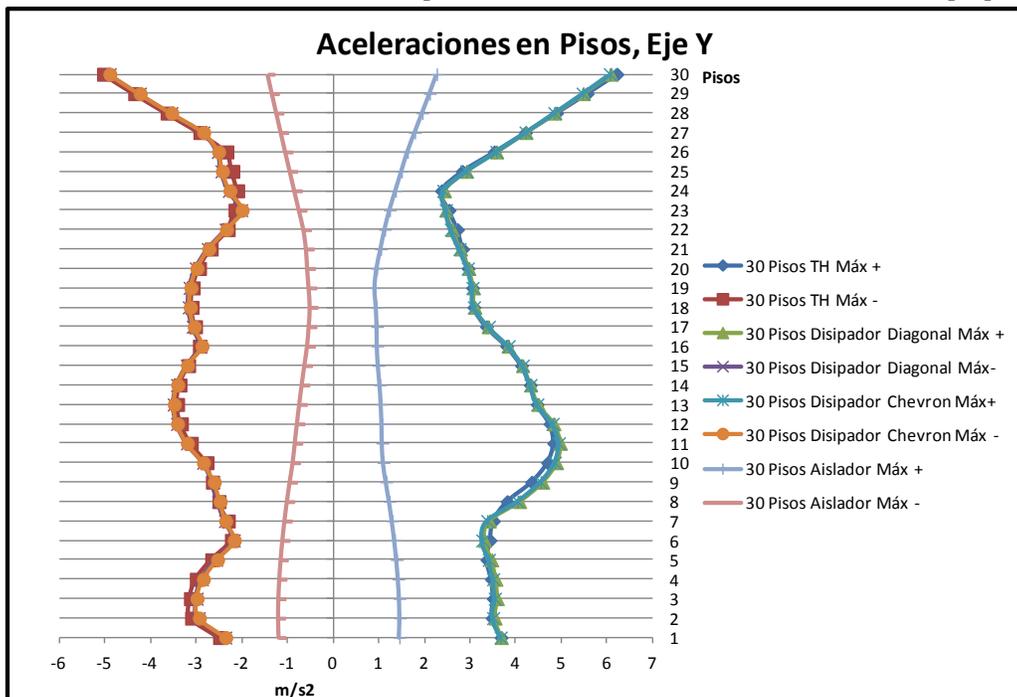


Gráfico 20. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

Se tiene para esta estructura, una leve disminución de la energía entrante debido a la adición de los disipadores de fluido viscoso, siendo 6233.04 tonf\*m para el caso de la estructura convencional, 6172.85 tonf\*m para el disipador con disposición diagonal, 6183.01 tonf\*m para el disipador con disposición chevron. La disipación de energía causada para ambos arreglos es insignificante, representando alrededor del 2% de la energía entrante.

Con el otro sistema de amortiguación (aislador con núcleo de plomo), la energía entrante al sistema es de 5010.58 tonf\*m, siendo una disminución considerable. La disipación de energía con este dispositivo es aproximadamente de un 60%.

La deriva obtenida con la adición del disipador de fluido viscoso (para ambas disposiciones) es prácticamente igual, sin embargo disminuye a comparación con la estructura convencional. Destacando que los valores de deriva más bajos se presentan para el aislador, a excepción del primer piso, esto se debe a que este dispositivo permite deformaciones en la base provocando la mayor deriva para el primer nivel.

El cortante basal resultante con el disipador diagonal y chevron, de manera general incrementa en comparación a la estructura convencional, aunque en ciertos momentos los valores más altos corresponden a esta última. El comportamiento a través del tiempo con el uso de los disipadores es atípico referente a la estructura que no presenta estos sistema de amortiguación, puesto que, los cortes máximos no coincide con los presentados con los disipadores.

No se observa una disminución de los cortes entre los pisos con la presencia de los disipadores, presentando el mismo comportamiento sin causar efecto (aumento y/o disminución) de las fuerzas en los niveles. Caso contrario se muestra el aislador con una disminución considerable en toda la estructura.

Al hablar de los desplazamientos presentes en la estructura, se observa que el aislador sigue el patrón esperado, siendo estos uniformes y de mayor amplitud en comparación a los disipadores, los cuales no causan ningún efecto sobre la estructura.

En las aceleraciones, se presenta una disminución para el aislador, sin embargo, el implemento de los disipadores de fluido viscoso, no generan una alteración del comportamiento de la estructura.

- Estructura de 40 Pisos
  - Energía Disipada de manera convencional

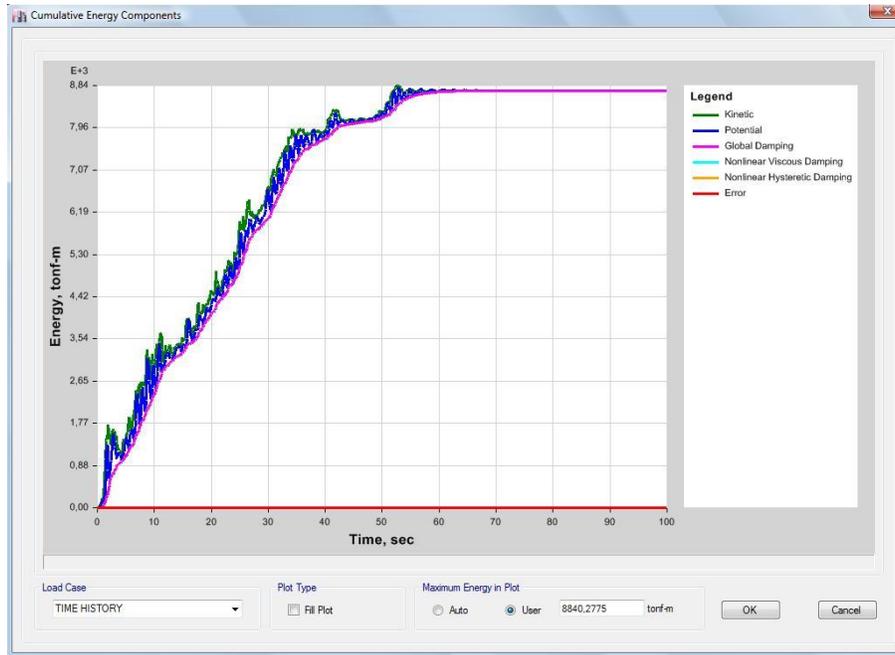


Figura 72. Energía disipada de manera convencional. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

- Energía Disipada con disipador en disposición diagonal



Figura 73. Energía disipada con disipador en disposición diagonal. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Energía Disipada con disipador en disposición chevron



Figura 74. Energía disipada con disipador en disposición chevron. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Energía Disipada con aislador elastomérico con núcleo de plomo



Figura 75. Energía disipada aislador núcleo de plomo. Fuente: Elaboración propia ETABS 2016.

○ Comparación de derivas

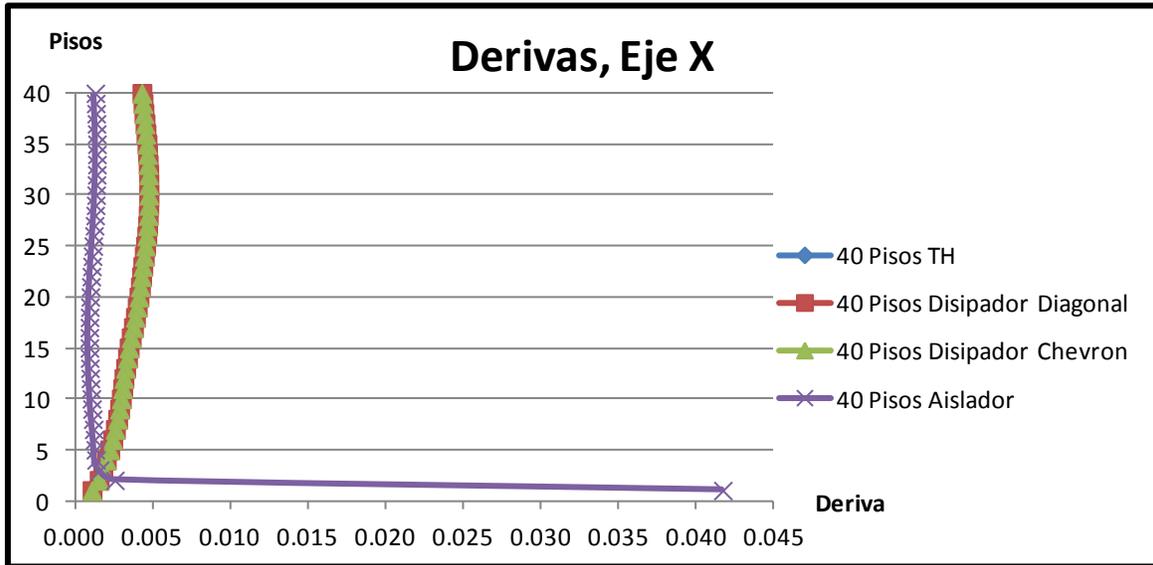


Gráfico 21. Variación de derivas para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

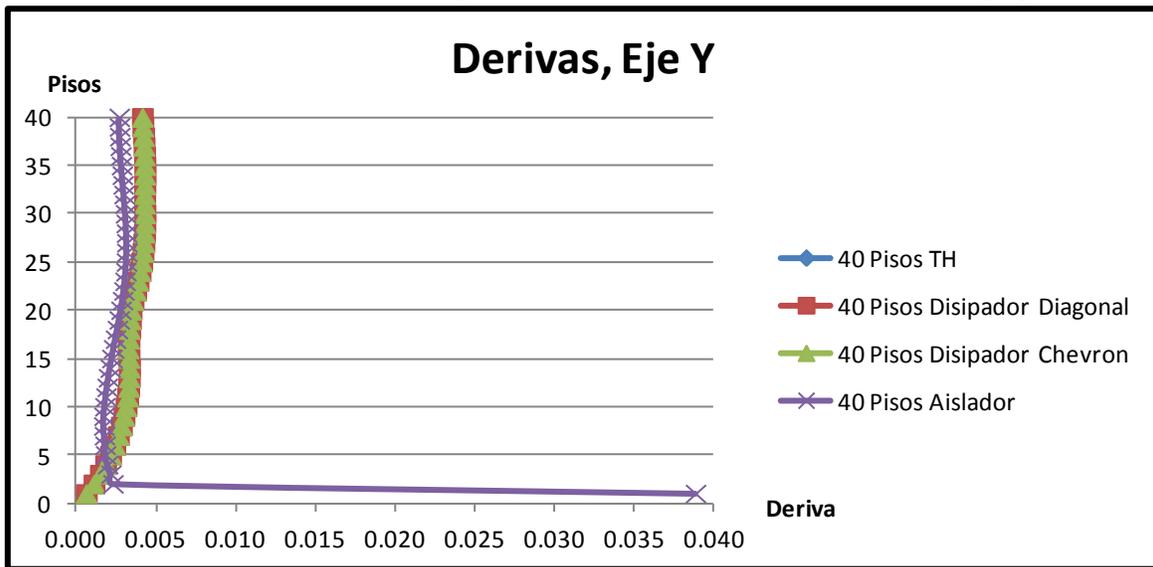


Gráfico 22. Variación de derivas para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de fuerzas basales

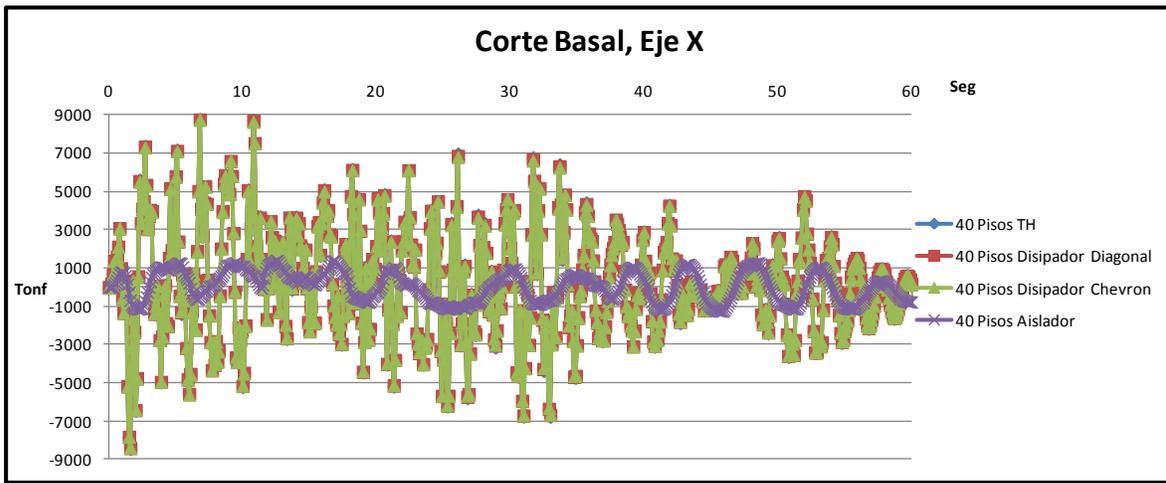


Gráfico 23. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación). Fuente: Elaboración propia.

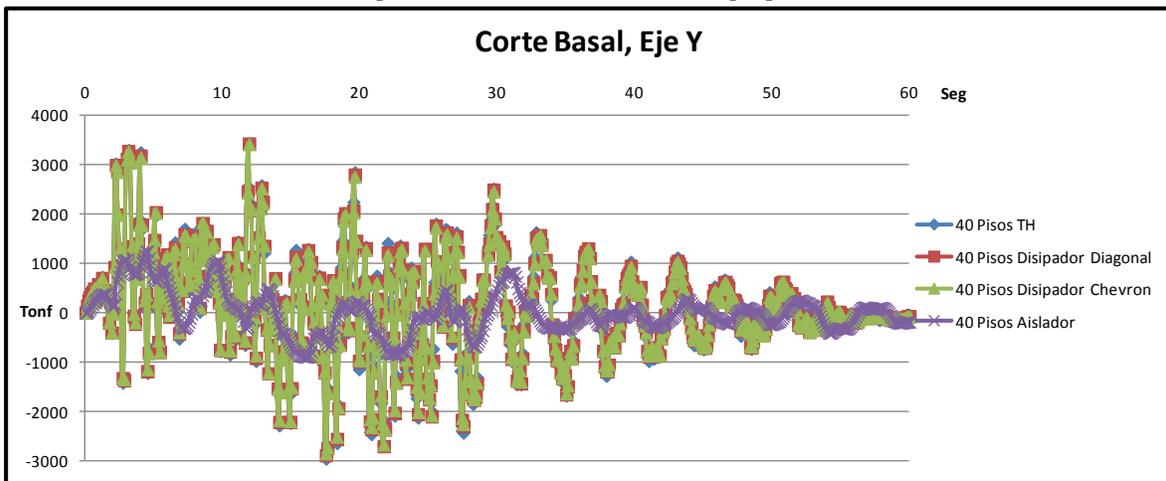


Gráfico 24. Variación de fuerzas basales para los diferentes modelos (se acortó a 50 segundos para mejor apreciación). Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de cortantes en los pisos

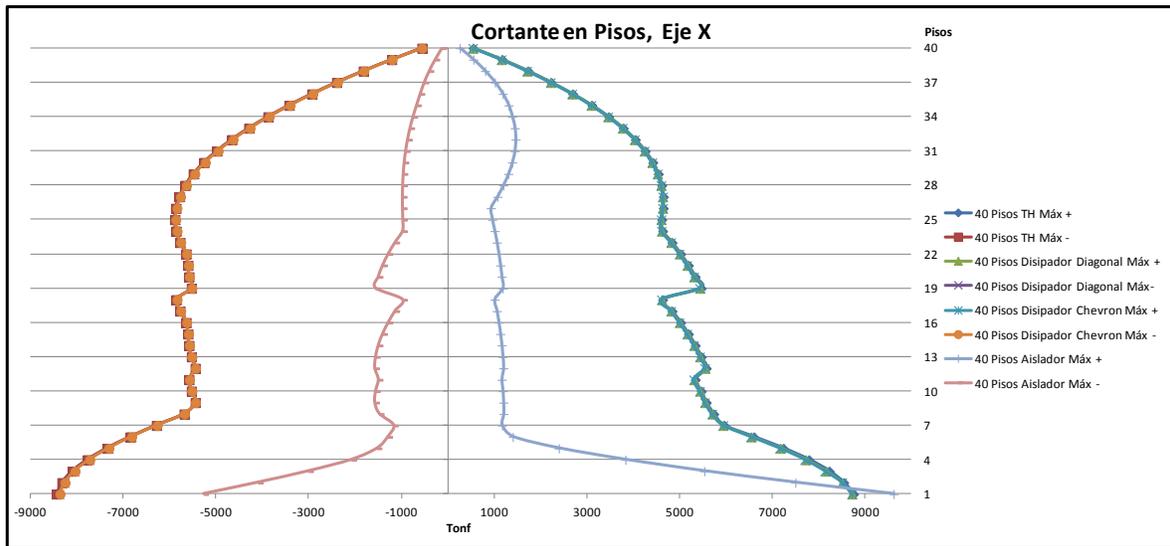


Gráfico 25. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

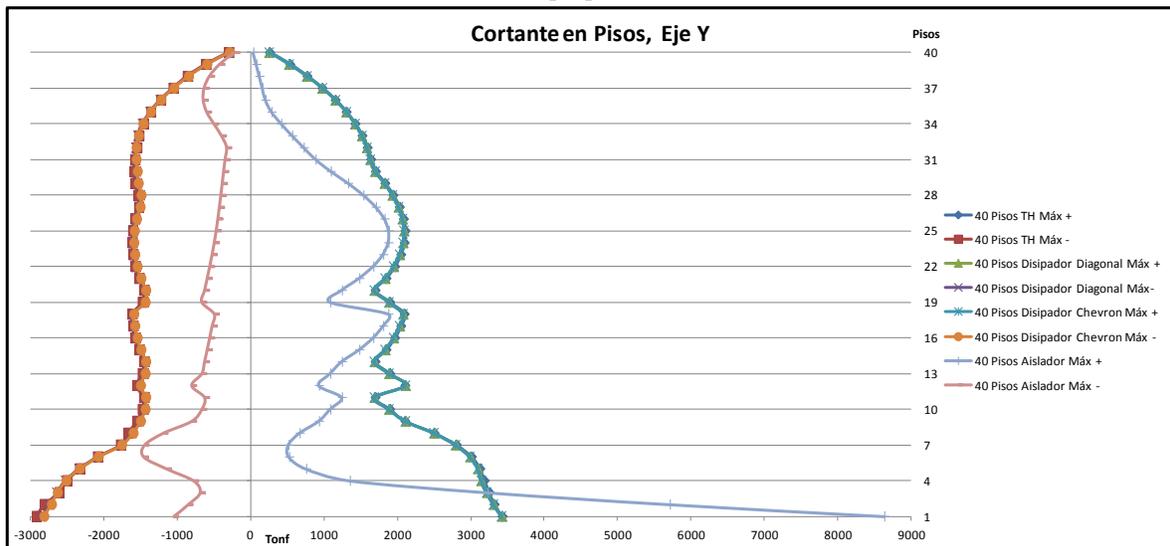


Gráfico 26. Variación de fuerzas cortantes en los pisos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de desplazamientos

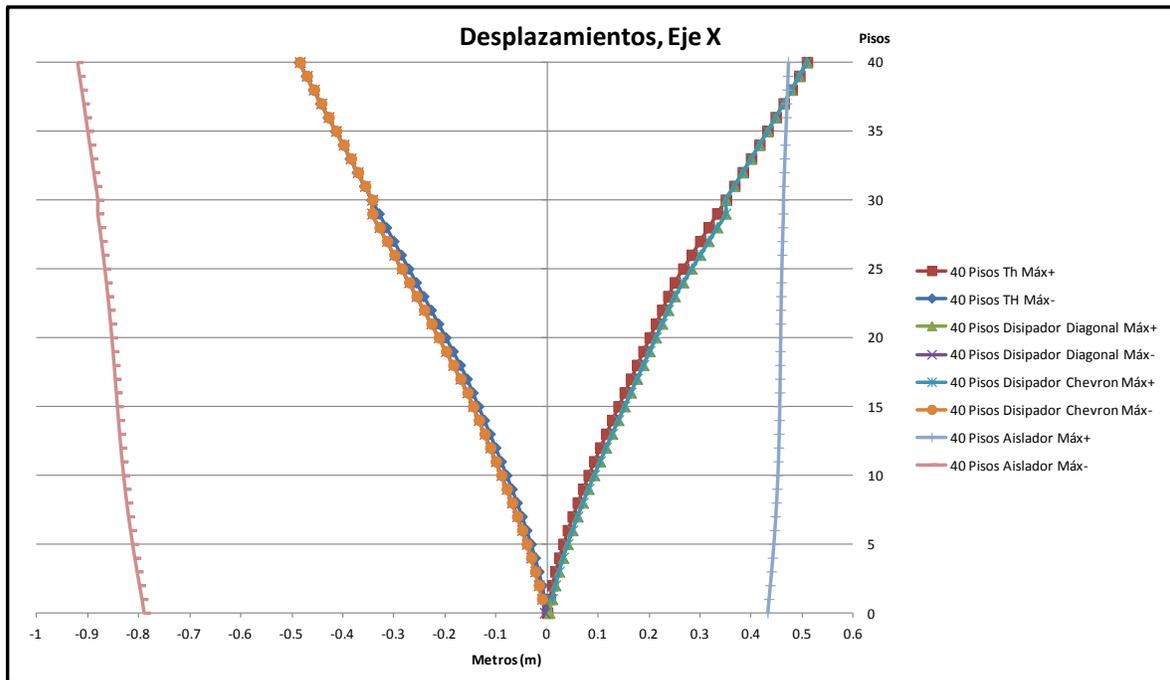


Gráfico 27. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

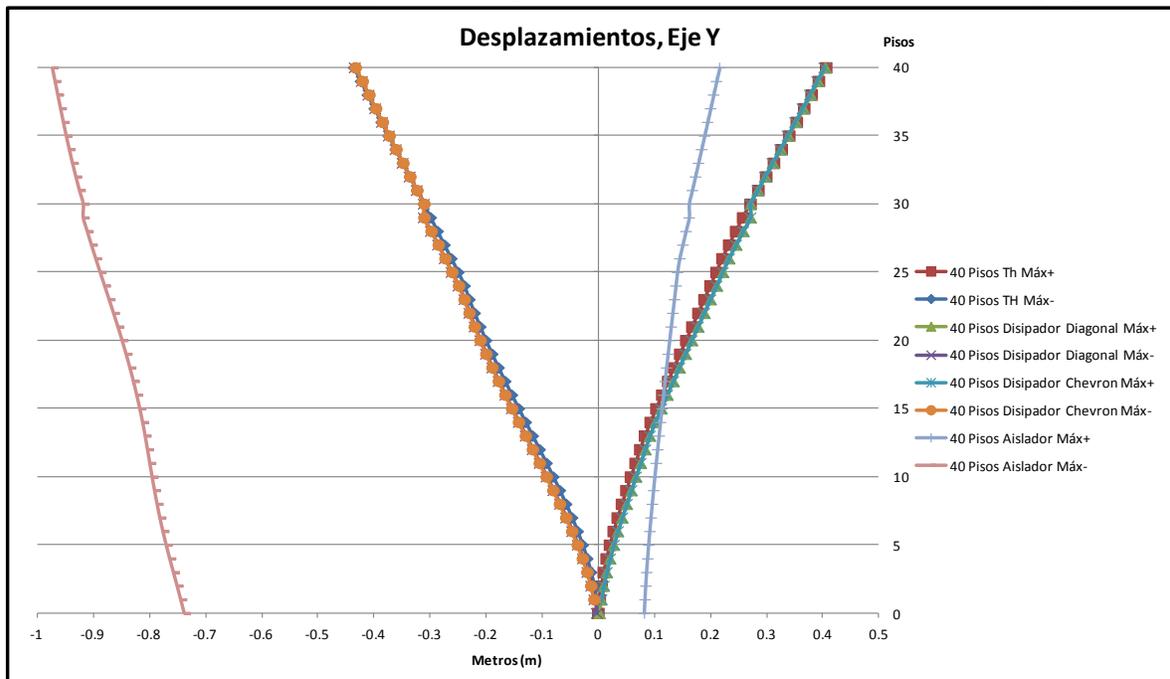


Gráfico 28. Variación de desplazamientos para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

○ Comparación de aceleraciones

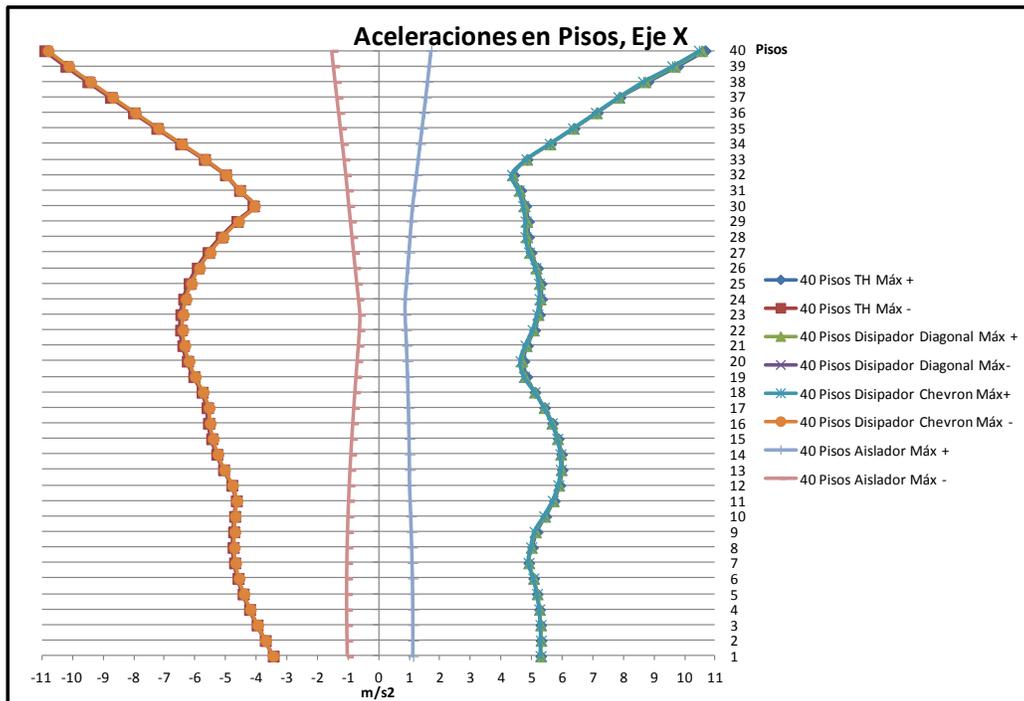


Gráfico 29. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

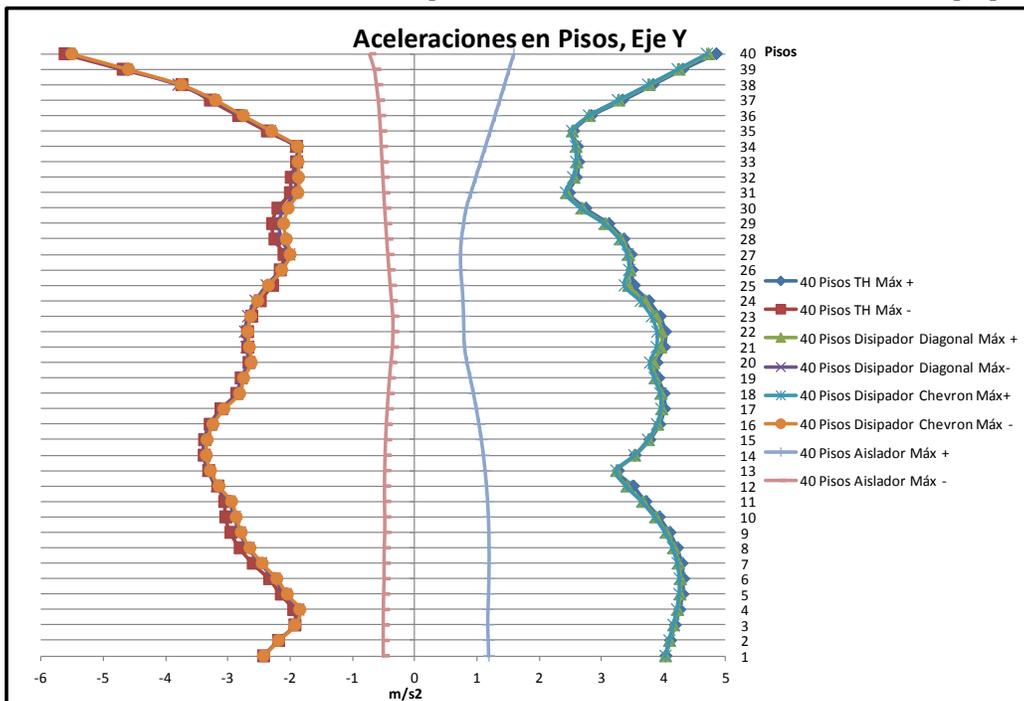


Gráfico 30. Variación de aceleraciones para los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar el comportamiento de la edificación de 40 pisos, se observa la misma tendencia referente a la disipación de energía entrante en la estructura, derivas, cortantes basales, cortantes en los pisos, desplazamientos y aceleraciones, que la edificación de 30 niveles. La cual se explicó anteriormente.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se presentan las conclusiones de acuerdo a los análisis de resultados obtenidos en el capítulo anterior, y posteriormente se proponen algunas recomendaciones pertinentes al tema de investigación.

#### **VI.1 Conclusiones**

- Para edificios de baja altura posee mejor rendimiento el disipador de fluido viscoso como sistema de amortiguación.
- La disposición chevron es más eficiente que la disposición diagonal para los disipadores de fluido viscoso.
- Para edificios de mediana a alta elevación los aisladores presenta mejor comportamiento como sistema de amortiguación.
- Para estructuras con muros o sistemas duales, no es viable el implemento de disipador de fluido viscoso.
- En líneas generales, el dispositivo con mejor comportamiento y rendimiento en términos de sistema de amortiguación, es el aislador elastomérico con núcleo de plomo.

#### **VI.2 Recomendaciones**

- Evaluar otros dispositivos como métodos de amortiguación en estructuras altas, por ejemplo: disipador friccionante, aislador de péndulo friccionante, entre otras.
- Evaluar en términos de costo, el implemento de los sistemas de amortiguación.
- Realizar una evaluación con reducción de secciones de una estructura presentando un sistema de amortiguamiento, con el fin de obtener una respuesta similar con una estructura convencional.
- Realizar mismo análisis en estructuras mixtas y/o acero de tal manera obtener el sistema estructural con mayor eficiencia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Carvajal Castillo, Hendrif David y Salazar Monterola, Jorge Luis. (2015). *Análisis comparativo de dos alternativa de control de vibraciones en base a criterior técnicos*. Caracas.
- Contreras, Luis. (2015). *Influencia de los disipadores de energía en la respuesta de pórtico de acero*. Caracas.
- Zuen, Boza y Danny, Galan. (2013). *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron*. Lima-Perú.
- Díaz La Rosa Sánchez, Marco. (2014). *Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos*. Trujillo-Perú.
- Corpus, Jorge y Morales, Edwin, (2015). *Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando ETABS 2013*. Trujillo-Lima.
- Taylor Devices Inc. *Earthquake Protective Systems for Buildings, Bridges, and other structure*. North Tonawanda, NY.
- Guevara, Diego y Torres, Percy. (2012). *Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal*. Lima-Perú.
- Arraigada Rosas, Jaime Andrés. (2005). *Aislación sísmica de un edificio de oficinas de siete pisos. (Análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional)*. Valdivia-Chile.
- Espinel Jaramillo, Gustavo Roberto y Herrera Flores, Pablo Andrés. (2013). *Diseño sísmico con sistema de amortiguamiento en edificios regulares de hormigón armado y comparación mediante ejemplos*. Quito-Ecuador.
- Mullo Pilamunga, Clara Luz. (2014). *Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos, modelamiento en ETABS*. Quito-Ecuador.
- Pastora Estrada, Alejandra Gabriela y Ríos Novoa, Marycelia. (2016). *Análisis del efecto de aisladores sísmicos en la respuesta dinámica de un edificio aporticado de 4*

niveles, según las condiciones de suelo de la zona noroeste de la ciudad de Managua, Nicaragua. Managua-Nicaragua.

- Contreras Bálaro, Juan José y Morales Díaz, Luisa Joselinne. (2012). *Protección de una edificación existente con disipadores de energía*. Lima-Perú.

- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997). Commentary on the guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – NEHRP. FEMA273-274.

Washington, D.C

- ASCE/SEI 7 (2010). *Minimum design loads for buildings and other structures* (2010 edition). Virginia: American Society of Civil Engineers.

- COVENIN-MINDUR1756:2001-1. *Edificaciones sismorresistentes. Articulado* (1ra Revisión).Caracas: Fondonorma.

- COVENIN-MINDUR 1756:2001-2. *Edificaciones sismorresistentes. Comentarios* (1raRevisión).Caracas: Fondonorma.

- COVENIN-MINDUR 2002:1988. *Criterio y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. Articulado* .Caracas: Fondonorma.

- Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción. (2011). *Protección Sísmica de Estructuras: Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*. Santiago de Chile.

- [https://www.researchgate.net/publication/277302150\\_Aisladores\\_de\\_base\\_Elastomericos\\_y\\_FPS](https://www.researchgate.net/publication/277302150_Aisladores_de_base_Elastomericos_y_FPS). Consultado el 25 de abril de 2017. Artículo sobre aisladores de péndulo friccionante y con núcleo de plomo.

- <http://www.fipindustriale.it/index.php?area=106&menu=68&lingua=5>. Consultado el 29 de mayo de 2017. Catálogo de aisladores con núcleo de plomo.

- <http://www.sysprotec.cl/products/aisladores-sismicos?response=true>. Consultado el 7 de abril de 2017. Catálogo de aisladores con núcleo de plomo.

- [https://www.google.co.ve/search?site=&source=hp&q=catalogo+de+aisladores+con+nucleo+de+plomo&oq=catalogo+de+aisladores+con+nucleo+de+plomo&gs\\_l=hp.3..33i21k1.2582.17005.0.17323.46.39.0.0.0.618.5733.0j11j9j2j1j1.24.0...0...1.1.64.hp..22.20.5029.6..0j35i39k1j0i131k1j0i22i30k1j33i160k1.Q\\_XFZ\\_D4t54](https://www.google.co.ve/search?site=&source=hp&q=catalogo+de+aisladores+con+nucleo+de+plomo&oq=catalogo+de+aisladores+con+nucleo+de+plomo&gs_l=hp.3..33i21k1.2582.17005.0.17323.46.39.0.0.0.618.5733.0j11j9j2j1j1.24.0...0...1.1.64.hp..22.20.5029.6..0j35i39k1j0i131k1j0i22i30k1j33i160k1.Q_XFZ_D4t54). Consultado el 29 de mayo de 2017. Catálogo de aisladores de núcleo de plomo, Dynamic Isolation System.

<https://www.taylordevices.com/>. Consultado el 5 de abril de 2017. Catálogo de disipadores de fluido viscoso.

## ANEXOS

### I. Diseño estructural

ZONAS SÍSMICAS	PELIGRO SÍSMICO	A <sub>o</sub>
7	Elevado	0.40
6		0.35
5		0.30
4	Intermedio	0.25
3		0.20
2	Bajo	0.15
1		0.10
0		--

Figura A.I. valores de A<sub>o</sub>. Fuente: Norma COVENIN 1756-2001.

Material	V <sub>sp</sub> (m/s)	H (m)	Zonas Sísmicas 1 a 4		Zonas Sísmicas 5 a 7	
			Forma Espectral	φ	Forma Espectral	φ
Roca sana/fracturada	>500	-	S1	0.85	S1	1.00
Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos	>400	<30	S1	0.85	S1	1.00
		30-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.70	S2	0.90
Suelos duros o densos	250-400	<15	S1	0.80	S1	1.00
		15-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.75	S2	0.90
Suelos firmes/medio densos	170-250	≤50	S3	0.70	S2	0.95
		>50	S3 <sup>(a)</sup>	0.70	S3	0.75
Suelos blandos/sueltos	<170	≤15	S3	0.70	S2	0.90
		>15	S3 <sup>(a)</sup>	0.70	S3	0.80
Suelos blandos o sueltos <sup>(b)</sup> intercalados con suelos más rígidos	-	H <sub>1</sub>	S3 <sup>(c)</sup>	0.65	S2	0.70

Figura A.II. Forma espectral y factor de corrección φ. Fuente: Norma COVENIN 1756-2001.

#### GRUPO B2

Edificaciones de uso público o privado, de baja ocupación, que no excedan los límites indicados en el Grupo B1, tales como:

- Viviendas.
- Edificios de apartamentos, de oficinas u hoteles.
- Bancos, restaurantes, cines y teatros.
- Almacenes y depósitos.
- Toda edificación clasificada en el Grupo C, cuyo derrumbe pueda poner en peligro las de este Grupo.

Figura A.III. Clasificación de la estructura según uso. Fuente: Norma COVENIN 1756-2001.

GRUPO	$\alpha$
A	1.30
B1	1.15
B2	1.00

Figura A.IV. Factor de importancia. Fuente: Norma COVENIN 1756-2001.

GRUPO	ZONA SÍSMICA		
	1 y 2	3 y 4	5,6 y 7
A; B1	ND2 ND3	ND3	ND3
B2	ND1 (*) ND2 ND3	ND2 (*) ND3	ND3 ND2 (**)

(\*) Válido para edificaciones de hasta de 10 pisos ó 30 m de altura.

(\*\*) Válido para edificaciones de hasta de 2 pisos u 8 m de altura.

Figura A.V. nivel de diseño. Fuente: Norma COVENIN 1756-2001.

## II. Estructura de 30 pisos

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0047	0.0032	30
0.0068	0.0039	29
0.0088	0.0046	28
0.0103	0.0052	27
0.0114	0.0058	26
0.0112	0.0060	25
0.0113	0.0064	24
0.0118	0.0067	23
0.0106	0.0064	22
0.0112	0.0065	21
0.0114	0.0066	20
0.0101	0.0060	19
0.0096	0.0062	18
0.0088	0.0065	17
0.0080	0.0064	16
0.0081	0.0066	15
0.0086	0.0068	14
0.0088	0.0067	13
0.0091	0.0068	12
0.0095	0.0067	11
0.0094	0.0064	10
0.0095	0.0062	9
0.0095	0.0058	8
0.0093	0.0052	7
0.0091	0.0051	6
0.0087	0.0053	5
0.0080	0.0053	4
0.0074	0.0050	3
0.0061	0.0043	2
0.0031	0.0022	1

Tabla A.II.1.1

- Corte entrepisos

Piso	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
	tonf		tonf	
30	473.27	-382.38	163.65	-106.71
29	947.77	-762.60	333.34	-218.55
28	1354.49	-1082.88	490.50	-323.80
27	1674.00	-1326.54	631.79	-420.70
26	1895.48	-1485.11	754.28	-507.67
25	2017.38	-1569.95	855.61	-583.50
24	2052.47	-1603.68	935.03	-647.81
23	2014.09	-1724.17	990.98	-699.76
22	2090.55	-1836.95	1022.94	-739.20
21	2190.09	-1996.36	1033.16	-767.40
20	2288.16	-2084.08	1026.73	-788.05
19	2400.23	-2087.61	1034.47	-821.24
18	2485.58	-2011.18	1048.91	-883.37
17	2602.27	-1857.90	1082.65	-962.62
16	2703.08	-1804.18	1106.00	-1039.07
15	2774.20	-1824.25	1118.16	-1111.18
14	2811.62	-1959.30	1122.95	-1175.95
13	2813.56	-2109.33	1134.43	-1231.50
12	2933.60	-2242.40	1248.26	-1275.35
11	3109.02	-2352.79	1380.60	-1304.06
10	3231.66	-2438.58	1497.21	-1314.35
9	3300.11	-2498.98	1576.90	-1302.61
8	2811.62	-1959.30	1122.95	-1175.95
7	2813.56	-2109.33	1134.43	-1231.50
6	2933.60	-2242.40	1248.26	-1275.35
5	3109.02	-2352.79	1380.60	-1304.06
4	3231.66	-2438.58	1497.21	-1314.35
3	3300.11	-2498.98	1576.90	-1302.61
2	3400.03	-2619.08	1608.33	-1265.13
1	3231.66	-2438.58	1497.21	-1314.35

Tabla A.II.1.2

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
30	8.44	-7.06	3.45	-2.60
29	7.67	-6.34	3.23	-2.37
28	6.41	-5.14	2.92	-2.03
27	4.81	-3.84	2.53	-1.77
26	3.95	-4.42	2.06	-1.48
25	4.07	-5.04	1.54	-1.17
24	4.08	-5.14	1.56	-1.29
23	4.86	-4.67	1.65	-1.49
22	5.34	-3.94	1.92	-1.65
21	5.41	-4.15	2.36	-1.76
20	5.16	-4.19	2.76	-1.82
19	4.64	-3.96	3.04	-1.89
18	4.88	-3.94	3.16	-1.95
17	4.97	-4.10	3.17	-1.94
16	4.86	-3.92	3.04	-1.83
15	5.14	-3.44	2.79	-1.64
14	5.17	-3.65	2.43	-1.44
13	4.92	-4.28	2.02	-1.28
12	4.62	-4.69	2.05	-1.40
11	4.79	-4.79	2.56	-1.64
10	5.07	-4.45	3.14	-1.89
9	5.38	-4.54	3.62	-2.22
8	5.30	-4.28	3.95	-2.47
7	4.79	-3.45	4.08	-2.57
6	4.18	-3.66	3.95	-2.52
5	5.45	-4.30	3.54	-2.38
4	6.42	-4.91	3.20	-2.13
3	6.90	-4.81	3.47	-1.95
2	6.79	-4.54	3.70	-2.01
1	6.13	-4.00	3.86	-2.36
Base	5.25	-3.46	3.95	-2.59

Tabla A.II.1.3

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
0.777	0.564	-1.045	-0.571	30
0.761	0.553	-1.029	-0.556	29
0.738	0.541	-1.009	-0.538	28
0.708	0.527	-0.982	-0.517	27
0.686	0.511	-0.950	-0.492	26
0.674	0.493	-0.916	-0.464	25
0.661	0.474	-0.882	-0.436	24
0.646	0.454	-0.843	-0.406	23
0.628	0.434	-0.800	-0.382	22
0.611	0.414	-0.759	-0.362	21
0.591	0.392	-0.730	-0.347	20
0.569	0.369	-0.702	-0.331	19
0.547	0.347	-0.671	-0.317	18
0.522	0.324	-0.644	-0.309	17
0.494	0.299	-0.615	-0.300	16
0.466	0.275	-0.583	-0.289	15
0.436	0.250	-0.548	-0.275	14
0.403	0.225	-0.508	-0.259	13
0.370	0.206	-0.473	-0.240	12
0.336	0.189	-0.435	-0.224	11
0.301	0.173	-0.393	-0.208	10
0.265	0.157	-0.350	-0.190	9
0.230	0.140	-0.305	-0.171	8
0.194	0.122	-0.263	-0.150	7
0.160	0.104	-0.221	-0.130	6
0.128	0.085	-0.176	-0.108	5
0.096	0.065	-0.132	-0.084	4
0.066	0.046	-0.090	-0.060	3
0.038	0.027	-0.051	-0.036	2
0.015	0.011	-0.020	-0.015	1

Tabla A.II.1.4

## II.1 Disipador de Fluido Viscoso

### II.1.1 Disipador tipo Diagonal

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0043	0.0030	30
0.0063	0.0037	29
0.0082	0.0043	28
0.0096	0.0049	27
0.0106	0.0055	26
0.0105	0.0057	25
0.0108	0.0060	24
0.0113	0.0063	23
0.0101	0.0061	22
0.0106	0.0061	21
0.0109	0.0062	20
0.0096	0.0057	19
0.0092	0.0059	18
0.0085	0.0062	17
0.0074	0.0062	16
0.0076	0.0064	15
0.0081	0.0066	14
0.0082	0.0065	13
0.0085	0.0065	12
0.0088	0.0065	11
0.0088	0.0062	10
0.0089	0.0060	9
0.0089	0.0057	8
0.0087	0.0051	7
0.0085	0.0049	6
0.0082	0.0050	5
0.0076	0.0050	4
0.0069	0.0048	3
0.0057	0.0041	2
0.0028	0.0021	1

Tabla A.II.1.1.1

- Corte entrepisos

Piso	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
	tonf		tonf	
30	438.60	-360.45	155.61	-106.23
29	869.88	-714.20	314.59	-210.98
28	1240.79	-1014.41	462.24	-308.57
27	1534.84	-1245.46	595.97	-397.71
26	1742.80	-1394.48	713.26	-476.91
25	1863.22	-1465.34	811.91	-544.85
24	1907.67	-1555.79	891.05	-601.57
23	1887.06	-1637.23	949.17	-652.24
22	1963.22	-1764.91	985.30	-694.30
21	2061.00	-1910.71	1001.99	-726.97
20	2172.69	-1991.05	999.24	-749.36
19	2282.85	-1994.27	1014.13	-782.75
18	2363.27	-1920.83	1015.06	-853.10
17	2489.52	-1770.60	1052.78	-917.30
16	2593.46	-1706.57	1073.68	-993.27
15	2673.06	-1712.02	1082.93	-1064.40
14	2721.49	-1839.10	1080.62	-1128.66
13	2731.75	-1971.96	1065.45	-1184.38
12	2878.64	-2091.61	1202.50	-1229.05
11	3043.32	-2193.36	1340.26	-1259.69
10	3133.83	-2275.74	1452.65	-1273.19
9	3168.63	-2337.69	1531.37	-1266.06
8	2721.49	-1839.10	1080.62	-1128.66
7	2731.75	-1971.96	1065.45	-1184.38
6	2878.64	-2091.61	1202.50	-1229.05
5	3043.32	-2193.36	1340.26	-1259.69
4	3133.83	-2275.74	1452.65	-1273.19
3	3168.63	-2337.69	1531.37	-1266.06
2	3265.63	-2441.13	1565.29	-1234.92
1	3133.83	-2275.74	1452.65	-1273.19

Tabla A.II.1.1.2

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
30	7.73	-6.36	3.17	-2.27
29	7.02	-5.76	2.98	-2.14
28	5.88	-4.76	2.71	-1.94
27	4.43	-3.62	2.36	-1.69
26	3.69	-4.19	1.95	-1.40
25	3.55	-4.68	1.50	-1.10
24	3.83	-4.71	1.47	-1.22
23	4.43	-4.23	1.53	-1.40
22	4.79	-3.38	1.78	-1.56
21	4.80	-3.74	2.22	-1.67
20	4.54	-3.88	2.59	-1.73
19	4.48	-3.78	2.84	-1.73
18	4.88	-3.64	2.96	-1.67
17	5.06	-3.79	2.97	-1.56
16	4.95	-3.64	2.85	-1.50
15	4.76	-3.22	2.63	-1.37
14	4.83	-3.19	2.30	-1.22
13	4.65	-3.74	1.94	-1.12
12	4.25	-4.11	1.99	-1.17
11	4.56	-4.22	2.48	-1.32
10	4.70	-3.99	3.02	-1.60
9	4.84	-4.18	3.46	-1.88
8	4.95	-3.95	3.77	-2.08
7	4.71	-3.21	3.88	-2.15
6	4.16	-3.17	3.74	-2.08
5	4.85	-3.64	3.33	-1.87
4	5.73	-4.19	3.15	-1.85
3	6.23	-4.43	3.43	-1.73
2	6.27	-4.46	3.67	-1.95
1	5.87	-3.95	3.85	-2.34
Base	5.25	-3.46	3.95	-2.59

Tabla A.II.1.1.3

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
0.736	0.541	-1.022	-0.567	30
0.722	0.531	-1.007	-0.552	29
0.702	0.520	-0.987	-0.535	28
0.677	0.507	-0.962	-0.514	27
0.657	0.492	-0.932	-0.490	26
0.644	0.476	-0.901	-0.463	25
0.630	0.459	-0.867	-0.435	24
0.615	0.440	-0.829	-0.406	23
0.597	0.420	-0.788	-0.378	22
0.579	0.401	-0.748	-0.355	21
0.560	0.380	-0.708	-0.339	20
0.538	0.358	-0.672	-0.322	19
0.516	0.337	-0.643	-0.308	18
0.492	0.315	-0.617	-0.301	17
0.465	0.291	-0.589	-0.291	16
0.438	0.268	-0.559	-0.280	15
0.410	0.244	-0.525	-0.267	14
0.380	0.219	-0.486	-0.251	13
0.349	0.199	-0.450	-0.234	12
0.317	0.182	-0.415	-0.218	11
0.284	0.166	-0.375	-0.200	10
0.251	0.150	-0.334	-0.182	9
0.218	0.134	-0.292	-0.163	8
0.184	0.117	-0.253	-0.142	7
0.152	0.099	-0.212	-0.121	6
0.120	0.081	-0.170	-0.100	5
0.089	0.062	-0.127	-0.077	4
0.061	0.043	-0.086	-0.054	3
0.035	0.026	-0.049	-0.032	2
0.014	0.010	-0.019	-0.013	1
0.000	0.000	0.000	0.000	Base

Tabla A.II.1.1.4

## II.1.2 Disipador tipo Chevron

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0041	0.0029	30
0.0061	0.0035	29
0.0079	0.0041	28
0.0093	0.0047	27
0.0103	0.0052	26
0.0102	0.0054	25
0.0106	0.0058	24
0.0111	0.0060	23
0.0098	0.0058	22
0.0103	0.0059	21
0.0106	0.0060	20
0.0094	0.0055	19
0.0090	0.0058	18
0.0083	0.0060	17
0.0074	0.0060	16
0.0074	0.0062	15
0.0078	0.0063	14
0.0079	0.0063	13
0.0082	0.0063	12
0.0085	0.0063	11
0.0085	0.0060	10
0.0086	0.0058	9
0.0086	0.0055	8
0.0084	0.0050	7
0.0082	0.0048	6
0.0079	0.0049	5
0.0074	0.0048	4
0.0067	0.0046	3
0.0055	0.0039	2
0.0027	0.0020	1

Tabla A.II.1.2.1

- Corte entrepisos

Piso	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
	tonf		tonf	
30	419.98	-346.19	151.66	-106.46
29	828.41	-685.11	306.11	-209.50
28	1180.61	-973.29	449.57	-305.00
27	1461.55	-1194.39	579.86	-392.16
26	1662.87	-1332.05	694.68	-469.56
25	1783.07	-1412.91	791.85	-535.84
24	1832.76	-1528.50	870.68	-591.26
23	1820.00	-1592.85	929.60	-634.94
22	1891.12	-1725.29	967.45	-665.82
21	1989.94	-1864.30	987.09	-697.54
20	2116.19	-1941.14	988.29	-724.55
19	2225.97	-1943.81	1003.10	-758.41
18	2309.34	-1866.43	1006.99	-830.24
17	2434.13	-1724.81	1035.98	-895.52
16	2538.91	-1700.37	1056.98	-956.19
15	2621.96	-1658.77	1065.33	-1017.61
14	2676.14	-1781.15	1062.45	-1079.21
13	2691.71	-1903.94	1047.26	-1133.72
12	2836.56	-2015.11	1187.26	-1177.94
11	2997.13	-2110.36	1321.91	-1209.83
10	3074.63	-2188.40	1432.30	-1226.85
9	3095.50	-2247.92	1510.69	-1224.96
8	2676.14	-1781.15	1062.45	-1079.21
7	2691.71	-1903.94	1047.26	-1133.72
6	2836.56	-2015.11	1187.26	-1177.94
5	2997.13	-2110.36	1321.91	-1209.83
4	3074.63	-2188.40	1432.30	-1226.85
3	3095.50	-2247.92	1510.69	-1224.96
2	3194.53	-2353.61	1546.03	-1201.65
1	3074.63	-2188.40	1432.30	-1226.85

Tabla A.II.1.2.2

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
30	7.34	-5.98	3.05	-2.20
29	6.68	-5.44	2.87	-2.08
28	5.60	-4.54	2.61	-1.89
27	4.23	-3.54	2.28	-1.65
26	3.54	-4.06	1.90	-1.36
25	3.42	-4.48	1.48	-1.06
24	3.72	-4.48	1.42	-1.16
23	4.21	-4.00	1.46	-1.32
22	4.51	-3.16	1.73	-1.46
21	4.49	-3.53	2.15	-1.56
20	4.23	-3.70	2.50	-1.61
19	4.39	-3.64	2.75	-1.61
18	4.83	-3.47	2.86	-1.55
17	5.05	-3.63	2.87	-1.45
16	4.96	-3.50	2.76	-1.34
15	4.60	-3.10	2.54	-1.24
14	4.68	-3.01	2.23	-1.14
13	4.52	-3.52	1.91	-1.03
12	4.15	-3.85	1.97	-1.12
11	4.45	-3.94	2.45	-1.22
10	4.63	-3.87	2.97	-1.46
9	4.63	-4.03	3.40	-1.71
8	4.80	-3.80	3.69	-1.88
7	4.66	-3.11	3.79	-1.94
6	4.23	-3.09	3.65	-1.87
5	4.63	-3.48	3.25	-1.69
4	5.48	-3.87	3.12	-1.68
3	6.00	-4.38	3.41	-1.60
2	6.09	-4.42	3.66	-1.92
1	5.78	-3.92	3.85	-2.32
Base	5.25	-3.46	3.95	-2.59

Tabla A.II.1.2.3

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
0.713	0.527	-1.009	-0.565	30
0.701	0.518	-0.994	-0.551	29
0.682	0.507	-0.975	-0.533	28
0.659	0.494	-0.950	-0.513	27
0.642	0.480	-0.923	-0.489	26
0.628	0.464	-0.892	-0.463	25
0.613	0.448	-0.859	-0.435	24
0.598	0.430	-0.822	-0.406	23
0.580	0.410	-0.781	-0.379	22
0.562	0.391	-0.742	-0.352	21
0.542	0.371	-0.703	-0.335	20
0.520	0.350	-0.662	-0.318	19
0.498	0.329	-0.627	-0.306	18
0.475	0.308	-0.602	-0.298	17
0.449	0.285	-0.575	-0.287	16
0.423	0.263	-0.546	-0.275	15
0.395	0.240	-0.512	-0.262	14
0.366	0.216	-0.475	-0.247	13
0.336	0.195	-0.439	-0.230	12
0.306	0.177	-0.404	-0.214	11
0.274	0.161	-0.365	-0.197	10
0.242	0.146	-0.325	-0.178	9
0.210	0.129	-0.284	-0.159	8
0.178	0.113	-0.247	-0.138	7
0.146	0.095	-0.207	-0.117	6
0.115	0.078	-0.166	-0.096	5
0.086	0.059	-0.124	-0.074	4
0.059	0.041	-0.084	-0.052	3
0.034	0.024	-0.048	-0.031	2
0.013	0.010	-0.019	-0.013	1
0.000	0.000	0.000	0.000	Base

Tabla A.II.1.2.4

## II.2. Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0047	0.0052	30
0.0069	0.0062	29
0.0085	0.0073	28
0.0099	0.0082	27
0.0109	0.0091	26
0.0108	0.0095	25
0.0111	0.0100	24
0.0111	0.0105	23
0.0096	0.0102	22
0.0096	0.0103	21
0.0098	0.0104	20
0.0092	0.0094	19
0.0096	0.0093	18
0.0103	0.0092	17
0.0101	0.0086	16
0.0117	0.0085	15
0.0130	0.0084	14
0.0131	0.0082	13
0.0128	0.0083	12
0.0115	0.0081	11
0.0092	0.0079	10
0.0075	0.0081	9
0.0066	0.0085	8
0.0074	0.0088	7
0.0066	0.0093	6
0.0070	0.0104	5
0.0112	0.0115	4
0.0159	0.0120	3
0.0206	0.0120	2
0.0300	0.0120	1

Tabla A.II.2.1

- Corte entrepisos

Piso	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
	tonf		tonf	
30	215.78	-137.75	146.99	-56.00
29	413.36	-265.09	299.31	-113.87
28	544.96	-352.33	437.44	-166.30
27	594.17	-398.98	555.82	-211.28
26	559.63	-452.33	649.73	-249.51
25	455.10	-484.39	715.47	-288.35
24	388.66	-500.09	753.74	-322.20
23	396.90	-504.63	761.86	-350.69
22	456.11	-504.51	739.51	-373.75
21	494.56	-509.80	691.01	-391.96
20	506.64	-528.60	618.41	-405.27
19	490.10	-556.20	528.90	-414.04
18	557.49	-606.68	493.09	-419.03
17	683.86	-664.42	452.61	-420.62
16	930.91	-722.43	412.69	-420.48
15	1222.13	-888.60	375.97	-427.45
14	1457.37	-1041.68	346.42	-522.39
13	1590.84	-1132.61	329.10	-591.35
12	1584.98	-1139.07	329.67	-623.99
11	1413.49	-1043.47	354.40	-608.21
10	1069.77	-842.12	411.37	-530.10
9	693.68	-616.48	508.69	-474.79
8	1457.37	-1041.68	346.42	-522.39
7	1590.84	-1132.61	329.10	-591.35
6	1584.98	-1139.07	329.67	-623.99
5	1413.49	-1043.47	354.40	-608.21
4	1069.77	-842.12	411.37	-530.10
3	693.68	-616.48	508.69	-474.79
2	650.71	-781.38	657.60	-511.74
1	1069.77	-842.12	411.37	-530.10

Tabla A.II.2.2

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
30	1.07	-1.57	1.03	-0.79
29	1.03	-1.49	0.99	-0.76
28	0.99	-1.37	0.94	-0.73
27	0.95	-1.21	0.89	-0.69
26	0.95	-1.03	0.83	-0.65
25	0.96	-0.90	0.76	-0.60
24	0.95	-0.80	0.76	-0.55
23	0.92	-0.78	0.77	-0.50
22	0.90	-0.79	0.78	-0.49
21	0.92	-0.79	0.79	-0.48
20	0.93	-0.76	0.78	-0.47
19	0.92	-0.72	0.77	-0.46
18	0.89	-0.65	0.75	-0.44
17	0.85	-0.63	0.71	-0.42
16	0.81	-0.71	0.71	-0.40
15	0.82	-0.76	0.73	-0.39
14	0.81	-0.78	0.73	-0.41
13	0.78	-0.77	0.74	-0.41
12	0.77	-0.73	0.73	-0.42
11	0.77	-0.72	0.73	-0.42
10	0.77	-0.75	0.77	-0.46
9	0.79	-0.80	0.82	-0.50
8	0.80	-0.84	0.87	-0.54
7	0.81	-0.85	0.90	-0.57
6	0.82	-0.83	0.90	-0.59
5	0.83	-0.85	0.88	-0.59
4	0.84	-0.86	0.83	-0.58
3	0.88	-0.84	0.82	-0.56
2	0.90	-0.87	0.81	-0.61
1	0.91	-0.91	0.83	-0.65
Base	1.03	-0.93	0.93	-0.68

Tabla A.II.2.3

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
1.431	0.513	-2.027	-1.614	30
1.425	0.510	-2.020	-1.602	29
1.417	0.507	-2.009	-1.588	28
1.406	0.503	-1.996	-1.570	27
1.395	0.498	-1.983	-1.549	26
1.384	0.493	-1.971	-1.527	25
1.374	0.488	-1.961	-1.504	24
1.366	0.482	-1.954	-1.480	23
1.360	0.477	-1.950	-1.456	22
1.355	0.472	-1.948	-1.436	21
1.351	0.468	-1.946	-1.416	20
1.346	0.464	-1.943	-1.398	19
1.340	0.460	-1.938	-1.384	18
1.332	0.457	-1.930	-1.372	17
1.322	0.454	-1.917	-1.362	16
1.309	0.452	-1.901	-1.355	15
1.295	0.450	-1.882	-1.349	14
1.279	0.448	-1.861	-1.344	13
1.262	0.445	-1.842	-1.340	12
1.246	0.443	-1.826	-1.335	11
1.232	0.440	-1.812	-1.330	10
1.220	0.436	-1.802	-1.322	9
1.211	0.431	-1.797	-1.311	8
1.205	0.424	-1.795	-1.294	7
1.200	0.415	-1.796	-1.272	6
1.195	0.404	-1.796	-1.244	5
1.186	0.391	-1.790	-1.209	4
1.172	0.377	-1.775	-1.168	3
1.153	0.362	-1.750	-1.125	2
1.128	0.348	-1.716	-1.082	1
1.109	0.337	-1.692	-1.052	Base

Tabla A.II.2.4

### III. Estructura de 40 pisos

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0046	0.0037	40
0.0064	0.0044	39
0.0080	0.0050	38
0.0094	0.0056	37
0.0103	0.0061	36
0.0109	0.0065	35
0.0104	0.0064	34
0.0105	0.0066	33
0.0105	0.0067	32
0.0095	0.0063	31
0.0096	0.0063	30
0.0094	0.0062	29
0.0084	0.0058	28
0.0083	0.0057	27
0.0086	0.0055	26
0.0085	0.0052	25
0.0087	0.0050	24
0.0089	0.0048	23
0.0087	0.0046	22
0.0088	0.0046	21
0.0089	0.0046	20
0.0088	0.0046	19
0.0088	0.0047	18
0.0088	0.0048	17
0.0089	0.0049	16
0.0091	0.0049	15
0.0093	0.0050	14
0.0095	0.0051	13
0.0097	0.0051	12
0.0097	0.0052	11
0.0097	0.0052	10
0.0098	0.0052	9
0.0098	0.0051	8
0.0097	0.0050	7
0.0094	0.0048	6
0.0090	0.0045	5
0.0082	0.0042	4
0.0072	0.0036	3
0.0056	0.0028	2
0.0026	0.0013	1

Tabla A.III.1.1.1

- Corte entrepisos

	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
Piso	tonf		tonf	
40	248.15	-330.67	224.86	-122.61
39	504.14	-664.92	451.32	-238.45
38	735.74	-955.11	649.75	-327.37
37	935.94	-1187.60	813.05	-415.59
36	1100.76	-1353.73	936.55	-492.58
35	1229.76	-1453.20	1018.40	-559.51
34	1326.48	-1548.29	1059.91	-613.01
33	1407.47	-1599.31	1067.54	-654.05
32	1492.68	-1609.00	1065.04	-682.77
31	1625.54	-1626.06	1067.40	-700.09
30	1777.69	-1658.74	1087.62	-713.38
29	1924.83	-1654.87	1118.26	-727.08
28	2038.79	-1614.32	1156.49	-730.79
27	2119.11	-1554.25	1198.71	-725.61
26	2163.86	-1613.60	1220.35	-715.22
25	2174.79	-1703.91	1222.02	-705.69
24	2223.48	-1785.37	1243.07	-689.03
23	2270.11	-1855.98	1251.36	-688.71
22	2354.85	-1915.76	1245.39	-735.81
21	2479.07	-1964.54	1268.54	-774.62
20	2598.35	-2006.96	1284.76	-803.30
19	2701.23	-2043.32	1321.17	-821.21
18	2223.48	-1785.37	1243.07	-689.03
17	2270.11	-1855.98	1251.36	-688.71
16	2354.85	-1915.76	1245.39	-735.81
15	2479.07	-1964.54	1268.54	-774.62
14	2598.35	-2006.96	1284.76	-803.30
13	2701.23	-2043.32	1321.17	-821.21
12	2782.29	-2070.49	1363.34	-827.89
11	2598.35	-2006.96	1284.76	-803.30
10	2701.23	-2043.32	1321.17	-821.21
9	2782.29	-2070.49	1363.34	-827.89
8	2859.84	-2156.01	1476.81	-902.48
7	2811.13	-2313.62	1556.58	-976.11
6	2737.52	-2462.50	1667.00	-1033.31
5	2843.28	-2618.68	1924.84	-1103.03
4	2885.47	-2755.81	2175.98	-1160.52
3	3158.07	-2851.90	2376.75	-1220.13
2	3383.47	-2916.54	2508.91	-1270.59
1	3493.53	-2954.66	2570.31	-1293.83

Tabla A.III.1.1.2

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
40	4.27	-5.30	3.96	-1.97
39	4.02	-4.90	3.63	-1.84
38	3.62	-4.26	3.16	-1.66
37	3.10	-3.61	2.57	-1.44
36	2.54	-3.05	1.92	-1.21
35	2.80	-2.81	1.69	-1.07
34	3.09	-2.48	1.69	-0.97
33	3.25	-2.92	1.77	-0.93
32	3.35	-3.47	2.04	-1.04
31	3.28	-3.77	2.18	-1.13
30	3.07	-3.80	2.20	-1.27
29	2.73	-3.61	2.25	-1.35
28	2.48	-3.20	2.19	-1.37
27	2.25	-2.80	2.06	-1.34
26	2.43	-2.34	1.97	-1.26
25	2.59	-2.75	1.94	-1.13
24	2.65	-3.05	2.05	-1.06
23	2.78	-3.21	2.16	-1.09
22	2.94	-3.22	2.23	-1.10
21	2.95	-3.07	2.35	-1.11
20	2.82	-2.78	2.40	-1.10
19	2.82	-2.37	2.36	-1.04
18	2.78	-2.25	2.25	-1.08
17	2.63	-2.18	2.10	-1.16
16	2.41	-2.16	1.96	-1.23
15	2.29	-2.34	1.92	-1.27
14	2.56	-2.53	2.06	-1.28
13	2.78	-2.66	2.33	-1.26
12	3.04	-2.72	2.53	-1.21
11	3.20	-2.69	2.63	-1.20
10	3.19	-2.55	2.62	-1.17
9	3.03	-2.33	2.53	-1.14
8	2.98	-2.02	2.31	-1.19
7	2.80	-2.08	1.96	-1.19
6	2.79	-2.18	2.13	-1.16
5	3.33	-2.22	2.51	-1.11
4	3.85	-2.28	2.89	-1.35
3	4.32	-2.56	3.25	-1.75
2	4.74	-2.82	3.56	-2.12
1	5.06	-3.19	3.81	-2.41
Base	5.25	-3.46	3.95	-2.59

Tabla A.III.1.1.3

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
1.079	0.617	-1.376	-1.013	40
1.068	0.606	-1.358	-0.996	39
1.056	0.595	-1.335	-0.977	38
1.041	0.582	-1.306	-0.957	37
1.025	0.567	-1.273	-0.934	36
1.008	0.552	-1.237	-0.910	35
0.989	0.536	-1.198	-0.883	34
0.970	0.519	-1.160	-0.856	33
0.948	0.502	-1.121	-0.827	32
0.926	0.484	-1.083	-0.797	31
0.903	0.467	-1.046	-0.770	30
0.879	0.449	-1.008	-0.743	29
0.855	0.430	-0.969	-0.717	28
0.831	0.413	-0.932	-0.693	27
0.806	0.401	-0.893	-0.669	26
0.780	0.391	-0.854	-0.645	25
0.753	0.379	-0.814	-0.620	24
0.726	0.367	-0.774	-0.600	23
0.697	0.354	-0.732	-0.582	22
0.668	0.340	-0.692	-0.565	21
0.639	0.327	-0.656	-0.547	20
0.608	0.313	-0.630	-0.528	19
0.577	0.298	-0.602	-0.509	18
0.545	0.282	-0.571	-0.488	17
0.513	0.266	-0.539	-0.465	16
0.480	0.249	-0.504	-0.441	15
0.446	0.231	-0.469	-0.416	14
0.413	0.213	-0.433	-0.389	13
0.379	0.194	-0.401	-0.360	12
0.343	0.175	-0.368	-0.329	11
0.307	0.156	-0.333	-0.296	10
0.270	0.137	-0.297	-0.263	9
0.234	0.118	-0.260	-0.228	8
0.197	0.099	-0.221	-0.193	7
0.161	0.081	-0.182	-0.158	6
0.125	0.063	-0.143	-0.123	5
0.092	0.046	-0.106	-0.090	4
0.061	0.030	-0.071	-0.060	3
0.034	0.017	-0.040	-0.033	2
0.013	0.006	-0.015	-0.013	1
0.000	0.000	0.000	0.000	Base

Tabla A.III.1.1.4

### III.1 Disipador de Fluido Viscoso

#### III.1.1 Disipador Diagonal

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0045	0.0037	40
0.0063	0.0044	39
0.0079	0.0050	38
0.0092	0.0056	37
0.0101	0.0060	36
0.0107	0.0064	35
0.0102	0.0063	34
0.0104	0.0064	33
0.0103	0.0065	32
0.0094	0.0062	31
0.0094	0.0061	30
0.0093	0.0060	29
0.0083	0.0057	28
0.0081	0.0055	27
0.0085	0.0054	26
0.0084	0.0051	25
0.0086	0.0049	24
0.0088	0.0048	23
0.0086	0.0046	22
0.0087	0.0046	21
0.0088	0.0046	20
0.0087	0.0045	19
0.0088	0.0046	18
0.0088	0.0047	17
0.0088	0.0048	16
0.0090	0.0049	15
0.0091	0.0050	14
0.0093	0.0051	13
0.0095	0.0051	12
0.0096	0.0051	11
0.0096	0.0051	10
0.0097	0.0051	9
0.0097	0.0051	8
0.0096	0.0049	7
0.0093	0.0047	6
0.0089	0.0044	5
0.0082	0.0040	4
0.0072	0.0035	3
0.0056	0.0027	2
0.0026	0.0012	1

Tabla A.III.1.1.1

- Corte entrepisos

	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
Piso	tonf		tonf	
40	244.82	-320.00	214.94	-117.80
39	495.45	-646.95	431.81	-228.37
38	722.83	-931.07	623.40	-331.88
37	920.38	-1159.06	783.01	-421.99
36	1084.19	-1322.45	906.44	-496.94
35	1213.86	-1435.92	990.72	-555.89
34	1312.55	-1528.62	1036.82	-598.92
33	1388.59	-1577.00	1050.63	-635.01
32	1470.24	-1579.56	1045.05	-661.84
31	1599.75	-1604.90	1057.88	-675.94
30	1737.51	-1636.10	1066.53	-683.15
29	1884.92	-1628.48	1101.63	-699.52
28	2001.05	-1585.94	1119.80	-704.38
27	2085.09	-1542.79	1164.96	-701.22
26	2135.12	-1582.68	1189.35	-700.35
25	2171.25	-1671.69	1194.23	-696.10
24	2207.94	-1752.04	1210.28	-683.07
23	2226.00	-1821.54	1226.96	-666.23
22	2322.69	-1882.99	1227.43	-697.59
21	2446.46	-1936.21	1248.47	-728.91
20	2559.44	-1987.13	1269.90	-751.50
19	2657.01	-2027.87	1295.03	-765.01
18	2207.94	-1752.04	1210.28	-683.07
17	2226.00	-1821.54	1226.96	-666.23
16	2322.69	-1882.99	1227.43	-697.59
15	2446.46	-1936.21	1248.47	-728.91
14	2559.44	-1987.13	1269.90	-751.50
13	2657.01	-2027.87	1295.03	-765.01
12	2734.14	-2058.10	1338.56	-802.34
11	2559.44	-1987.13	1269.90	-751.50
10	2657.01	-2027.87	1295.03	-765.01
9	2734.14	-2058.10	1338.56	-802.34
8	2809.37	-2121.23	1444.24	-888.54
7	2766.71	-2271.33	1529.28	-974.75
6	2676.40	-2427.56	1664.15	-1035.54
5	2799.89	-2586.58	1921.69	-1098.45
4	2864.72	-2730.05	2158.91	-1150.96
3	3091.18	-2832.57	2347.03	-1186.66
2	3294.50	-2895.07	2470.21	-1227.65
1	3392.61	-2936.35	2529.17	-1249.40

Tabla A.III.1.1.2

- Aceleraciones

4.1648	-5.1668	3.794	-2.0071
3.9241	-4.7754	3.4886	-1.8673
3.5465	-4.1527	3.0493	-1.6719
3.0602	-3.5558	2.4994	-1.4298
2.5127	-3.0014	1.8832	-1.1649
2.724	-2.7546	1.6481	-1.0161
3.0111	-2.4224	1.6059	-0.9476
3.1437	-2.8071	1.7023	-0.9131
3.1983	-3.3327	1.9538	-0.9719
3.114	-3.6161	2.0833	-1.0096
2.9005	-3.6464	2.1271	-1.1023
2.568	-3.4591	2.1753	-1.1865
2.2873	-3.0675	2.1237	-1.2177
2.1582	-2.7175	1.998	-1.2003
2.3106	-2.2873	1.9454	-1.1401
2.4426	-2.719	1.9185	-1.0377
2.4832	-3.016	2.0191	-0.9997
2.5946	-3.1818	2.1172	-1.0803
2.7202	-3.1853	2.1893	-1.0836
2.705	-3.0354	2.2998	-1.067
2.6723	-2.7497	2.3384	-1.0604
2.6849	-2.3292	2.2989	-1.0285
2.6504	-2.1194	2.1865	-1.0562
2.513	-2.0913	2.0705	-1.0801
2.3361	-2.0979	1.9307	-1.167
2.2449	-2.3083	1.8952	-1.2265
2.5064	-2.4785	2.051	-1.2587
2.7148	-2.5937	2.3238	-1.2595
2.9183	-2.639	2.518	-1.222
3.046	-2.5956	2.6088	-1.1419
3.02	-2.4581	2.6217	-1.0766
2.9233	-2.2321	2.5296	-1.0603
2.8891	-1.993	2.3072	-1.1067
2.7164	-2.0416	1.9534	-1.1163
2.745	-2.1371	2.1526	-1.0943
3.2933	-2.1821	2.5335	-1.0478
3.8171	-2.2859	2.907	-1.3655
4.2987	-2.565	3.2568	-1.7638
4.7221	-2.8237	3.5667	-2.1263
5.053	-3.2014	3.8087	-2.4151
5.2549	-3.4638	3.9547	-2.5921

Tabla A.III.1.1.3

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
1.066	0.609	-1.366	-1.005	40
1.055	0.596	-1.348	-0.988	39
1.043	0.582	-1.324	-0.970	38
1.028	0.570	-1.296	-0.949	37
1.013	0.556	-1.264	-0.927	36
0.996	0.542	-1.228	-0.903	35
0.977	0.526	-1.190	-0.877	34
0.958	0.510	-1.152	-0.850	33
0.937	0.494	-1.114	-0.823	32
0.914	0.477	-1.075	-0.795	31
0.891	0.460	-1.038	-0.769	30
0.867	0.442	-1.000	-0.743	29
0.843	0.424	-0.962	-0.716	28
0.819	0.408	-0.925	-0.692	27
0.794	0.397	-0.887	-0.668	26
0.767	0.387	-0.847	-0.644	25
0.741	0.376	-0.809	-0.619	24
0.713	0.364	-0.769	-0.600	23
0.685	0.352	-0.729	-0.582	22
0.656	0.338	-0.688	-0.565	21
0.627	0.324	-0.650	-0.547	20
0.597	0.310	-0.623	-0.528	19
0.566	0.295	-0.595	-0.508	18
0.535	0.280	-0.565	-0.487	17
0.503	0.263	-0.533	-0.464	16
0.472	0.246	-0.499	-0.439	15
0.441	0.229	-0.465	-0.413	14
0.409	0.211	-0.428	-0.386	13
0.375	0.192	-0.395	-0.357	12
0.340	0.173	-0.362	-0.326	11
0.304	0.154	-0.327	-0.293	10
0.268	0.135	-0.291	-0.260	9
0.232	0.116	-0.254	-0.225	8
0.195	0.097	-0.216	-0.190	7
0.159	0.079	-0.178	-0.155	6
0.124	0.061	-0.140	-0.121	5
0.091	0.044	-0.103	-0.089	4
0.061	0.029	-0.069	-0.059	3
0.034	0.016	-0.039	-0.033	2
0.013	0.006	-0.015	-0.012	1
0.000	0.000	0.000	0.000	Base

Tabla A.III.1.1.4

### III.1.2. Disipador Chevron

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.00447	0.00369	40
0.00621	0.00434	39
0.00783	0.00497	38
0.00913	0.00553	37
0.01006	0.00599	36
0.01064	0.00634	35
0.01012	0.00622	34
0.01029	0.00634	33
0.01026	0.00640	32
0.00933	0.00606	31
0.00936	0.00598	30
0.00922	0.00593	29
0.00826	0.00557	28
0.00807	0.00546	27
0.00840	0.00532	26
0.00829	0.00504	25
0.00850	0.00489	24
0.00872	0.00473	23
0.00852	0.00451	22
0.00860	0.00452	21
0.00871	0.00454	20
0.00868	0.00451	19
0.00871	0.00454	18
0.00874	0.00468	17
0.00873	0.00475	16
0.00888	0.00484	15
0.00905	0.00495	14
0.00923	0.00504	13
0.00939	0.00508	12
0.00953	0.00510	11
0.00955	0.00509	10
0.00965	0.00508	9
0.00968	0.00502	8
0.00951	0.00488	7
0.00929	0.00470	6
0.00885	0.00441	5
0.00812	0.00399	4
0.00713	0.00345	3
0.00556	0.00265	2
0.00257	0.00121	1

Tabla A.III.1.2.1

- Corte entrepisos

	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
Piso	tonf		tonf	
40	242.08	-314.10	208.54	-115.16
39	489.22	-637.09	419.77	-229.48
38	713.85	-917.95	607.04	-332.61
37	909.58	-1143.52	765.43	-422.05
36	1072.61	-1305.45	889.08	-496.08
35	1202.55	-1426.27	975.17	-553.85
34	1302.25	-1517.69	1023.51	-595.48
33	1379.97	-1564.79	1040.63	-623.44
32	1455.10	-1563.36	1033.36	-648.00
31	1585.77	-1593.14	1050.83	-663.41
30	1724.82	-1623.59	1052.69	-667.68
29	1863.47	-1612.99	1090.62	-685.80
28	1980.12	-1570.32	1106.31	-691.84
27	2065.53	-1536.33	1143.08	-689.95
26	2117.81	-1566.90	1171.72	-690.26
25	2168.65	-1655.25	1178.52	-688.19
24	2205.40	-1734.78	1191.42	-677.81
23	2224.79	-1802.73	1213.46	-661.00
22	2310.22	-1864.61	1217.31	-675.88
21	2430.90	-1922.20	1235.74	-703.62
20	2540.70	-1974.98	1260.63	-723.33
19	2635.18	-2017.52	1278.84	-736.82
18	2205.40	-1734.78	1191.42	-677.81
17	2224.79	-1802.73	1213.46	-661.00
16	2310.22	-1864.61	1217.31	-675.88
15	2430.90	-1922.20	1235.74	-703.62
14	2540.70	-1974.98	1260.63	-723.33
13	2635.18	-2017.52	1278.84	-736.82
12	2709.59	-2048.46	1323.89	-790.57
11	2540.70	-1974.98	1260.63	-723.33
10	2635.18	-2017.52	1278.84	-736.82
9	2709.59	-2048.46	1323.89	-790.57
8	2782.64	-2115.97	1429.88	-878.62
7	2742.80	-2247.87	1520.03	-968.04
6	2643.85	-2410.82	1663.49	-1031.47
5	2774.84	-2569.07	1918.69	-1091.65
4	2852.58	-2714.61	2147.64	-1143.82
3	3057.10	-2819.45	2328.43	-1178.43
2	3248.55	-2882.29	2446.48	-1201.64
1	3340.30	-2924.08	2503.31	-1220.10

Tabla A.III.1.2.2

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
40	4.10	-5.09	3.70	-2.01
39	3.86	-4.71	3.41	-1.87
38	3.50	-4.10	2.99	-1.67
37	3.03	-3.53	2.46	-1.42
36	2.50	-2.97	1.86	-1.14
35	2.68	-2.73	1.62	-0.99
34	2.97	-2.39	1.56	-0.93
33	3.10	-2.75	1.67	-0.90
32	3.12	-3.26	1.91	-0.93
31	3.03	-3.53	2.03	-0.96
30	2.81	-3.56	2.08	-1.02
29	2.48	-3.38	2.13	-1.10
28	2.18	-3.02	2.08	-1.14
27	2.11	-2.67	1.96	-1.13
26	2.25	-2.27	1.93	-1.08
25	2.36	-2.70	1.90	-0.99
24	2.39	-3.00	2.00	-0.98
23	2.49	-3.17	2.10	-1.06
22	2.60	-3.17	2.16	-1.07
21	2.64	-3.02	2.27	-1.04
20	2.64	-2.73	2.30	-1.03
19	2.62	-2.32	2.26	-1.02
18	2.59	-2.05	2.15	-1.04
17	2.46	-2.04	2.05	-1.04
16	2.29	-2.09	1.91	-1.14
15	2.22	-2.29	1.88	-1.21
14	2.48	-2.45	2.05	-1.25
13	2.68	-2.56	2.32	-1.26
12	2.85	-2.59	2.51	-1.23
11	2.96	-2.55	2.60	-1.16
10	2.93	-2.41	2.62	-1.04
9	2.87	-2.21	2.52	-1.02
8	2.84	-2.00	2.30	-1.06
7	2.67	-2.02	1.95	-1.08
6	2.72	-2.12	2.16	-1.06
5	3.27	-2.16	2.54	-1.02
4	3.80	-2.29	2.91	-1.37
3	4.29	-2.57	3.26	-1.77
2	4.71	-2.83	3.57	-2.13
1	5.05	-3.21	3.81	-2.42
Base	5.25	-3.46	3.95	-2.59

Tabla A.III.1.2.3

- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
1.058	0.605	-1.359	-1.000	40
1.048	0.592	-1.341	-0.984	39
1.035	0.577	-1.318	-0.965	38
1.022	0.563	-1.290	-0.945	37
1.006	0.549	-1.259	-0.923	36
0.989	0.535	-1.223	-0.899	35
0.970	0.520	-1.185	-0.873	34
0.951	0.504	-1.148	-0.847	33
0.929	0.488	-1.109	-0.820	32
0.907	0.471	-1.070	-0.793	31
0.884	0.455	-1.033	-0.767	30
0.860	0.437	-0.996	-0.742	29
0.835	0.420	-0.957	-0.716	28
0.811	0.406	-0.921	-0.691	27
0.786	0.395	-0.883	-0.667	26
0.760	0.385	-0.844	-0.643	25
0.734	0.374	-0.806	-0.618	24
0.706	0.362	-0.767	-0.600	23
0.678	0.349	-0.726	-0.582	22
0.650	0.336	-0.687	-0.565	21
0.621	0.322	-0.646	-0.547	20
0.591	0.308	-0.619	-0.528	19
0.560	0.293	-0.591	-0.508	18
0.530	0.278	-0.561	-0.486	17
0.499	0.262	-0.530	-0.463	16
0.469	0.245	-0.497	-0.438	15
0.438	0.227	-0.462	-0.412	14
0.406	0.209	-0.426	-0.384	13
0.373	0.191	-0.392	-0.355	12
0.338	0.172	-0.359	-0.324	11
0.303	0.153	-0.324	-0.292	10
0.267	0.134	-0.288	-0.258	9
0.231	0.115	-0.252	-0.224	8
0.194	0.096	-0.214	-0.189	7
0.159	0.078	-0.176	-0.154	6
0.124	0.060	-0.138	-0.120	5
0.091	0.044	-0.102	-0.088	4
0.060	0.029	-0.068	-0.058	3
0.034	0.016	-0.038	-0.032	2
0.013	0.006	-0.015	-0.012	1

Tabla A.III.1.2.4

### III.2. Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo

- Deriva

0.8		
Deriva Máx		
X	Y	Piso
0.0020	0.0032	40
0.0025	0.0033	39
0.0031	0.0035	38
0.0036	0.0037	37
0.0041	0.0040	36
0.0046	0.0044	35
0.0046	0.0048	34
0.0050	0.0052	33
0.0053	0.0057	32
0.0052	0.0060	31
0.0056	0.0064	30
0.0061	0.0069	29
0.0061	0.0069	28
0.0063	0.0071	27
0.0065	0.0072	26
0.0063	0.0070	25
0.0063	0.0070	24
0.0062	0.0069	23
0.0058	0.0066	22
0.0056	0.0065	21
0.0054	0.0064	20
0.0051	0.0062	19
0.0049	0.0061	18
0.0048	0.0060	17
0.0047	0.0060	16
0.0047	0.0060	15
0.0048	0.0060	14
0.0050	0.0062	13
0.0054	0.0064	12
0.0059	0.0067	11
0.0064	0.0070	10
0.0071	0.0073	9
0.0078	0.0076	8
0.0085	0.0079	7
0.0090	0.0081	6
0.0093	0.0082	5
0.0091	0.0080	4
0.0085	0.0073	3
0.0073	0.0062	2
0.0048	0.0038	1

Tabla A.III.2.1

- Corte entrepisos

	Máx +	Mín -	Máx +	Mín -
	VX		VY	
piso	tonf		tonf	
40	86.28	-133.63	36.84	-88.15
39	173.22	-260.67	80.64	-169.25
38	249.00	-357.30	130.12	-229.74
37	327.27	-414.29	186.90	-264.25
36	421.70	-449.50	251.52	-269.56
35	525.13	-534.50	323.40	-245.01
34	634.05	-615.01	416.45	-299.37
33	761.16	-689.95	530.66	-377.09
32	958.52	-757.26	647.51	-462.96
31	1152.93	-815.47	760.88	-556.60
30	1333.93	-896.99	879.39	-659.13
29	1494.16	-1016.64	989.82	-752.50
28	1626.31	-1117.09	1088.09	-831.82
27	1719.55	-1196.16	1162.87	-894.67
26	1767.98	-1251.97	1219.33	-938.57
25	1769.73	-1289.91	1246.31	-965.48
24	1730.78	-1303.92	1245.10	-974.20
23	1681.17	-1294.68	1222.59	-970.87
22	1591.71	-1264.13	1182.02	-958.20
21	1472.88	-1217.66	1125.22	-944.16
20	1337.50	-1191.75	1062.25	-926.62
19	1202.06	-1169.58	1003.24	-908.42
18	1730.78	-1303.92	1245.10	-974.20
17	1681.17	-1294.68	1222.59	-970.87
16	1591.71	-1264.13	1182.02	-958.20
15	1472.88	-1217.66	1125.22	-944.16
14	1337.50	-1191.75	1062.25	-926.62
13	1202.06	-1169.58	1003.24	-908.42
12	1076.29	-1143.32	960.94	-893.51
11	1337.50	-1191.75	1062.25	-926.62
10	1202.06	-1169.58	1003.24	-908.42
9	1076.29	-1143.32	960.94	-893.51
8	934.28	-1073.41	946.59	-889.90
7	1002.23	-1018.81	1034.82	-944.88
6	1367.06	-1196.19	1253.43	-1075.77
5	2043.88	-1571.93	1612.15	-1289.15
4	3013.58	-2100.32	2095.91	-1584.85
3	4199.34	-2728.74	2749.03	-1999.06
2	5469.69	-3410.35	3637.68	-2502.32
1	6730.92	-4101.68	4509.79	-3000.44

Tabla A.III.2.2

- Aceleraciones

Piso	UX (m/sec <sup>2</sup> )		UY (m/sec <sup>2</sup> )	
	Máx+	Máx-	Máx+	Máx-
40	2.19	-2.00	1.50	-0.99
39	2.10	-1.91	1.44	-0.96
38	1.98	-1.76	1.36	-0.92
37	1.82	-1.57	1.26	-0.87
36	1.66	-1.37	1.14	-0.83
35	1.49	-1.18	1.09	-0.83
34	1.49	-1.15	1.06	-0.83
33	1.49	-1.15	1.03	-0.83
32	1.46	-1.14	1.05	-0.83
31	1.53	-1.14	1.05	-0.83
30	1.59	-1.13	1.03	-0.82
29	1.61	-1.11	1.01	-0.79
28	1.59	-1.06	1.01	-0.77
27	1.54	-1.00	1.00	-0.73
26	1.56	-0.97	0.95	-0.72
25	1.57	-1.01	0.95	-0.74
24	1.55	-1.08	0.98	-0.76
23	1.52	-1.14	1.02	-0.78
22	1.52	-1.19	1.05	-0.78
21	1.50	-1.22	1.07	-0.78
20	1.47	-1.23	1.07	-0.76
19	1.49	-1.22	1.05	-0.72
18	1.51	-1.19	1.02	-0.68
17	1.52	-1.14	0.99	-0.62
16	1.50	-1.09	0.96	-0.55
15	1.46	-1.04	0.95	-0.52
14	1.41	-0.99	0.92	-0.52
13	1.40	-1.08	0.93	-0.56
12	1.45	-1.15	1.04	-0.63
11	1.50	-1.24	1.13	-0.70
10	1.53	-1.30	1.19	-0.73
9	1.61	-1.32	1.21	-0.75
8	1.67	-1.30	1.20	-0.73
7	1.68	-1.23	1.13	-0.68
6	1.65	-1.11	1.02	-0.59
5	1.56	-1.07	0.98	-0.55
4	1.43	-1.01	0.96	-0.52
3	1.35	-0.98	0.99	-0.52
2	1.60	-1.13	1.19	-0.55
1	1.83	-1.27	1.39	-0.57
Base	2.04	-1.41	1.56	-0.59

Tabla A.III.2.3

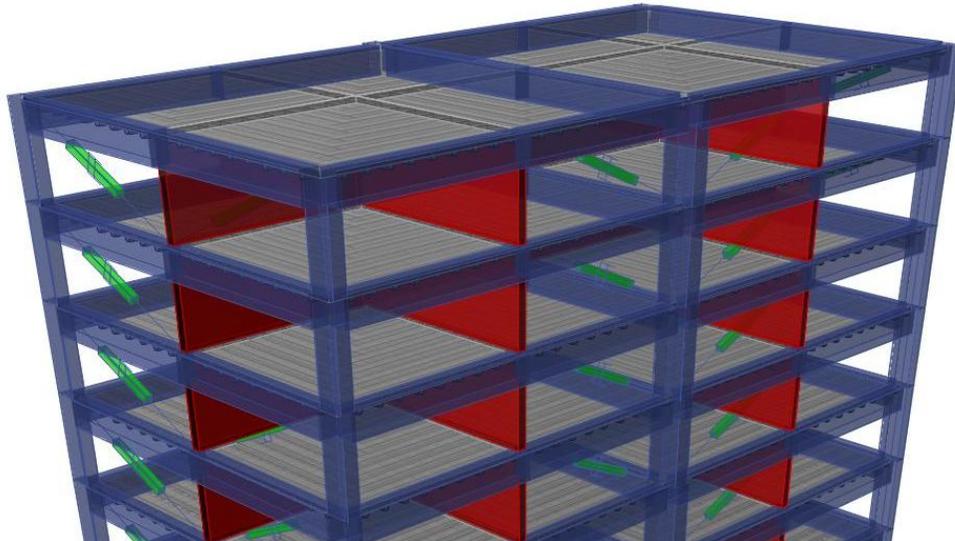
- Desplazamientos

MAXIMOS		MAXIMOS		
UX	UY	UX	UY	
max X	max Y	min X	min Y	piso
1.113	1.129	-1.545	-1.392	40
1.108	1.117	-1.539	-1.380	39
1.102	1.105	-1.537	-1.368	38
1.097	1.093	-1.535	-1.355	37
1.090	1.080	-1.534	-1.342	36
1.083	1.065	-1.531	-1.328	35
1.073	1.049	-1.525	-1.311	34
1.062	1.032	-1.517	-1.293	33
1.049	1.013	-1.505	-1.272	32
1.033	0.991	-1.491	-1.249	31
1.015	0.969	-1.473	-1.224	30
0.995	0.945	-1.450	-1.196	29
0.973	0.919	-1.424	-1.166	28
0.951	0.893	-1.397	-1.136	27
0.928	0.867	-1.368	-1.105	26
0.903	0.840	-1.338	-1.074	25
0.880	0.814	-1.308	-1.043	24
0.856	0.787	-1.279	-1.013	23
0.833	0.761	-1.250	-0.983	22
0.812	0.737	-1.224	-0.955	21
0.791	0.713	-1.199	-0.927	20
0.771	0.690	-1.176	-0.901	19
0.756	0.667	-1.155	-0.875	18
0.742	0.645	-1.138	-0.850	17
0.727	0.624	-1.123	-0.830	16
0.713	0.606	-1.107	-0.815	15
0.698	0.588	-1.091	-0.800	14
0.683	0.569	-1.073	-0.784	13
0.666	0.550	-1.053	-0.767	12
0.647	0.530	-1.030	-0.747	11
0.626	0.508	-1.002	-0.724	10
0.603	0.484	-0.970	-0.697	9
0.576	0.459	-0.933	-0.667	8
0.547	0.431	-0.890	-0.632	7
0.516	0.402	-0.843	-0.594	6
0.483	0.371	-0.791	-0.553	5
0.449	0.341	-0.737	-0.511	4
0.415	0.311	-0.683	-0.469	3
0.384	0.284	-0.632	-0.430	2
0.357	0.262	-0.590	-0.399	1
0.343	0.250	-0.566	-0.381	Base

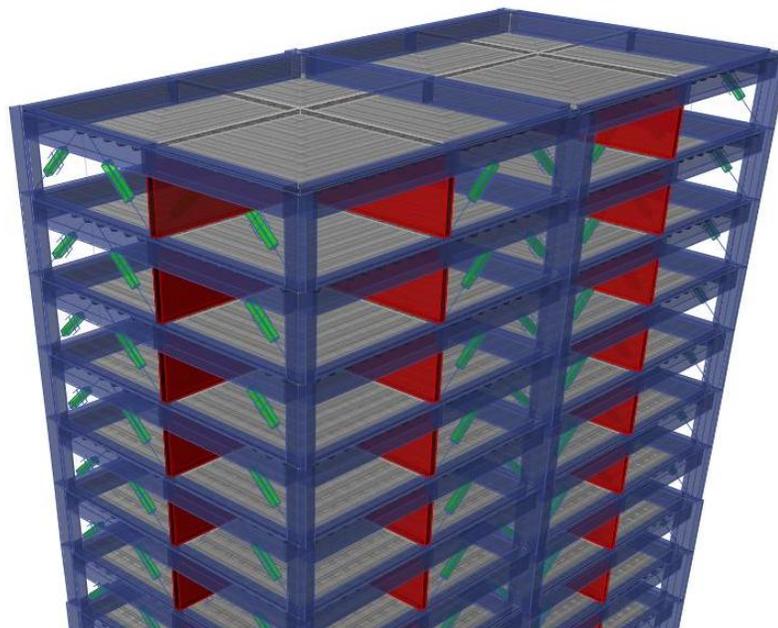
Tabla A.III.2.4

#### IV. Disposición final

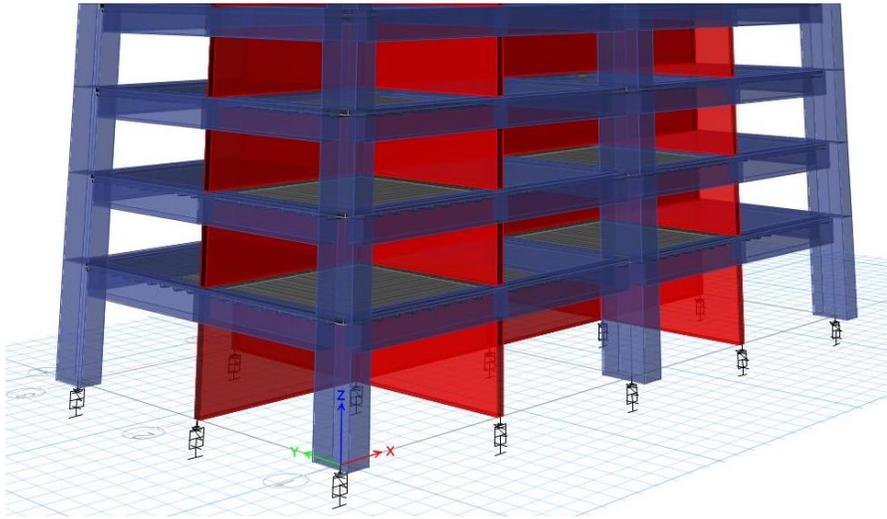
##### IV.1 Disipador tipo Diagonal



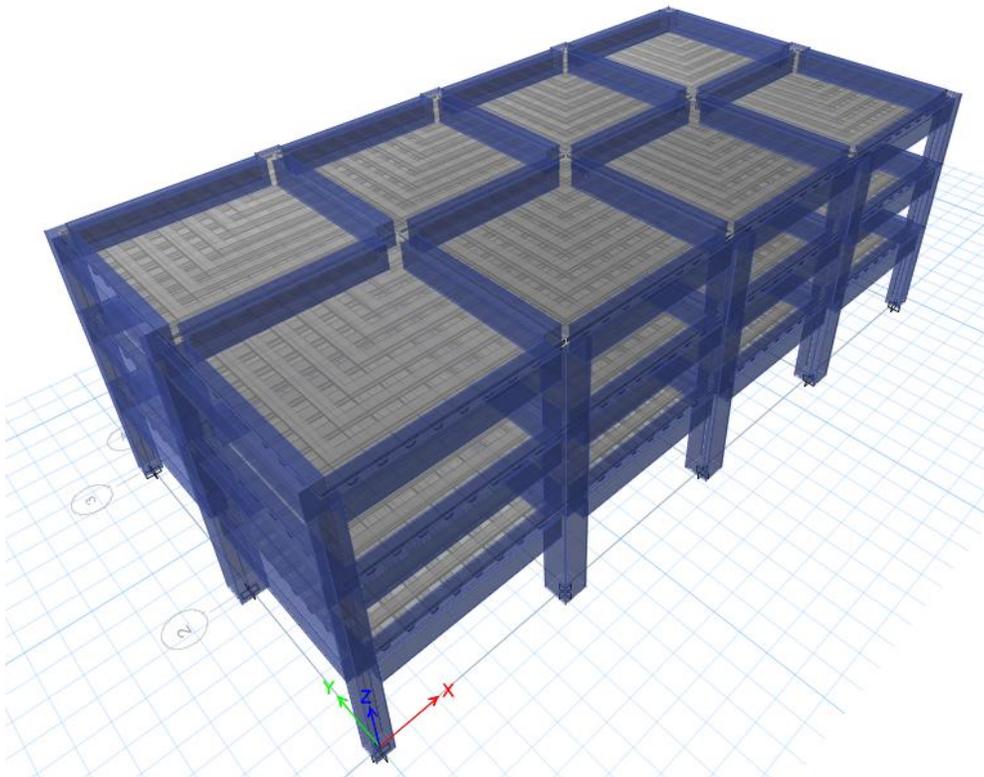
##### IV.2 Disipador tipo Chevron



### IV.3 Aislador



### IV.4 Disposición estructura de 3 pisos



V. Catálogos

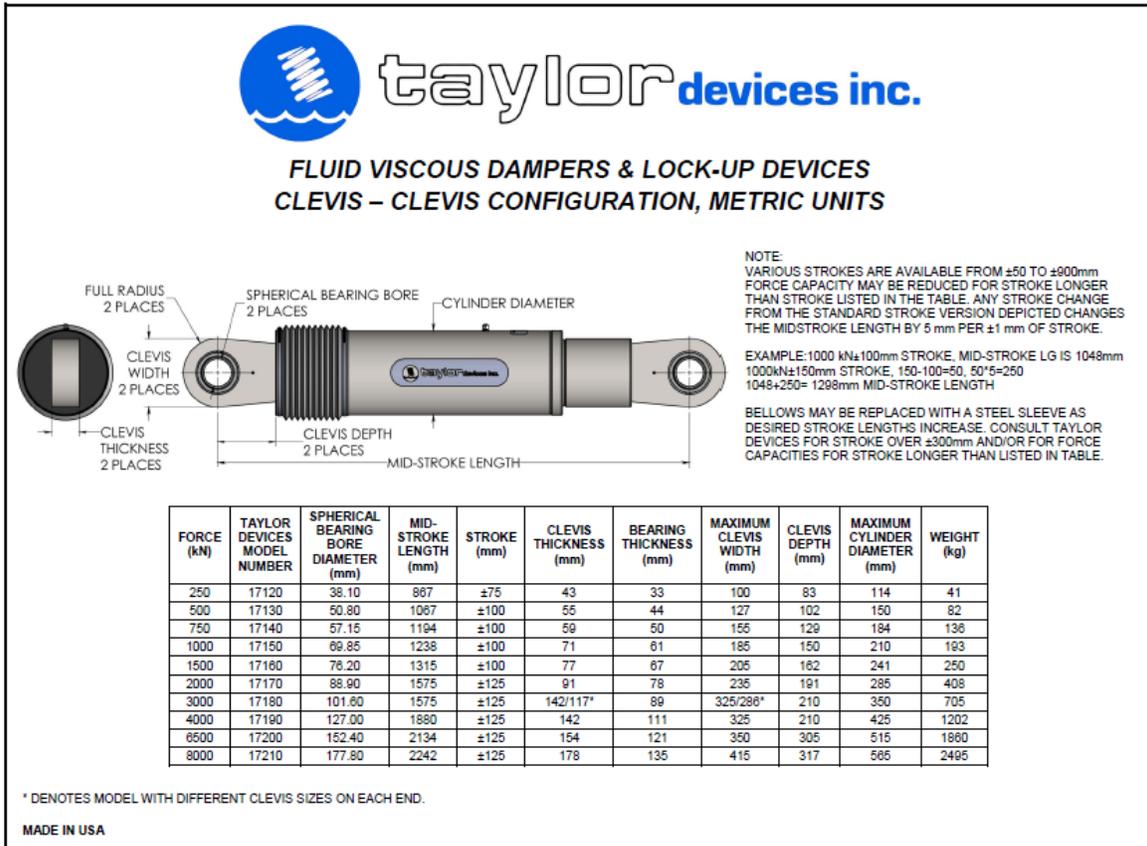


Figura A.V.1 Catálogo del Disipador Fluido Viscoso. Fuente: Taylor Devices Inc.

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, $D_i$ (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo, $D_L$ (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio $\emptyset$ (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

Diámetro Aislador, $D_i$ (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento o Máximo, $D_{max}$ (mm)	Capacidad Carga Axial $P_{max}$ (kN)
	Rigidez Producida, $K_d$ (kN/mm)	Resistencia Características $Q_d$ (kN)	Rigidez a la compresión, $K_v$ (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000

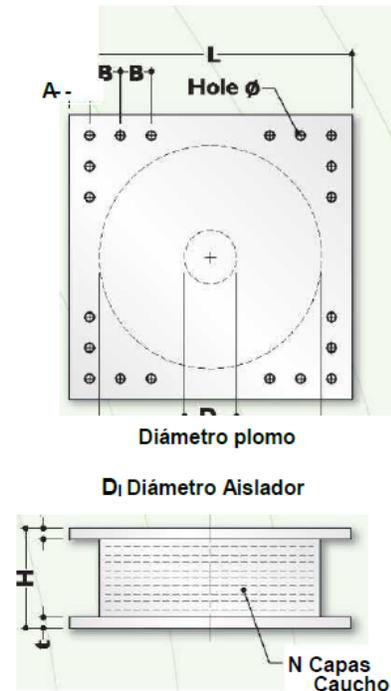


Figura A.V.2 Catálogo del Aislador Núcleo de Plomo. Fuente: Dynamic Isolation Systems.