



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN EDIFICIO DISEÑADO POR MÉTODOS
CONVENCIONALES Y USO DE AMORTIGUADORES FRICCIONANTES Y
VISCOELÁSTICOS.**

Para optar al título de Ingeniero Civil.

Elaborado por

Br. Martín Alonso Gutiérrez Páramo.
Br. Marely Del Carmen Herrera Gutiérrez.
Br. Annie Solangee Hodgson Escobar.

Tutor

Msc. Ing. Yader Andrés Jarquín Montalván.

Managua, Octubre 2016

DEDICATORIA

La siguiente monografía es dedicada a:

Mi Dios, mi Padre celestial quien me lleno de voluntad e inteligencia para cumplir con cada uno de los retos que se nos presentaban y me rodeo de personas maravillosas a lo largo de esta carrera.

A mi papá y mamá

Ana Páramo

Martin Gutiérrez

Que con su amor y esfuerzo siempre han creído y luchado por mí, siempre trataré de dar fe de los padres maravillosos que Dios escogió para mí.

A mis abuelas

Adilia Pérez

Lidia Gutiérrez

Quienes me han mostrado con su amor el lado dulce de la vida y el sentimiento de gratitud al trabajo, al obtener logros con esfuerzo, carácter y humildad.

A mi hermanita

Diana Camila Gutiérrez

Ella que siempre ha estado conmigo con su cariño y apoyo como solo una hermana puede hacerlo.

A la Familia Herrera Gutiérrez, quienes me han demostrado su Fe en mí, su aprecio, cariño y apoyo durante todo este tiempo.

A Marely Herrera por su apoyo y alegría siempre a lo largo de este y otros retos.

A Annie Hodgson y su familia por su amistad y su aliento siempre.

Martin Alonso Gutiérrez Páramo

DEDICATORIA

La presente monografía se la dedico a Dios por darme sabiduría, fuerza para cumplir mis metas y cuidarme siempre en mi camino.

A la Santísima Virgen María por acogerme en sus brazos y darme su protección maternal.

A mis Padres:

Elizabeth del Carmen Gutiérrez Acevedo y Mario Antonio Herrera Velásquez por su inmenso amor y soporte, por ser mi gran inspiración día a día, enseñándome con sus esfuerzos de superación el valor de las cosas. Gracias inmensamente por ser mis padres.

A mi Hermano:

Mario Josué Herrera Gutiérrez por ser cómplice en mis alegrías, por su cariño, y apoyo incondicional todos estos años.

A mis Abuelos:

Ernestina Velásquez por cuidarme desde el cielo, A mi papá Roger Antonio Gutiérrez por brindarme siempre momentos alegres y especialmente a mi mamita María del Rosario Acevedo por darme su amor, cultivarme valores cristianos y enseñarme con sus actitudes el amor al prójimo.

A mis tíos:

Bertha Margarita Gutiérrez Acevedo y Roger Antonio Gutiérrez Acevedo por sus palabras de confianza y contribuciones para lograr mis objetivos.

A Martín Gutiérrez por brindarme muchos momentos felices, acompañarme siempre en los retos y aventuras durante estos años.

A Annie Hodgson mi mejor amiga por compartir todos estos años su cariño y alegría.

Marely del Carmen Herrera Gutiérrez

DEDICATORIA

A Dios mi más grande apoyo y fortaleza, que me ha bendecido desde siempre y me dio fortaleza y espíritu de lucha para terminar mi carrera.

*A mi madre **Darcy Escobar**, este logro es tan suyo como mío y es un reconocimiento a su sacrificio y esfuerzo, es quien me acompaña en las tristezas, dificultades, alegrías y desafíos. Para ella con todo mi amor, estoy muy agradecida y orgullosa de ti.*

*A mi padre **Edgar Hodgson** y mi hermana **Virna Hodgson** por su gran amor y apoyo desde la distancia, son parte de mi soporte y les agradezco por brindarme siempre su cariño y acompañarme durante todos estos años.*

A mis abuelos, ellos que siempre me enseñaron a mejorar en la vida y por darme mucho cariño.

A mis dos mejores amigos que son mis compañeros de tesis no pude haber elegido mejores personas para culminar esta etapa de mi vida, por su amistad durante todo este tiempo, sé que seremos mejores amigos por siempre.

A los padres de mis dos amigos por darnos ánimos, apoyo y paciencia a los tres durante todo el transcurso de la tesis, fueron el motor para seguir adelante y triunfar.

A mis hermanos de la iglesia por mantenerme en sus oraciones, bendiciéndome y brindándome su hermosa amistad.

Annie Solangee Hodgson Escobar

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría e inteligencia para finalizar la tesis.

A nuestros padres por su gran amor, paciencia y apoyo incondicional.

A nuestro gran amigo el Ing. Dany Hernández por haber compartido sus conocimientos que fueron de gran ayuda. Por su tiempo, dedicación, apoyo y aliento que nos sirvieron para seguir adelante con el desarrollo de la tesis.

Al Ph. Dr. Genner Villareal Castro, primero por el aporte de sus valiosos conocimientos así como al apoyo desinteresado y generoso a lo largo de la elaboración de la tesis.

Al Msc. Ing. Sergio Obregón, por su disposición y aporte para la realización de esta monografía.

A nuestro Maestro y Tutor M.Sc. Ing. Yader Jarquín Montalván, por acompañarnos en la realización de la Tesis y por motivarnos a elegir temas innovadores.

RESUMEN

El diseño sismorresistente convencional se basa en aumentar la rigidez y resistencia de la estructura mediante sistemas alternativos (marcos concéntricos, marcos excéntricos, barras de pandeo restringido, marcos especiales de momento, etc.), a pesar de que estos sistemas son eficientes presentan la desventaja de incrementar los costos de construcción y rehabilitación de un edificio debido a que aumentan las dimensiones de estos elementos y se requerirá el reemplazo de los elementos principales de la estructura (vigas y columnas) debido al daño por la acción de un sismo de gran magnitud. La implementación de disipadores de energía permite que el daño provocado por un sismo severo se concentre en dispositivos fácilmente reemplazables que protegen la vida de sus ocupantes. En esta tesis se analizan dos disipadores pasivos de energía: amortiguadores viscoelásticos y disipadores friccionantes, estos dispositivos fueron escogidos porque presentan un comportamiento estable y constante, además de que los materiales con los que son fabricados pueden encontrarse en nuestro país. Las ventajas de la colocación de estos dispositivos es que disminuyen los costos de construcción porque reducen las secciones de los elementos principales y aumentan el amortiguamiento de la estructura. Estos dispositivos fueron analizados mediante el análisis no lineal rápido (FNA) en el programa ETABS V 15.1.0, en el cual se inserta acelerogramas de sismos reales, así mismo los disipadores se modelaron en la ubicación existente de los arriostres del edificio para no cambiar sus características y demostrar que es viable rehabilitarlo con estos dispositivos. Se realizaron comparaciones con los resultados de análisis de cada disipador y el edificio sin disipadores, se comprobó que los desplazamientos, derivas y las fuerzas cortantes disminuyen significativamente; esto prueba que los disipadores son una técnica moderna y avanzada para construcciones sismorresistentes aplicable a nuestro país.

ÍNDICE

CONTENIDO	Página
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE IMÁGENES	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	4
CAPITULO I: SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	5
1.1. Disipación de energía y sistemas de protección sísmica	6
1.2. Balance de energía de un sistema disipativo.....	6
1.3. Clasificación de los sistemas de protección sísmica	7
1.4. Sistemas pasivos	9
1.4.1. Configuración de los sistemas pasivos.	9
1.4.2. Clasificación de sistemas pasivos de protección de energía	10
1.4.3. Ventajas y desventajas de los disipadores pasivos de energía	12
CAPITULO II: ANÁLISIS POR MÉTODO CONVENCIONAL	13
2.1. Estudio de la estructura convencional.....	14
2.1.1. Desarrollo de acelerogramas.....	14

2.2.	Análisis de la estructura convencional	19
2.2.1.	Descripción de la estructura.....	19
2.2.2.	Descripción de los materiales.....	19
2.2.3.	Cargas consideradas en el modelo	20
2.2.4.	Consideraciones en el modelo de ETABS®	21
2.2.5.	Datos ingresados en el ETABS	24
2.3.	Interpretación de resultados	26
2.3.1.	Datos obtenidos.....	26
CAPITULO III: DISIPADORES FRICCIONANTES		29
3.1.	Componentes básicos de los amortiguadores de fricción.....	30
3.2.	Modelamiento matemático de los amortiguadores de fricción.....	31
3.3.	Metodología de diseño de los disipadores friccionantes	33
3.4.	Ventajas de amortiguadores de fricción en reforzamiento sísmico.....	34
3.5.	Tipos de disipadores friccionantes	35
3.5.1.	Dispositivo Pall.....	35
3.5.2.	Dispositivo SBC (Slotted Bolted Connection)	38
3.5.3.	Dispositivo Sumitomo.....	41
CAPITULO IV: DISIPADORES VISCOELÁSTICOS.....		43
4.1.	Descripción del disipador.....	44
4.2.	Clasificación de los disipadores viscoelásticos	44
4.2.1.	Sistemas viscoelásticos sólidos.....	44
4.2.2.	Fluidos viscoelásticos.....	45
4.3.	Tipo de disipadores viscoelásticos.....	46
4.3.1.	Amortiguador viscoelástico 3M.....	46

4.3.2.	SAVE.....	47
4.3.3.	VSAVE.....	48
4.4.	Comportamiento de un disipador viscoelástico	48
4.4.1.	Comportamiento de material viscoelástico sujeto a fuerza sinusoidal	49
4.4.2.	Comportamiento de disipador viscoelástico sujeto a fuerza sinusoidal.....	50
4.5.	Consideraciones de diseño estructural con disipadores viscoelásticos	51
CAPITULO V: ANÁLISIS CON DISIPADORES FRICCIONANTES		55
5.1.	Metodología de análisis	56
5.2.	Ubicación de los disipadores	56
5.3.	Calculo de disipadores	59
5.3.1.	Ala Norte y Sur	59
5.3.2.	Escalera	60
5.3.3.	Número de disipadores	60
5.4.	Datos introducidos en el programa	61
CAPITULO VI: ANÁLISIS CON DISIPADORES VISCOELÁSTICOS		64
6.1.	Metodología de análisis	65
6.2.	Ubicación de disipadores.....	65
6.3.	Cálculo de disipadores	65
6.3.1.	Ala Norte y Sur	65
6.3.2.	Escalera	69
6.4.	Datos introducidos en el programa	72
CAPITULO VII: TABLA DE RESULTADOS.....		75
7.1.	Ala Norte Y Sur	76
7.1.1.	Periodos y frecuencias.....	76

7.1.2.	Desplazamientos y derivas	77
7.1.3.	Fuerzas internas de columnas y vigas de primer piso	77
7.1.4.	Fuerzas internas por piso	78
7.1.5.	Fuerzas axiales y deformaciones máximas de los disipadores.....	79
7.2.	Escalera	79
7.2.1.	Periodo y frecuencias	79
7.2.2.	Desplazamientos y derivas	80
7.2.3.	Fuerzas internas de columnas y vigas de primer piso	81
7.2.4.	Fuerzas internas por piso	82
7.2.5.	Fuerzas axiales y deformaciones máximas de los disipadores.....	82
CAPITULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO		83
8.1.	Comparación Disipadores Viscoelásticos vs Edificio sin Disipadores	84
8.2.	Comparación Disipadores Friccionantes vs Edificio sin Disipadores	86
8.3.	Análisis de gráficas.....	88
8.3.1.	Ala Norte y Sur.....	88
8.3.2.	Escalera.....	92
8.4.	Distribución de energía.....	96
8.4.1.	Ala Norte y Sur.....	96
8.4.2.	Escalera.....	99
8.5.	Desplazamientos laterales y colindancias	103
8.5.1.	Revisión de desplazamientos laterales.....	103
8.5.2.	Revisión de colindancia	105
CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		106
9.1.	Conclusiones	107

9.2. Recomendaciones.....	110
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS.....	i

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPITULO I: SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

Figura 1. 1 Gráfica de energía de un edificio (a) Edificio sin disipadores (b) Edificio con disipadores	7
Figura 1. 2 Clasificación de los sistemas de protección sísmica.....	8
Figura 1. 3 Configuraciones típicas para la instalación de los disipadores.....	9

CAPITULO II: ANÁLISIS POR MÉTODO CONVENCIONAL

Figura 2. 1 AcelSin® - Inicio de Programa	14
Figura 2.2 Espectro de Respuesta de Aceleraciones-Sismo 5.6.....	15
Figura 2. 3 Espectro de Respuesta de Aceleraciones-Sismo 6.2	15
Figura 2. 4 Espectro de Respuesta de Aceleraciones-Sismo 6.5	15
Figura 2. 5 Ingreso de Espectro de Respuesta en el AcelSin®	16
Figura 2. 6 Acelerograma horizontal terremoto Managua 1972 - Identificación de función Intensidad	16
Figura 2. 7 Ingreso de Función Intensidad en el AcelSin®	17
Figura 2. 8 Proceso iterativo para obtención de acelerogramas sintéticos	17
Figura 2. 9 Acelerograma Sintético - Sismo 5.6	18
Figura 2. 10 Acelerograma Sintético - Sismo 6.2	18
Figura 2. 11 Acelerograma Sintético - Sismo 6.5	18
Figura 2. 12 Modelo 3D Ala Norte y Sur	22
Figura 2. 13 Modelo 3D Escalera Central.....	23
Figura 2. 14 Definición de función de acelerogramas	24
Figura 2. 15 Acelerogramas introducidos para realizar el Análisis Time-History	24
Figura 2. 16 Propiedades para introducir archivo de acelerogramas	24
Figura 2. 17 Casos de carga introducidos en el ETABS®	25
Figura 2. 18 Propiedades de los casos de carga	25

CAPITULO III: DISIPADORES FRICCIONANTES

Figura 3. 1 Ciclos histeréticos elasto-plásticos típicos de amortiguadores de fricción	30
Figura 3. 2 Gráfico de relación fuerza-desplazamiento de una prueba de un amortiguador de fricción AF: 30 ciclos, 0.1 HZ sin impacto de perno	31
Figura 3. 3 Lazos histeréticos de superficies limitadas por uniones empernadas	33

Figura 3. 4 Coeficiente de amortiguamiento equivalente y rigidez	33
Figura 3. 5 Esquema de dispositivo PALL.....	36
Figura 3. 6 Superficies de fricción del dispositivo PALL	36
Figura 3. 7 Esquema de trabajo del dispositivo PALL	37
Figura 3. 8 Disipador friccionante SBC.....	38
Figura 3. 9 Vista perfil de una conexión SBC en un edificio de acero	39
Figura 3. 10 Curvas de histéresis de dispositivo SBC	40
Figura 3. 11 Corte longitudinal y transversal del dispositivo Sumitomo.....	42
Figura 3. 12 Partes de un dispositivo Sumitomo	42

CAPITULO IV: DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

Figura 4. 1 Vista isométrica, planta y elevación del amortiguador viscoelástico 3M.	44
Figura 4. 2 Componentes e instalación típica de un disipador viscoelástico en un marco arriostrado .	45
Figura 4. 3 Disipador de fluido viscoelástico	45
Figura 4. 4 Forma de instalación de disipadores viscoelásticos.....	46
Figura 4. 5 Esquema del disipador SAVE	47
Figura 4. 6 Descripción de la distorsión del dispositivo V-SAVE ubicado por debajo de la viga	48
Figura 4. 7 Modelo físico idealizado de un disipador VE	48
Figura 4. 8 Esfuerzo y deformación debido a una carga sinusoidal (Soong & Dargush, 1997)	49
Figura 4. 9 Diagrama esfuerzo vs deformación para un material viscoelástico	50
Figura 4. 10 Variación aproximada del Módulo de almacenamiento de cortante G' con respecto a la frecuencia y la temperatura ambiente. Soong & Dargush (1997), Villaverde (2009).....	52
Figura 4. 11 Variación aproximada del Módulo de pérdida de cortante G'' con respecto a la frecuencia y la temperatura ambiente. Soong & Dargush (1997), Villaverde (2009)	53
Figura 4. 12 Diagrama de flujo del proceso de diseño estructural con disipadores VE (Soon & Dargush, 1997)	54

CAPITULO V: ANÁLISIS CON DISIPADORES FRICCIONANTES

Figura 5. 1 Ubicación de los Disipadores - Escalera	57
Figura 5. 2 Ubicación de los disipadores - AN y AS	58
Figura 5. 3 Definición de disipadores en ETABS®	61
Figura 5. 4 Disipadores friccionantes de AN y AS introducidos en el ETABS®	62

Figura 5. 5 Propiedades del disipador friccionante DF5 del AN y AS introducidos en el ETABS®	62
Figura 5. 6 Disipadores friccionantes de Escalera introducidos en el ETABS®	63
Figura 5. 7 Propiedades del disipador friccionante DF1 (4) de la Escalera introducidos en el ETABS®	63

CAPITULO VI: ANÁLISIS CON DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

Figura 6. 1 Módulo de almacenamiento según frecuencia y temperatura promedio – AN y AS	65
Figura 6. 2 Módulo de pérdida de cortante según frecuencia y temperatura promedio – AN y AS	66
Figura 6. 3 Módulo de Almacenamiento según frecuencia y temperatura promedio - Escalera.....	69
Figura 6. 4 Módulo de pérdida de cortante según frecuencia y temperatura promedio - Escalera	69
Figura 6. 5 Definición de Disipadores en ETABS®	73
Figura 6. 6 Disipadores viscoelásticos de AN y AS introducidos en el ETABS®	73
Figura 6. 7 Propiedades del disipador viscoelásticos DV1 del AN y AS introducidos en el ETABS®	74
Figura 6. 8 Disipadores viscoelásticos de la Escalera introducidos en el ETABS®	74
Figura 6. 9 Propiedades del disipador viscoelástico DVE1 de la Escalera introducidos en el ETABS®	74

CAPITULO VII: TABLA DE RESULTADOS

No se presentaron figuras en este capítulo

CAPITULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO

Figura 8. 1 Comparación de Periodos AN y AS	88
Figura 8. 2 Comparación de frecuencias AN y AS	88
Figura 8. 3 Comparación de desplazamientos X - Sismo 6.2 por piso AN y AS	89
Figura 8. 4 Comparación de derivas X - Sismo 6.2 por piso AN y AS.....	90
Figura 8. 5 Comparación de cortantes máximos - Sismo 6.2 por piso AN y AS.....	90
Figura 8. 6 Comparación de Momento Flector Máximo - Sismo 6.2 por piso AN y AS	91
Figura 8. 7 Comparación de Momento Torsor - Sismo 6.2 por piso AN y AS	91
Figura 8. 8 Comparación de Periodos-Escalera	92
Figura 8. 9 Comparación de frecuencias-Escalera	92
Figura 8. 10 Comparación de desplazamientos X- Sismo 6.2 por piso Escalera.....	93
Figura 8. 11 Comparación de derivas - X Sismo 6.2 por piso Escalera	94
Figura 8. 12 Comparación de cortantes máximos - Sismo 6.2 por piso Escalera	94
Figura 8. 13 Comparación de Momento Flector Máximos - Sismo 6.2 por piso Escalera	95

Figura 8. 14 Comparación de Momento Torsor - Sismo 6.2 por piso Escalera	95
Figura 8. 15 Sismo 6.2 Distribución de energía estructura convencional AN y AS.....	96
Figura 8. 16 Sismo 6.2 Distribución de energía disipadores V.E. AN y AS.....	97
Figura 8. 17 Histéresis Disipador Viscoelástico Sismo 6.2 –Disipador K 33 AN y AS	97
Figura 8. 18 Sismo 6.2 Distribución de energía disipadores D.F. AN y AS.....	98
Figura 8. 19 Histéresis Disipador Friccionante Sismo 6.2 –Disipador K 51 AN y AS	99
Figura 8. 20 Sismo 6.2 Distribución de energía estructura convencional-Escalera Central	99
Figura 8. 21 Sismo 6.2 Distribución de energía disipadores V.E. Escalera	100
Figura 8. 22Histéresis Disipador Viscoelástico Sismo 6.2 –Disipador K 33 Escalera	101
Figura 8. 23 Sismo 6.2 Distribución de Energía Disipadores D.F. AN y AS	101
Figura 8. 24 Histéresis Disipador Friccionante Sismo 6.2 –Disipador K 5 Escalera Sismo 6.2 – Disipador K 5.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I: SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

Tabla 1. 1 Sistemas de Control Pasivo.....	10
Tabla 1. 2 Ventajas y desventajas de los disipadores pasivos por absorción de energía.....	12

CAPITULO II: ANÁLISIS POR MÉTODO CONVENCIONAL

Tabla 2. 1 Cargas consideradas en el modelo.....	20
Tabla 2. 2 Distribución de cargas usadas en los modelos.....	21
Tabla 2. 3 Datos del edificio - AN y AS.....	26
Tabla 2. 4 Rigidez de los arriostres – AN y AS.....	27
Tabla 2. 5 Datos del edificio- Escalera.....	27
Tabla 2. 6 Rigidez de los arriostres - Escalera.....	28

CAPITULO V: ANÁLISIS CON DISIPADORES FRICCIONANTE

Tabla 5. 1 Rigidez de los disipadores – AN y AS.....	59
Tabla 5. 2 Fuerza de deslizamiento en los disipadores – AN y S.....	59
Tabla 5. 3 Rigidez de los disipadores - Escalera.....	60
Tabla 5. 4 Fuerza de deslizamiento en los disipadores - Escalera.....	60
Tabla 5. 5 Número de disipadores.....	60

CAPITULO VI: ANÁLISIS CON DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

Tabla 6. 1 Rigidez del arriostre con disipador- AN y AS.....	67
Tabla 6. 2 Dimensiones de material viscoelástico - AN y AS.....	67
Tabla 6. 3 Área del disipador - AN y AS.....	67
Tabla 6. 4 Coeficiente de amortiguamiento – AN y AS.....	68
Tabla 6. 5 Rigidez de los disipadores en dirección X - AN y AS.....	68
Tabla 6. 6 Coeficiente de amortiguamiento de los disipadores en la dirección X- AN y AS.....	68
Tabla 6. 7 Rigidez del arriostre con disipador- Escalera.....	70
Tabla 6. 8 Dimensiones de material viscoelástico - Escalera.....	70
Tabla 6. 9 Área del disipador - Escalera.....	71
Tabla 6. 10 Coeficiente de amortiguamiento – Escalera.....	71

Tabla 6. 11 Rigidez de los Disipadores en Dirección X - Escalera	71
Tabla 6. 12 Coeficiente de amortiguamiento de los disipadores en la dirección X- Escalera	72

CAPITULO VII: TABLA DE RESULTADOS

Tabla 7. 1 Periodos y frecuencias – AN y AS	76
Tabla 7. 2 Desplazamientos y Derivas - AN y AS	77
Tabla 7. 3 Fuerzas internas máximas de columnas del primer piso - AN y AS	77
Tabla 7. 4 Fuerzas internas máximas de vigas del primer piso- AN y AS	78
Tabla 7. 5 Fuerzas internas máximas por piso – AN y AS.....	78
Tabla 7. 6 Fuerzas axiales máximas y deformaciones máximas de los disipadores – AN y AS.....	79
Tabla 7. 7 Periodos y Frecuencias - Escalera.....	79
Tabla 7. 8 Desplazamientos y Derivas - Escalera	80
Tabla 7. 9 Fuerzas internas máximas de columnas del primer piso - Escalera.....	81
Tabla 7. 10 Fuerzas internas máximas de vigas del primer piso - Escalera	81
Tabla 7. 11 Fuerzas internas máximas por piso - Escalera.....	82
Tabla 7. 12 Fuerzas axiales máximas y deformaciones máximas de los disipadores - Escalera.....	82

CAPITULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO

Tabla 8. 1 Reducción porcentual disipadores viscoelásticos vs TH sin disipadores	84
Tabla 8. 2 Reducción porcentual disipadores friccionantes vs TH sin disipadores	86
Tabla 8. 3 Revisión de estado límite de servicio y colapso - AN y AS.....	103
Tabla 8. 4 Revisión de estado límite de servicio y colapso - Escalera	104
Tabla 8. 5 Colindancia y separación permisible entre edificios – Sismo 6.2	105

ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS

• Abreviaturas

W	Peso
F_t	Fuerza friccional
F_n	Fuerza normal
K_d	Rigidez del disipador
K_e	Rigidez de la estructura sin disipadores
m	Masa
g	gravedad (9.81 m/s ²)
T_1	Período fundamental de la estructura
L	Longitud
h	Altura
T	Período
N máx.	Fuerza axial máxima
V máx.	Fuerza cortante máxima
M máx.	Momento flector máximo
M t máx.	Momento torsor máximo

• Símbolos

μ	Coeficiente de fricción
f	Frecuencia
μ_s	Coeficiente estático de fricción
μ_k	Coeficiente cinético de fricción
ω_n	Frecuencia natural
π	Parámetro adimensional
c	Amortiguamiento viscoso lineal
ω	Frecuencia angular
ζ	Factor de amortiguamiento adicional

c'	Factor de amortiguamiento crítico
ζ'	Amortiguamiento total objetivo
Δ	Delta (diferencia)
θ	Teta (ángulo)
η	Factor de pérdida del disipador VE
G'	Módulo de almacenamiento de cortante
G''	Módulo de pérdida de cortante

- **Acrónimos**

ETABS	Extended 3D Analysis of Buildings Systems
FNA	Fast Nonlinear Analysis (Análisis rápido no lineal)
SBC	Slotted Bolted Connection
RNC	Reglamento Nacional de Construcción
CV	Carga viva
CM	Carga muerta
CVR	Carga viva reducida
AN	Ala Norte
AS	Ala Sur
VE	Viscoelástico
GDL	Grado de libertad
TH SD	Tiempo-historia sin disipadores
DV	Disipadores viscoelásticos
DF	Disipadores friccionantes
TH	Tiempo-Historia
FEMA	Federal Emergency Management Agency
ADAS	Adding Damping and Stiffness
TADAS	Triangular Added Damping and Stiffness

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el diseño sismorresistente en el país se ha enfocado en la importancia de la resistencia y la ductilidad en la estructura, sin embargo, al emplear estos métodos la estructura queda expuesta a recibir daños costosamente reparables en sus elementos principales.

El diseño moderno se enfoca en la localización previa de los llamados puntos débiles en donde se disipe energía y fallen en lugares o dispositivos que sean fácilmente reemplazables o reparables. Los disipadores de energía pasivos se pueden considerar como una continuación del diseño sismorresistente moderno, el propósito es tratar que las estructuras tengan un mejor comportamiento sísmico y este dentro del rango lineal, estos disipadores no requieren del empleo de energía externa.

Los amortiguadores friccionantes se caracterizan por tener un comportamiento histerético que se logra a través de la fricción seca entre dos metales mediante esta se logra la disipación de energía.

Los amortiguadores viscoelásticos están formados por planchas metálicas unidas por un material viscoelástico ya sea líquido o sólido, estos materiales generan fuerzas que se oponen al movimiento del elemento, generando la disipación de energía. Este comportamiento tiene la ventaja de plantear procedimientos de diseños simples, similares a los convencionales en el diseño sismorresistente.

Debido a las características estructurales de los amortiguadores friccionantes y viscoelásticos, el presente estudio se realiza para demostrar las ventajas de las técnicas avanzadas sobre las convencionales, y así promover la implementación de nuevos dispositivos que sean más eficientes para la protección de los elementos principales de las estructuras evitando que estos colapsen ahorrando costos y preservando la vida humana.

ANTECEDENTES

La disipación de energía no es una tecnología nueva. Muchos dispositivos han sido desarrollados desde 1970 para alcanzar un mejor comportamiento estructural (Chopra, 2001; Kelly, 2001).

Los amortiguadores friccionantes, en la respuesta de estructuras de edificios fue investigada por Mayes y Mowbray (1975), pero Keightley (1977) fue el primero en considerar dispositivos friccionales para aplicaciones de edificios. Este dispositivo está basado primariamente en la analogía de los frenos de automóviles, Pall continuó con el desarrollo de disipadores friccionales pasivos para mejorar la respuesta sísmica de las estructuras. El objetivo es disminuir el movimiento de los edificios “frenando en vez de quebrando” (Pall y Marsh, 1982). Estos estudios lo continuó con ensayos estáticos y dinámicos mediante el contacto entre dos superficies, para definir cuál de las superficies en estudio presentan un comportamiento consistente y predecible, esto lo obtuvo con las planchas de frenos insertadas entre láminas de acero.

Los disipadores viscoelásticos tienen treinta años aplicados en edificaciones altas ante la acción de cargas debidas a viento. De forma más reciente se ha estudiado su utilización con fines sismorresistentes. La más notable utilización de estos disipadores fue en las torres gemelas en Nueva York en 1969. En estas torres fueron instalados cerca de 10000 amortiguadores, puestos en el perímetro de cada edificio y localizados en la parte inferior del entramado del sistema de piso. El diseño de los dispositivos fue hecho para reducir las vibraciones inducidas por el viento a niveles que fueran imperceptibles para sus ocupantes. A pesar de que su uso en zonas sísmicas es reciente la implementación de estos disipadores han demostrado que mejoran la capacidad de las estructuras para disipar energía.

En Nicaragua no ha sido desarrollada esta técnica avanzada de rehabilitación sísmica debido al poco conocimiento sobre el montaje e instalación de estos dispositivos.

JUSTIFICACIÓN

En Nicaragua la incidencia sísmica en la región del pacifico, donde se encuentra la mayor cantidad de edificaciones y de población la convierte en un foco de riesgo frente a desastres de origen sísmico.

Actualmente el avance en la tecnología y la innovación en el diseño de edificios retan a los ingenieros estructurales, alrededor del mundo a buscar alternativas de mejoras en el diseño estructural y el alargamiento de la vida útil de los edificios, esto promueve la demanda del empleo de nuevos sistemas de protección sísmica estos llamados sistemas no convencionales.

En Nicaragua el poco conocimiento de técnicas y dispositivos modernos sismorresistentes hace que los edificios sean construidos con métodos convencionales, los cuales provocan mayores daños a los elementos principales. Debido a esto se ha elegido presentar los disipadores pasivos de energía. La elección de estos dispositivos se debe a sus características, que aumentan el amortiguamiento y reducen los daños en los elementos principales de las estructuras (vigas y columnas) y posible fabricación local, ofreciendo el alargamiento de vida útil de la estructura y la posible rehabilitación económica de estas.

Los dispositivos seleccionados han sido los amortiguadores viscoelásticos y los friccionantes, este estudio dará una nueva perspectiva sobre los dispositivos disipadores de energía y sembrará un precedente en el estudio de sistemas avanzados de protección sísmica.

OBJETIVOS

❖ **Objetivo General**

Realizar el análisis comparativo de un edificio irregular con técnicas convencionales y técnicas avanzadas sismorresistentes implementando amortiguadores viscoelásticos y friccionantes.

❖ **Objetivos Específicos**

- Entender los procedimientos de análisis de estructuras con disipadores de energía.
- Modelar la estructura utilizando técnicas convencionales y avanzadas (amortiguadores viscoelásticos y friccionantes).
- Efectuar la comparación de los resultados obtenidos en el análisis de los distintos casos de acuerdo al análisis rápido no lineal (FNA) realizados en ETABS v15.1.0
- Determinar el dispositivo con el cual la estructura tiene mejor respuesta estructural.
- Establecer las ventajas del uso de los disipadores analizados frente al sistema convencional de diseño sísmico.

CAPITULO I: SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

1.1. Disipación de energía y sistemas de protección sísmica

La disipación sísmica tiene como función disipar las acumulaciones de energía asegurándose que otros elementos de la estructura no sean sobre exigidos, lo que podría provocar daños severos a la estructura, es decir están basados en la idea de aumentar la capacidad de perder energía de una estructura durante un sismo, reduciendo las deformaciones y los esfuerzos sobre la estructura. Esto se refleja en los periodos, frecuencias y formas de vibración libre de las estructuras.

De este concepto se deriva el principio de los sistemas de protección sísmica, estos consisten en la implementación de dispositivos en la estructuras con el propósito de mejorar su desempeño frente a fenómenos de carácter sísmicos.

1.2. Balance de energía de un sistema disipativo

- **Ecuación de balance de energía**

$$E_I = E_S + E_D$$

- **Energía absoluta de entrada (E_I):** Las estructuras, dependiendo de la cercanía al epicentro del sismo, reciben una parte de esta energía liberada, que se la identifica como energía de entrada (E_I). Villarreal & Oviedo (2008, p. 11) indica que “la energía de entrada representa el trabajo hecho por la fuerza de corte total en la cimentación debido al desplazamiento del terreno y contiene el efecto de las fuerzas de inercia de la estructura”.

$$E_S = E_E + E_K$$

Donde: E_S : Energía almacenada; E_D : Energía disipada y E_E : Energía elástica recuperable.

- **Energía cinética (E_K):** Representa el movimiento de la estructura. La energía cinética y potencial (deformación) debe ser disipada a través del calor.

$$E_D = E_V + E_H$$

E_V : Energía disipada por amortiguamiento viscoso (fuerzas que dependen solo de la velocidad).

E_H : Energía disipada por mecanismo histeréticos (fuerzas que dependen solo de las deformaciones o desplazamientos).

$$\underbrace{E_I}_{\text{DEMANDA}} = \underbrace{E_E + E_K + E_V + E_H}_{\text{CAPACIDAD}}$$

En un buen número de años se ocupó solo el término E_H para disipar la energía de entrada al sistema, pero esto resulta en un daño a los elementos principales de la estructura cuya reparación puede ser muy costosa y también puede dejar la estructura fuera de servicio temporalmente.

Una manera nueva de lograr un diseño sismorresistente óptimo será contrarrestar la energía de entrada al sistema (Demanda) E_I aumentando la energía de amortiguamiento E_V integrando a la estructura dispositivos de disipación de energía con el fin de absorber o consumir una porción importante de la energía sísmica, reduciendo así las demandas de disipación de energía por ductilidad en los miembros estructurales principales y minimizar así su posible daño estructural.

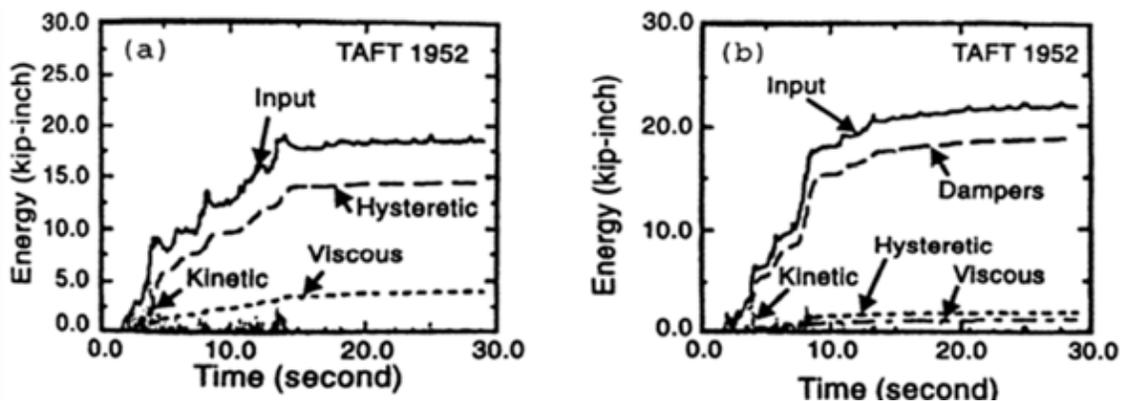


Figura 1. 1 Gráfica de energía de un edificio (a) Edificio sin disipadores (b) Edificio con disipadores

1.3. Clasificación de los sistemas de protección sísmica

Los sistemas de protección sísmica se clasifican en cuatro grupos: sistemas pasivos, sistemas activos, sistemas híbridos y sistemas semi-activo.

- **Sistemas pasivos:** emplean dispositivos bastante simples que reducen la respuesta dinámica por medios totalmente mecánicos estos son elementos de carácter reactivo cuya respuesta no es controlable y depende únicamente de las condiciones de trabajo en que se encuentran. Estos dispositivos sirven

para reducir los costos en el diseño de nuevas estructuras y para la protección sísmica de las estructuras existentes.

- **Sistemas activos:** su funcionamiento requiere fuentes de energía externa para ejercer fuerzas de control sobre el edificio, para su activación requiere de sensores que midan las variables de excitación externa; así mismo estos calculan la fuerza a aplicar por el sistema para contrarrestar los efectos sísmicos.
- **Sistemas híbridos:** Los sistemas híbridos son la combinación de sistemas activos y los sistemas pasivos. El control se consigue a partir de la actuación de un dispositivo pasivo, los sistemas híbridos son más eficientes que los sistemas activos debido a que aunque falle en componente activo, el sistema pasivo sigue ejerciendo funciones de control aunque menos efectiva que el sistema pasivo.
- **Sistemas semi-activos:** Los sistemas semi-activos tienen un esquema de funcionamiento similar a los sistemas activos, diferenciándose de estos en que el control estructural se obtiene a partir de dispositivos de carácter reactivo, cuyas características mecánicas (rigidez o amortiguamiento) son controlables.

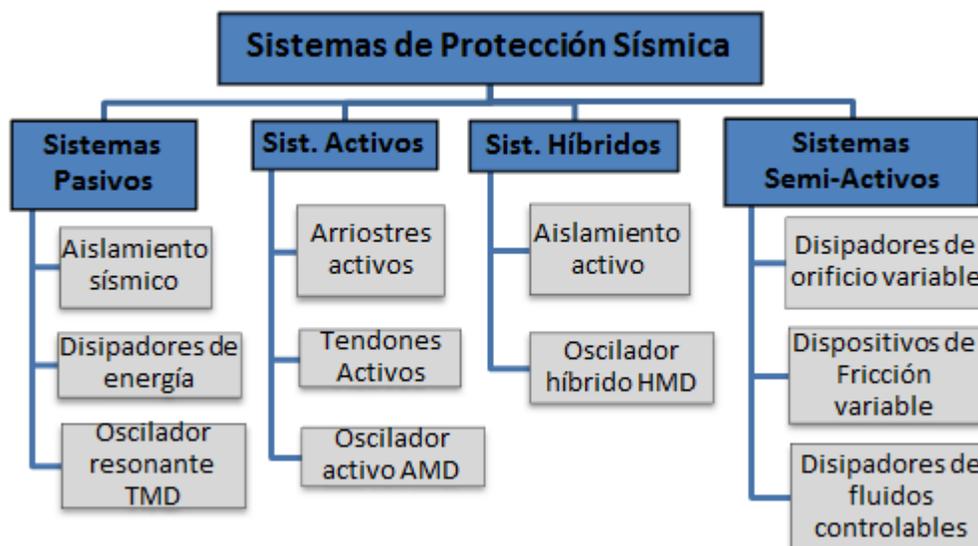


Figura 1. 2 Clasificación de los sistemas de protección sísmica

1.4. Sistemas pasivos

1.4.1. Configuración de los sistemas pasivos.

La configuración de los sistemas pasivos de disipación de energía puede ser de la siguiente manera:

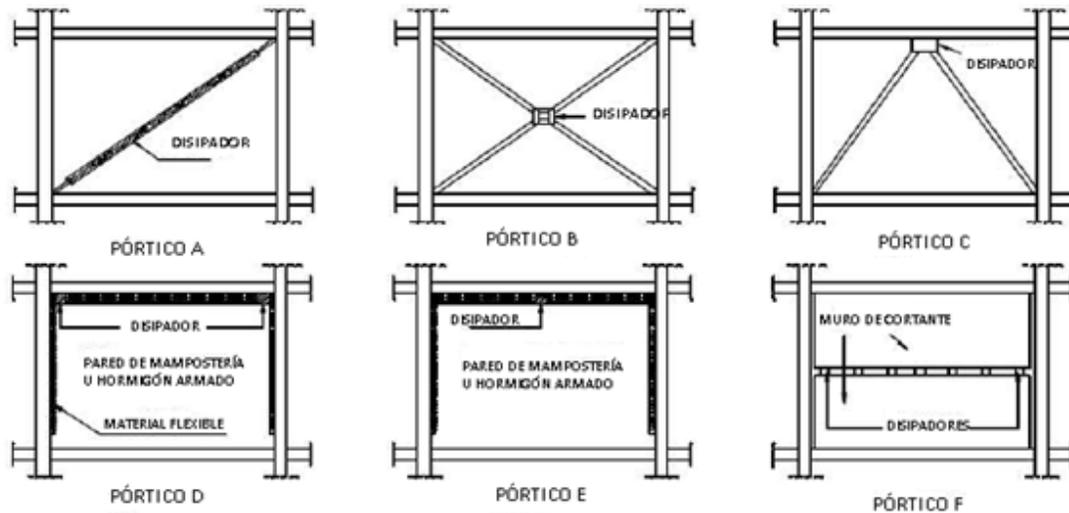


Figura 1.3 Configuraciones típicas para la instalación de los disipadores

En el pórtico A se ha utilizado con los siguientes disipadores: i) disipadores tipos viscoelásticos ii) disipadores con lámina curvada a flexión iii) Sistema DUR y iv) sistemas de fricción.

El pórtico B se emplea básicamente en el dispositivo de fricción Pall y Marsh. Este sistema presenta ventajas respecto al sistema A posee independencia de las cargas verticales y menor inclinación de las barras, lo cual indica menores cargas en las diagonales y menores componentes verticales en los disipadores.

El pórtico C se ha empleado para la sujeción de varios dispositivos como: i) dispositivo ADAS y TADAS, ii) disipadores por plastificación de metales. A pesar de que es fácil de montar presenta desventajas por que produce mayores componentes verticales en los disipadores que pueden afectar las diagonales y disipadores.

Las configuraciones D y E se proponen para la rehabilitación de edificios porticados con particiones de mampostería, reforzándola o partiendo de su capacidad real para su aprovechamiento como elementos estructurales frente a acciones sísmicas.

1.4.2. Clasificación de sistemas pasivos de protección de energía

Los sistemas pasivos de protección sísmica pueden clasificarse en tres grupos los sistemas de absorción de energía, los sistemas inerciales acoplados y sistemas de aislación basal.

Tabla 1. 1 Sistemas de Control Pasivo

SISTEMAS DE CONTROL PASIVO		
1.- Sistemas de Absorción de Energía		
• Mecanismos de Amortiguamiento Histerético:		
Dispositivos Histeréticos	Amortiguador de Panal (Honeycomb) Amortiguador de Junta: - Tipo Bell - Tipo Dumbell - Tipo Hourglass Dispositivo ADAS Amortiguador de Plomo PVD Amortiguador de Extrusión de Plomo	
Dispositivos de Fricción	Dispositivo Pall Dispositivo Sumitomo Dispositivo Dorka	
• Mecanismos de Amortiguamiento Viscoso:		
Amortiguadores Viscosos	Dispositivo HiDAM Amortiguador Viscoso de Taylor TFVD	
Amortiguadores Viscoelásticos	Amortiguador 3M Amortiguador SAVE Amortiguador V-SAVE	
2.- Sistemas de Efecto - Masa		
Amortiguadores de Masa Sintonizada	Tipo de apoyo de goma multiplataforma	Dispositivo S-TMD
	Tipo péndulo multiplataforma	Dispositivo TMD - IHI
	Tipo masa líquida	Dispositivo SSD
3.- Sistemas de Aislación Basal		
Sistemas Elastoméricos	Apoyos de Goma Laminada Apoyos de Goma de Alto Amortiguamiento Apoyos de Goma con Núcleo de Plomo Sistemas Shimizu	
Sistemas Deslizantes	Sistemas de Péndulo de Fricción FPS Sistema TASS	
Otros Sistemas	Sistemas GERB Sistemas de Piso de Aislación Sísmica	

1.4.2.1. Sistemas de Absorción de Energía

Este sistema absorbe la energía sísmica a través de la acción de vibradores, existen dos tipos de mecanismos:

1.4.2.1.1. Mecanismos de Amortiguamiento Histerético

En los mecanismos de amortiguamiento histerético tenemos dos grupos: disipadores histeréticos y disipadores friccionantes. Estos dispositivos dependen del desplazamiento de la estructura. Los dispositivos histeréticos pueden ser por fluencia de metales, corte, extrusión de metales o por flexión. Los dispositivos friccionantes consisten en la deformación relativa entre dos puntos para disipar energía por medio de la fricción. Ambos dispositivos tienen comportamiento estables y de fácil fabricación, instalación y mantenimiento.

1.4.2.1.2. Mecanismos de Amortiguamiento Viscoso

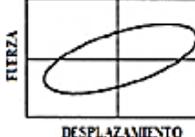
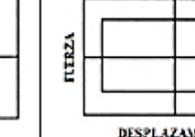
Son sistemas que utilizan la deformación de corte de materiales viscosos o viscoelásticos para proporcionar amortiguamiento a las estructuras. El comportamiento de estos sistemas depende la temperatura y la velocidad de vibración. La temperatura de los materiales viscosos y viscoelásticos se elevan bajo repetidos ciclos de carga, afectando los efectos de amortiguamiento, es por ello que puede ser necesaria la utilización de placas de acero con gran capacidad térmica u otras medidas de resistencia al calor en el dispositivo.

Estos sistemas funcionan para niveles de vibración muy pequeños comparados con los ciclos de histéresis, el efecto de amortiguamiento por unidad de volumen del dispositivo es limitada y por ello, estos amortiguadores son de grandes dimensiones para compensar esta inexactitud.

1.4.3. Ventajas y desventajas de los disipadores pasivos de energía

En la tabla 1.2 se hace un resumen de las ventajas y desventajas de los disipadores pasivos por absorción de energía:

Tabla 1. 2 Ventajas y desventajas de los disipadores pasivos por absorción de energía

	Disipador Fluido Viscoso	Disipador Sólido Viscoelástico	Disipador Metálico o Histerético	Disipador Friccional
Curva Histerética Idealizada				
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Se activa a bajos desplazamientos - Mínima fuerza restitutiva - Para amortiguadores lineales, el modelamiento del disipador es bastante simplificado - Propiedades mecánicas independientes de la frecuencia y la temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> - Se activa a bajos desplazamientos - Proporciona fuerza restitutiva - Comportamiento lineal, lo cual implica un modelamiento simplificado 	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamiento histerético estable - Confiabilidad de largo plazo - Propiedades mecánicas independientes de la frecuencia y la temperatura - Materiales y comportamiento con el cual los ingenieros se encuentran familiarizados 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran disipación de energía por ciclo - Propiedades mecánicas independientes de la frecuencia y la temperatura
Desventaja	<ul style="list-style-type: none"> - Posibles fugas de líquidos en los sellos afectando confiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de deformación limitada - Propiedades mecánicas dependientes de la frecuencia y la temperatura - Posible desunión o desgarramiento de material viscoelástico unido a piezas metálicas afectando confiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Daño en el dispositivo después de terremoto requiere remplazo del mismo - Comportamiento no lineal requiere llevar a cabo análisis no lineal 	<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones de la interfaz de roce pueden cambiar en el tiempo afectando confiabilidad - Comportamiento no lineal con cambios drásticos que pueden excitar modos superiores y requiere llevar a cabo análisis no lineal - No proporciona fuerza restitutiva

CAPITULO II: ANÁLISIS POR MÉTODO CONVENCIONAL

2.1. Estudio de la estructura convencional

El estudio de la estructura con y sin disipadores de energía se realizará con un análisis tiempo historia no lineal (FNA), debido a que este análisis se puede realizar a una estructura convencional y a una estructura con disipadores, porque toma en cuenta el comportamiento no lineal de estos dispositivos.

Para la realización de este análisis se requiere de registros de acelerogramas, en el caso de no existir registros sísmicos se podrán elaborar acelerogramas artificiales mediante el uso de software.

2.1.1. Desarrollo de acelerogramas

Para desarrollar el análisis no lineal Tiempo-Historia en las estructura sin disipadores y con disipadores se necesitan acelerogramas de sismos que hayan sucedido en la zona donde está ubicado el edificio.

En nuestro país debido a la dificultad de obtener registros de acelerogramas, se optó por el desarrollo de acelerogramas sintéticos los cuales se obtendrán por el procesamiento de datos en el software AcelSin®. El procesamiento de datos en el software AcelSin® se basa en generar acelerogramas sintéticos basados en espectros de respuesta reales y otros datos como la función intensidad y la duración de un sismo relevante ocurrido en el país.

A continuación se presentan de manera general los pasos realizados en el AcelSin® para la obtención de los acelerogramas:

Se inicia el programa, se crea un nuevo proyecto y en el menú Herramientas se selecciona Definición de Espectro

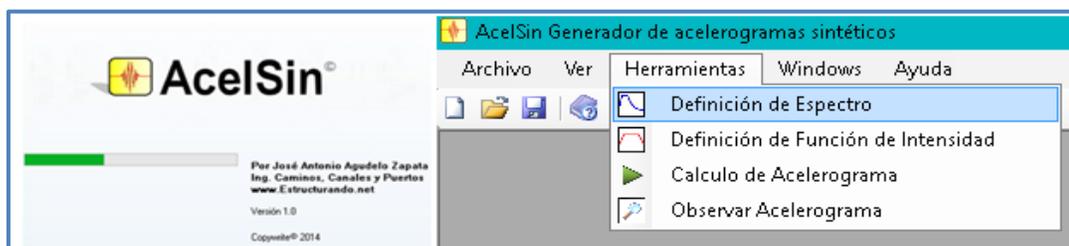


Figura 2. 1 AcelSin® - Inicio de Programa

Se seleccionaron tres espectros de respuesta de sismos con distintas magnitudes de 5.6, 6.2 y 6.5 en la escala de Richter, con el objetivo de obtener los tres acelerógramas sintéticos para realizar el análisis Tiempo-Historia. A continuación se presentan los espectros de respuestas usados:

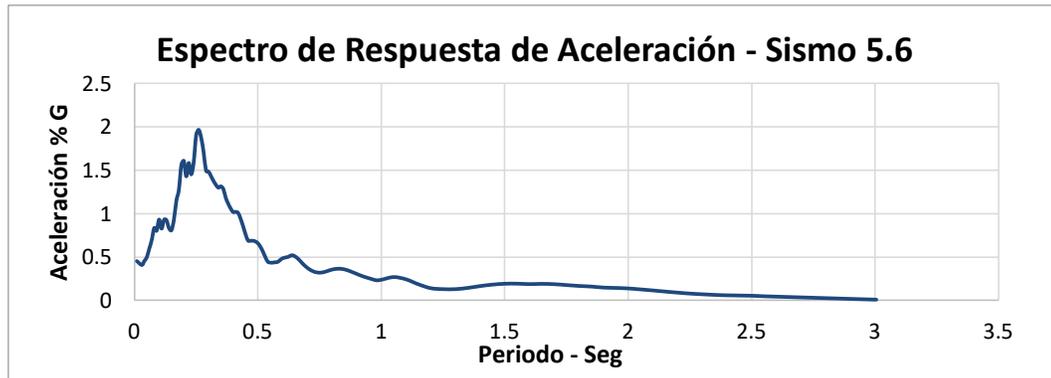


Figura 2.2 Espectro de Respuesta de Aceleraciones-Sismo 5.6

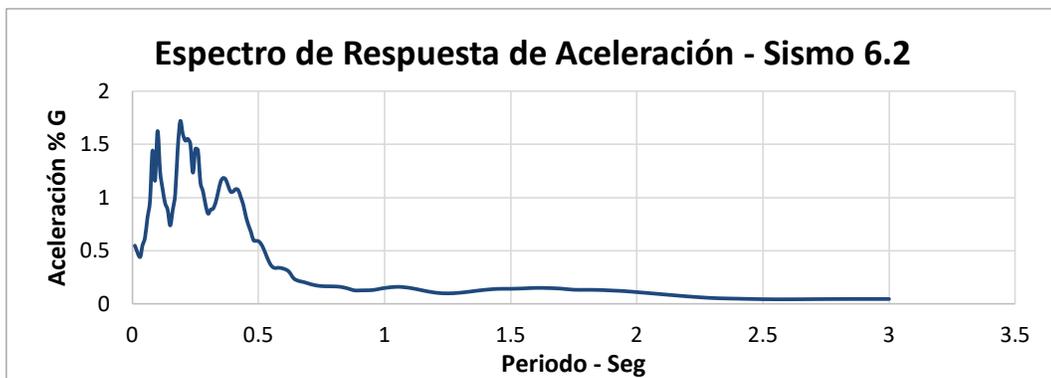


Figura 2.3 Espectro de Respuesta de Aceleraciones-Sismo 6.2

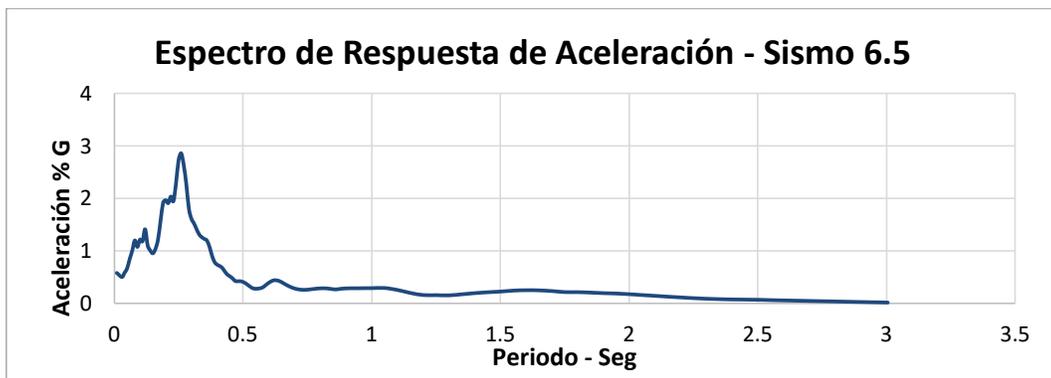


Figura 2.4 Espectro de Respuesta de Aceleraciones-Sismo 6.5

Los datos de estos espectros se introducen de la siguiente manera en el programa: En la normativa a considerar se selecciona el espectro definido por puntos y se define el nombre del espectro, así mismo se importa el archivo que contiene los datos del espectro de respuesta.

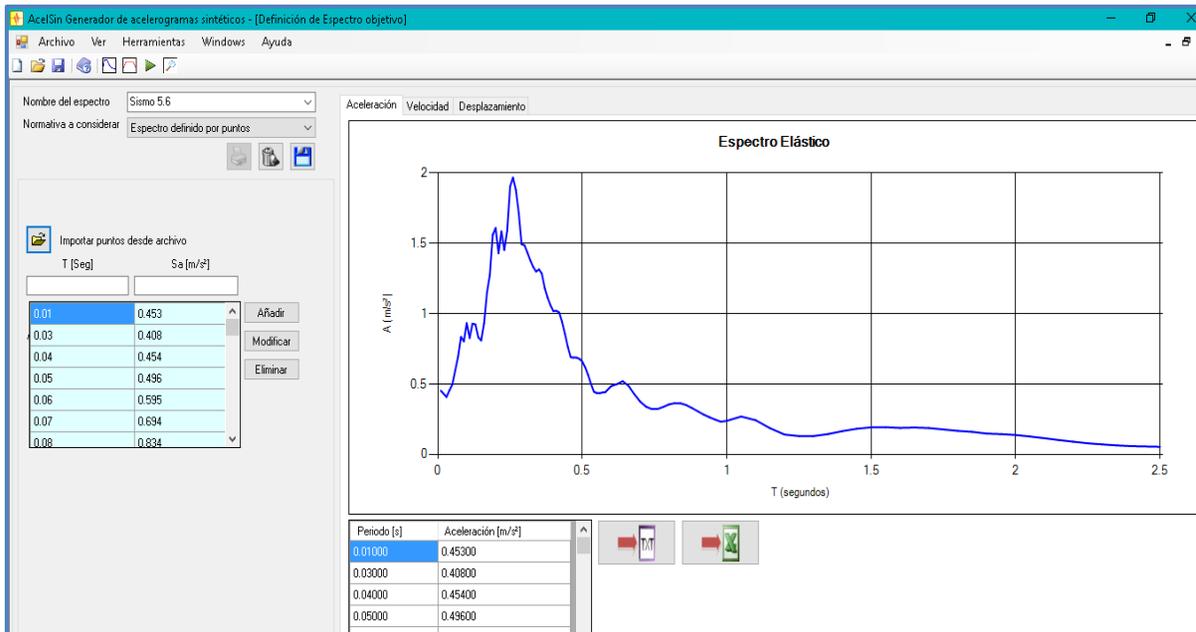


Figura 2. 5 Ingreso de Espectro de Respuesta en el AcelSin®

Luego de haber definido cada uno de los espectros bases se debe seleccionar la función Intensidad y la duración a la que deben ajustarse los acelerogramas. Para el análisis se calculó de forma geométrica y se estableció la función Intensidad del terremoto de Managua de 1972 a diferencia de cualquiera de las otras opciones que ofrece el programa la duración del sismo se estableció en 30 segundos al igual que el terremoto de Managua 1972.

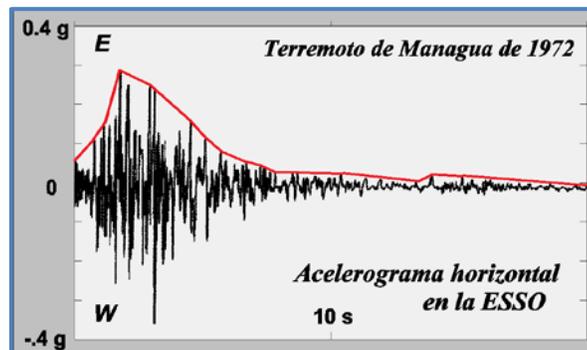


Figura 2. 6 Acelerograma horizontal terremoto Managua 1972 - Identificación de función Intensidad

En el menú Herramientas del AcelSin® se selecciona Definición de la función intensidad y en el tipo de función de intensidad se selecciona Definida por puntos y se agrega el archivo de puntos de la función intensidad definida.

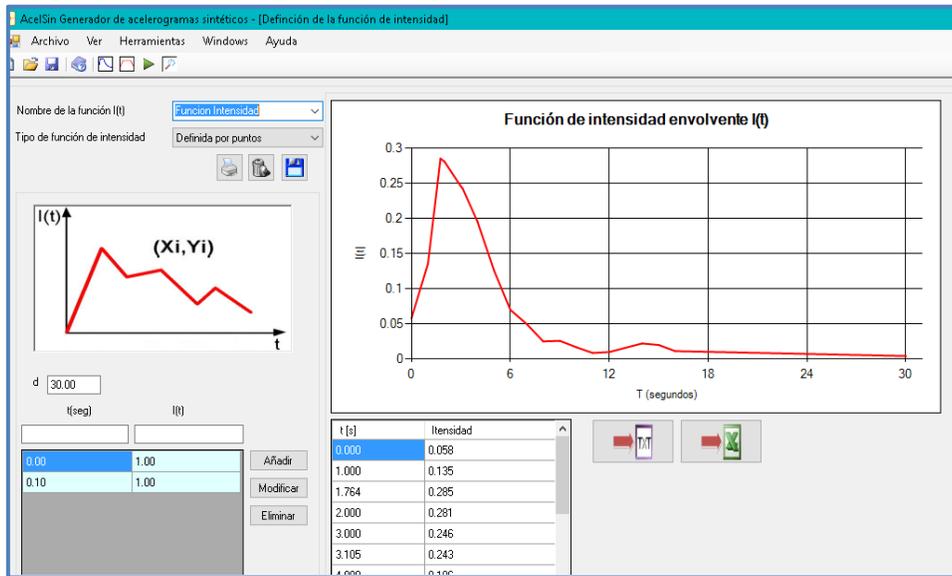


Figura 2. 7 Ingreso de Función Intensidad en el AcelSin®

Seguido de definir el espectro de diseño y la función intensidad en el programa, se procede en el menú Herramienta al cálculo de acelerograma, y se realiza un proceso iterativo para obtener el menor error medio.

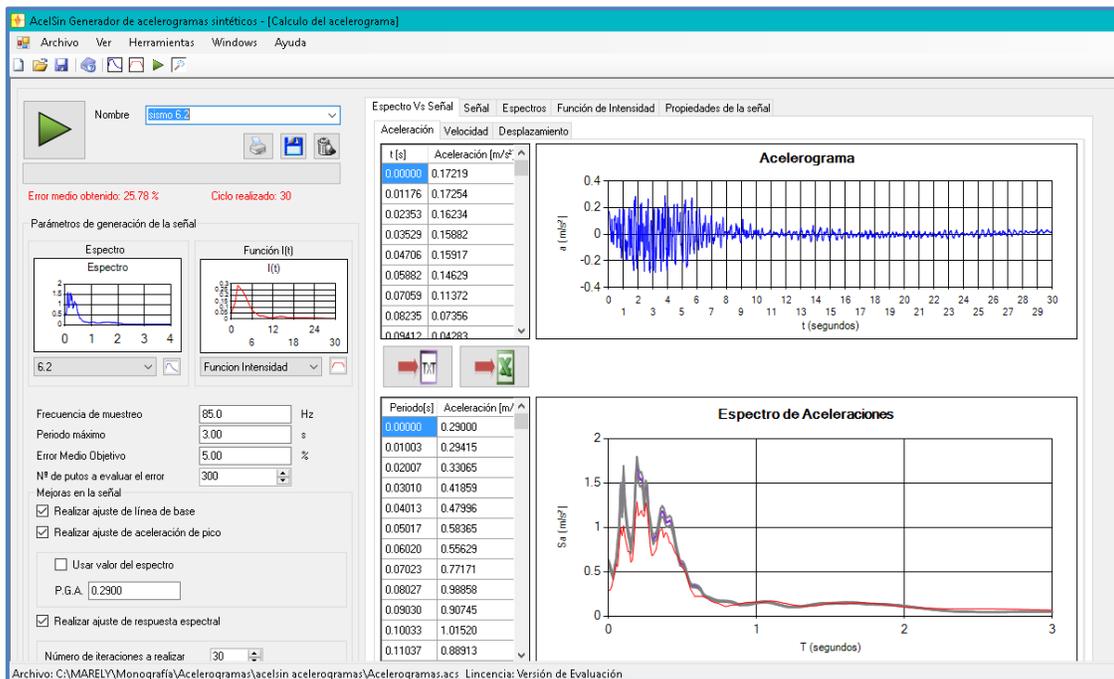


Figura 2. 8 Proceso iterativo para obtención de acelerogramas sintéticos

Luego de haberse realizado el proceso iterativo obtuvimos los acelerogramas sintéticos basados en los espectros de respuestas y acorde a la función intensidad establecida y la duración del sismo prevista, se obtuvieron los acelerogramas siguientes:

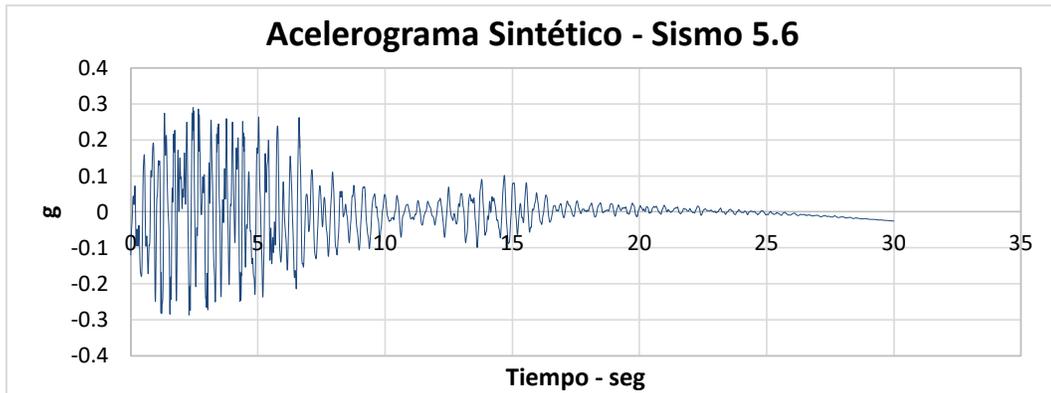


Figura 2. 9 Acelerograma Sintético - Sismo 5.6

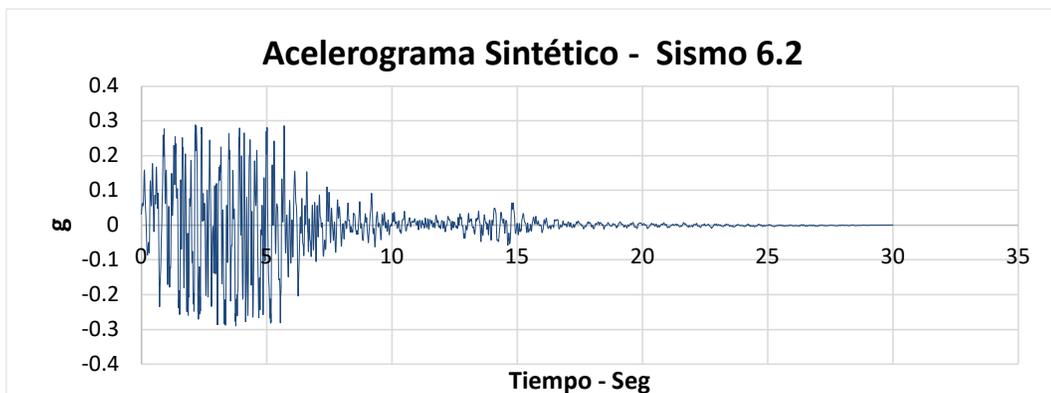


Figura 2. 10 Acelerograma Sintético - Sismo 6.2

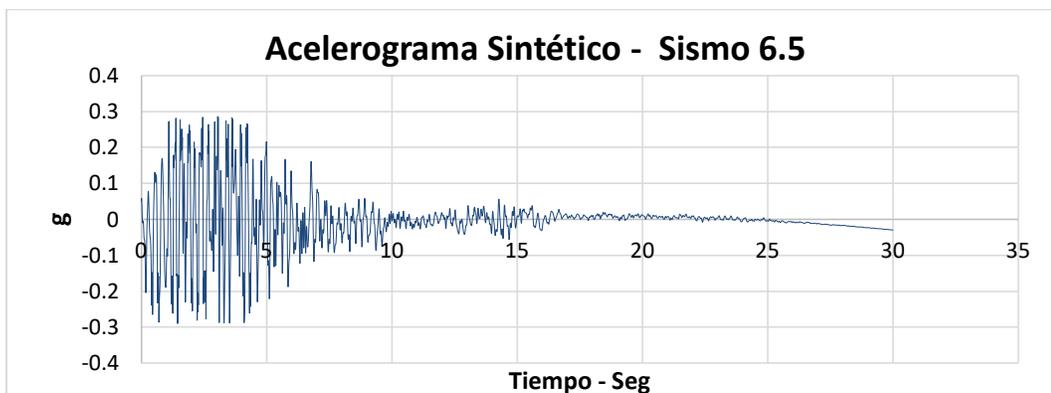


Figura 2. 11 Acelerograma Sintético - Sismo 6.5

2.2. Análisis de la estructura convencional

2.2.1. Descripción de la estructura

La estructura consiste en tres cuerpos: la Escalera, el Ala Norte y Sur. Las estructuras están unidas por juntas sísmicas y se analizarán de manera independiente.

Las estructuras consisten de marcos de gravedad y marcos arriostrados concéntricamente de acero, así mismo en la escalera se presentan marcos de momento de concreto reforzado. El edificio posee claros de 7.2 m en ambas direcciones, alturas de 4.05 m para el primer piso y 4.42 m para los demás. La edificación consiste en 5 plantas y un sótano.

Las paredes del edificio consisten en paneles de covintec forrados con láminas de aluminio poliuretano, paneles de vidrio y muros de concreto reforzado para el área del sótano dichos muros soportaran las fuerzas gravitacionales, fuerzas sísmicas y fuerza de presión del suelo.

2.2.2. Descripción de los materiales

2.2.2.1. Acero Estructural

Perfiles de acero de patín o de ala ancha; ASTM, $F_y = 50 \text{ ksi}$; Perfiles redondos huecos de acero estructural: ASTM A500 Grado B, $F_y = 42 \text{ ksi}$; Perfiles cuadrados o rectangulares huecos de acero estructural: ASTM A500 Grado B, $F_y = 46 \text{ ksi}$.

2.2.2.2. Concreto

Losa de fundación, vigas y columnas: $f'_c = 3,000 \text{ psi}$; Peso Volumétrico del concreto reforzado: $\gamma = 150 \text{ lbs/ft}^3$; Módulo de Elasticidad: $E_c = 3,605 \text{ ksi}$

2.2.2.3. Acero de Refuerzo

Muros y Columnas: Varilla ASTM A615 Grado 60; Losa de Fundación y Vigas: Varilla ASTM A615 Grado 40; Módulo de Elasticidad del acero: $E = 29,000 \text{ Ksi}$.

2.2.2.4. Lámina Troquelada

Lámina Troquelada Losacero Sección 4, acabado Galvanizado, Calibre 22.

2.2.2.5. Pernos

Pernos de alta resistencia: ASTM A325; pernos de anclajes y maquinaria: ASTM A 307.

2.2.2.6. Soldadura

Para acero estructural: Electrodo bajo hidrógeno según Norma ASWA5.5, E70XX;
Para lámina troquelada: Electrodo según Norma ASWA5.1, E70XX.

2.2.2.7. Suelo

Según estudio de suelo del sitio donde se empleará el proyecto, la presión recomendada para el diseño de los cimientos de la estructura es de 3 kg/cm²; Debido al sótano de 4.46 metros de profundidad en el edificio, se recomienda que el nivel de desplante esté a una profundidad de 6.10 metros.

2.2.2.8. Número de arriostres

El modelo realizado cuenta con la cantidad de 130 arriostres para el Ala Norte y 40 para la Escalera central.

2.2.3. Cargas consideradas en el modelo

Las cargas muertas consideradas serán el peso propio de los elementos y carga muerta adicional, dichas cargas serán tomadas del anexo A del RNC-07. Las cargas vivas consideradas serán las de la Tabla 1- Cargas vivas unitarias mínimas del RNC-07.

La distribución de carga muerta y carga viva se presenta en los ANEXOS D.

Tabla 2. 1 Cargas consideradas en el modelo

Cargas Consideradas		
Descripción	W (kg/m ²)	Observación
Cielo falso	16	
Lámparas y accesorios	5	
Aires	16	
Carga Viva	250	Para aulas de clases
	500	Para pasillos
	100	Techos con pendiente menores al 5%
CV Reducida	200	Para aulas de clases
	250	Para pasillos
	40	Techos con pendiente menores al 5%

Tabla 2. 2 Distribución de cargas usadas en los modelos

Distribución de cargas usadas en los modelos						
Piso	Ala Norte y Ala Sur			Escalera		
	CM (Kg/m ²)	CV (Kg/m ²)	CVR (Kg/m ²)	CM (Kg/m ²)	CV (Kg/m ²)	CVR (Kg/m ²)
Techo	123.05	100.00	40.00	123.06	100.00	40.00
5	254.47	750.00	450.00	254.46	500.00	250.00
4	261.70	750.00	450.00	261.70	500.00	250.00
3	261.66	750.00	450.00	261.66	500.00	250.00
2	255.83	750.00	450.00	255.83	500.00	250.00

2.2.4. Consideraciones en el modelo de ETABS®

La estructura se modeló y analizó en el software ETABS® v 15.1.0, y se tiene las siguientes consideraciones:

Las columnas, vigas y arriostres serán modelados como elementos frame. Las bases de los marcos arriostrados concéntricamente serán modeladas como empotres y los marcos gravitacionales como articulados.

Las losas de entrepiso serán modeladas como elementos deck-filled, estos diafragmas serán infinitamente rígidos en el plano horizontal para que se cumpla la homogeneidad de desplazamientos de los nudos por pisos.

En las columnas y se incluirán las deformaciones por flexión, cortante, axial y torsión, exceptuando la deformación por axial en las vigas debido a la acción diafragmática de las losas.

Se realizará un análisis Tiempo-Historia no lineal para observar los desplazamientos y fuerzas generadas en el edificio sin disipadores. La siguiente imagen presenta el modelo en 3D de las estructuras:

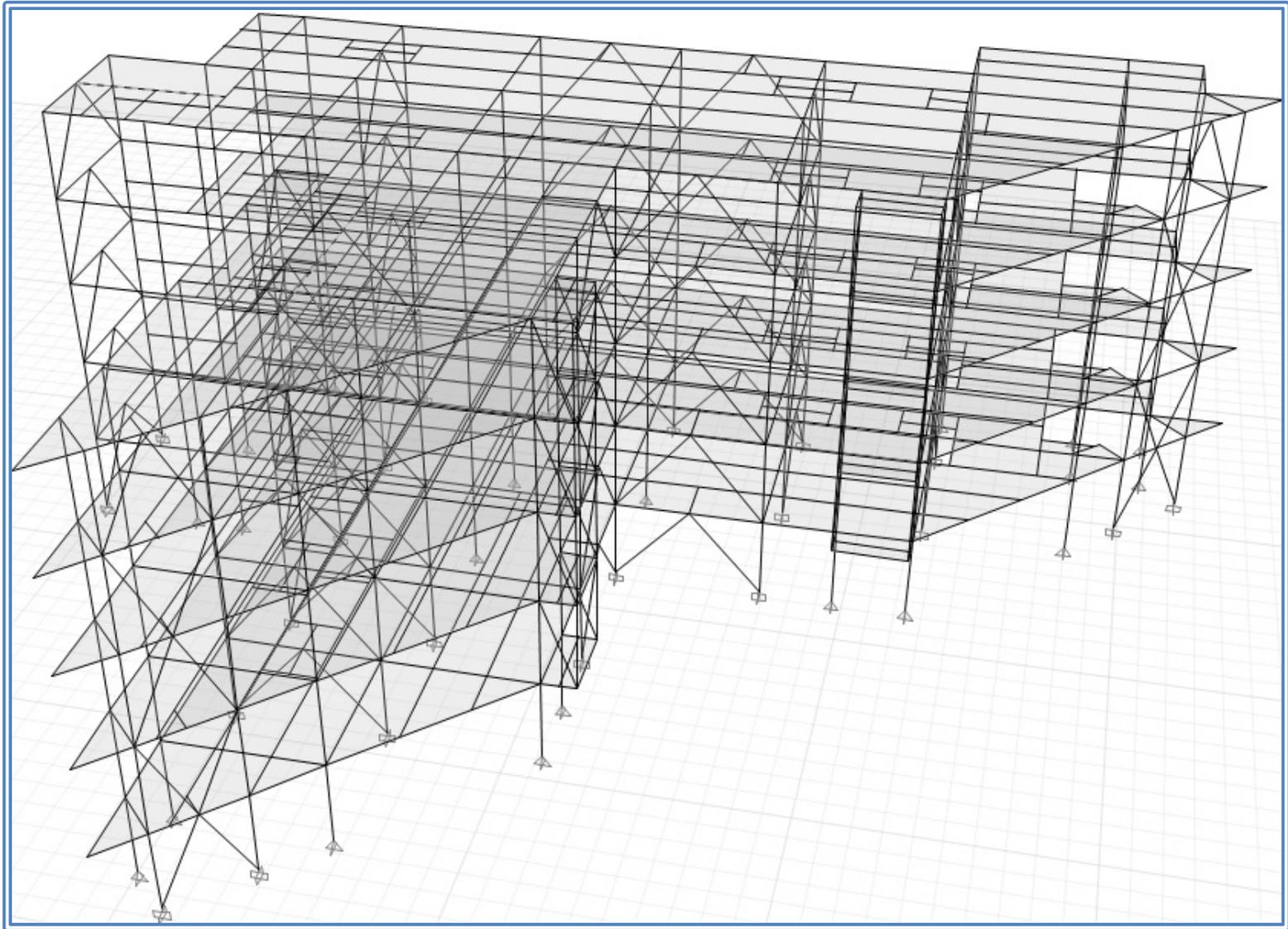


Figura 2. 12 Modelo 3D Ala Norte y Sur

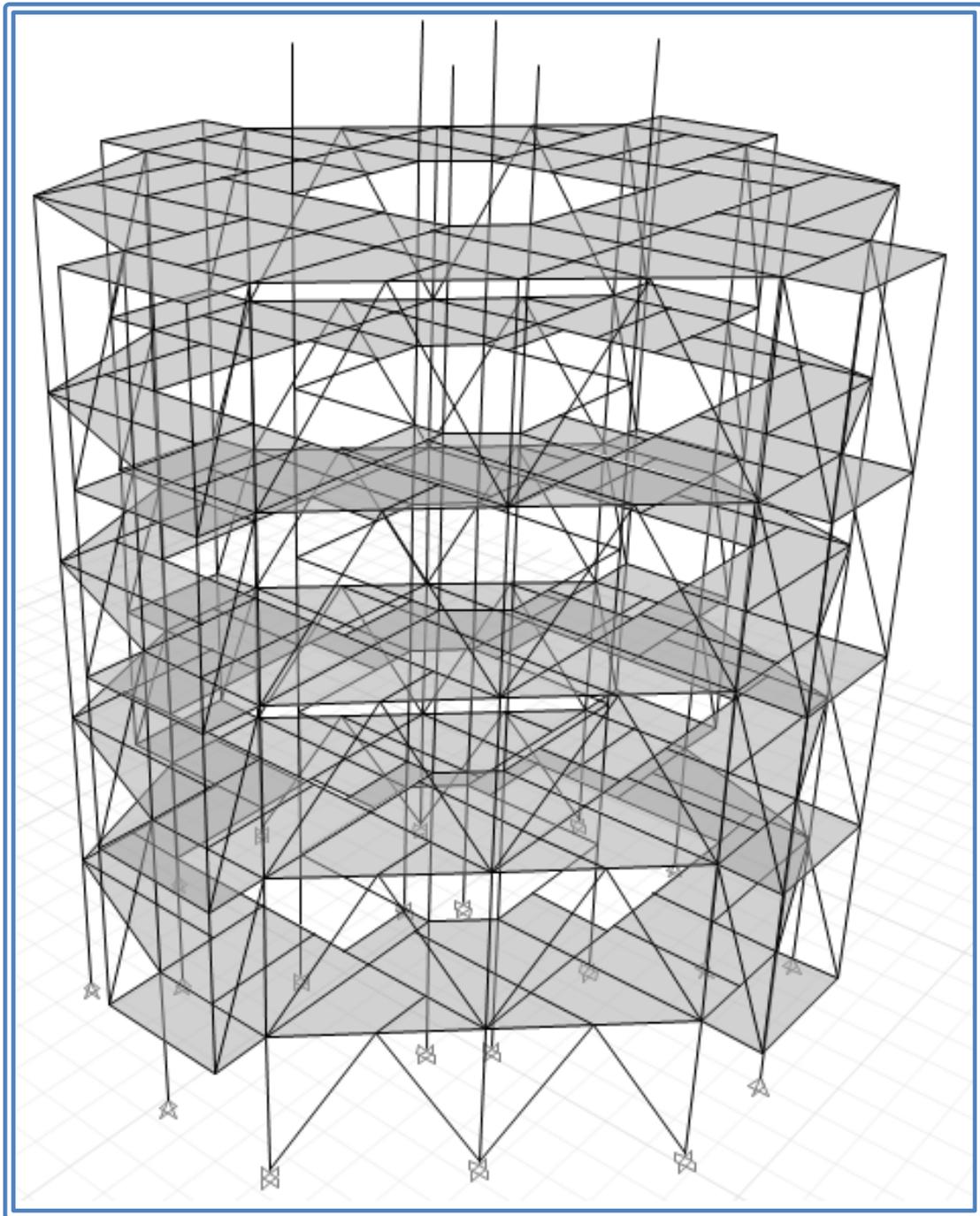


Figura 2. 13 Modelo 3D Escalera Central

2.2.5. Datos ingresados en el ETABS

2.2.5.1. Funciones de los acelerogramas

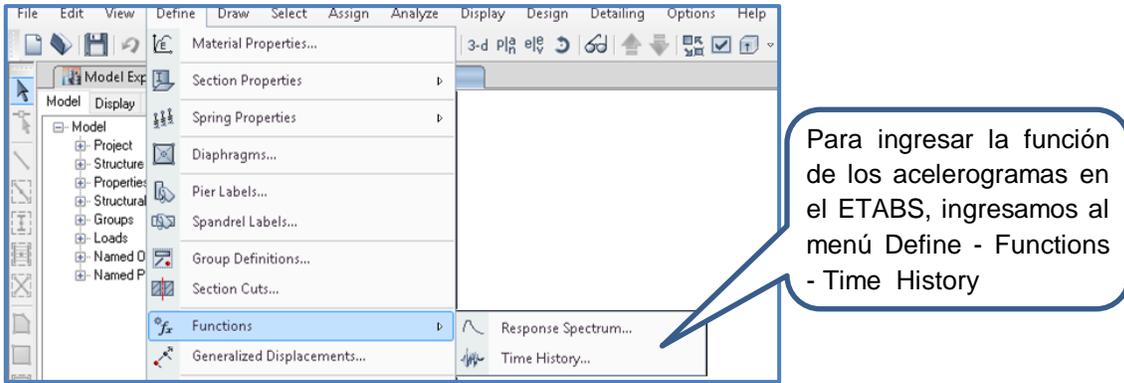


Figura 2. 14 Definición de función de acelerogramas

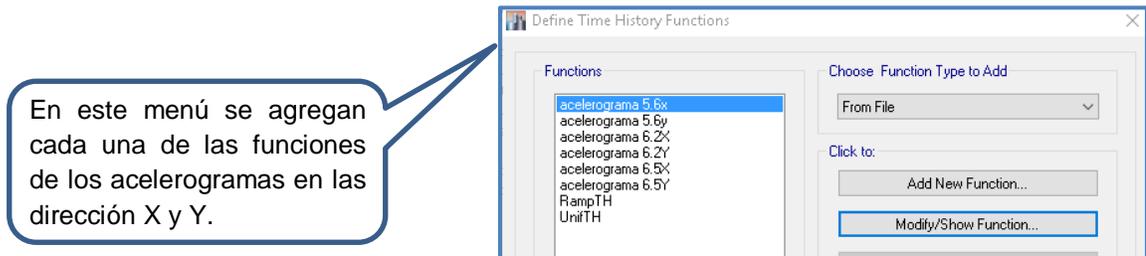


Figura 2. 15 Acelerogramas introducidos para realizar el Análisis Time-History

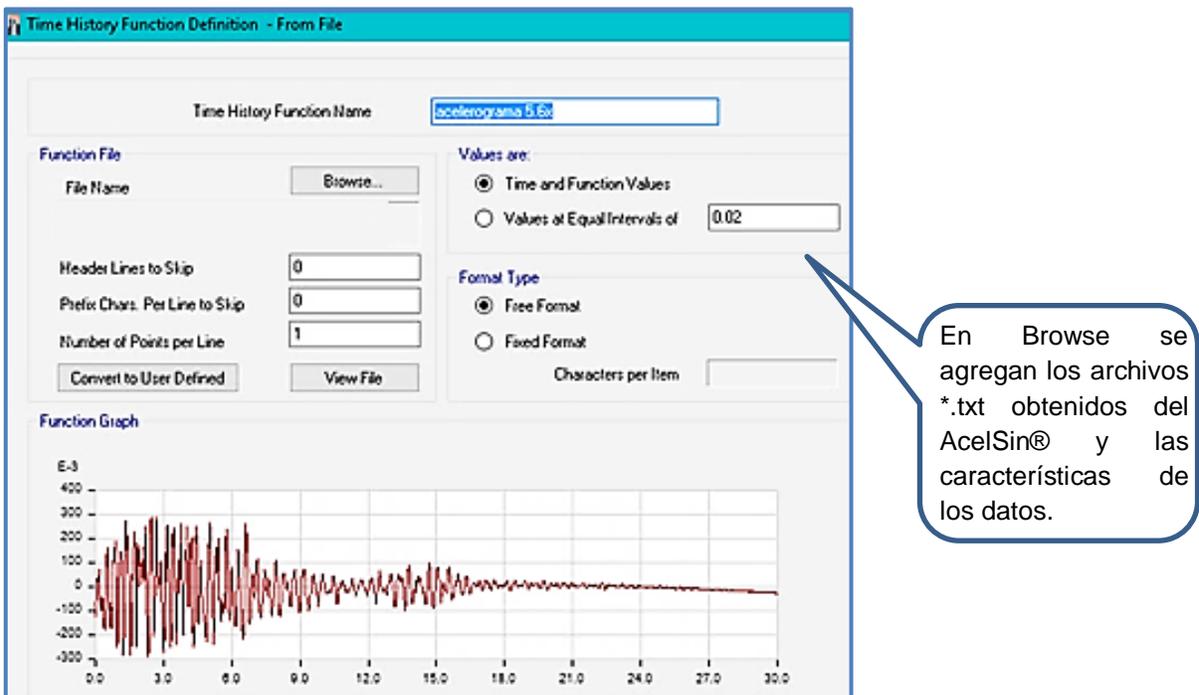


Figura 2. 16 Propiedades para introducir archivo de acelerogramas

2.2.5.2. Casos de carga

A continuación se presentan los casos de cargas introducidos en el ETABS y la elección del tipo de análisis a realizar. Los datos obtenidos de este análisis serán presentados en el capítulo 7 de esta monografía.

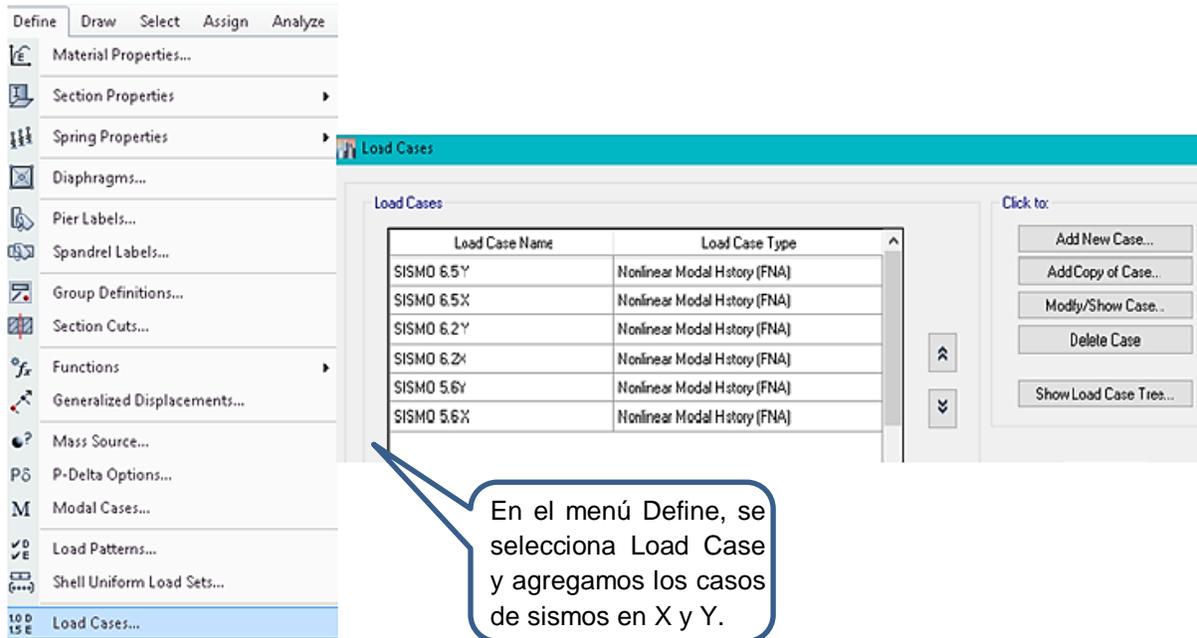


Figura 2. 17 Casos de carga introducidos en el ETABS®

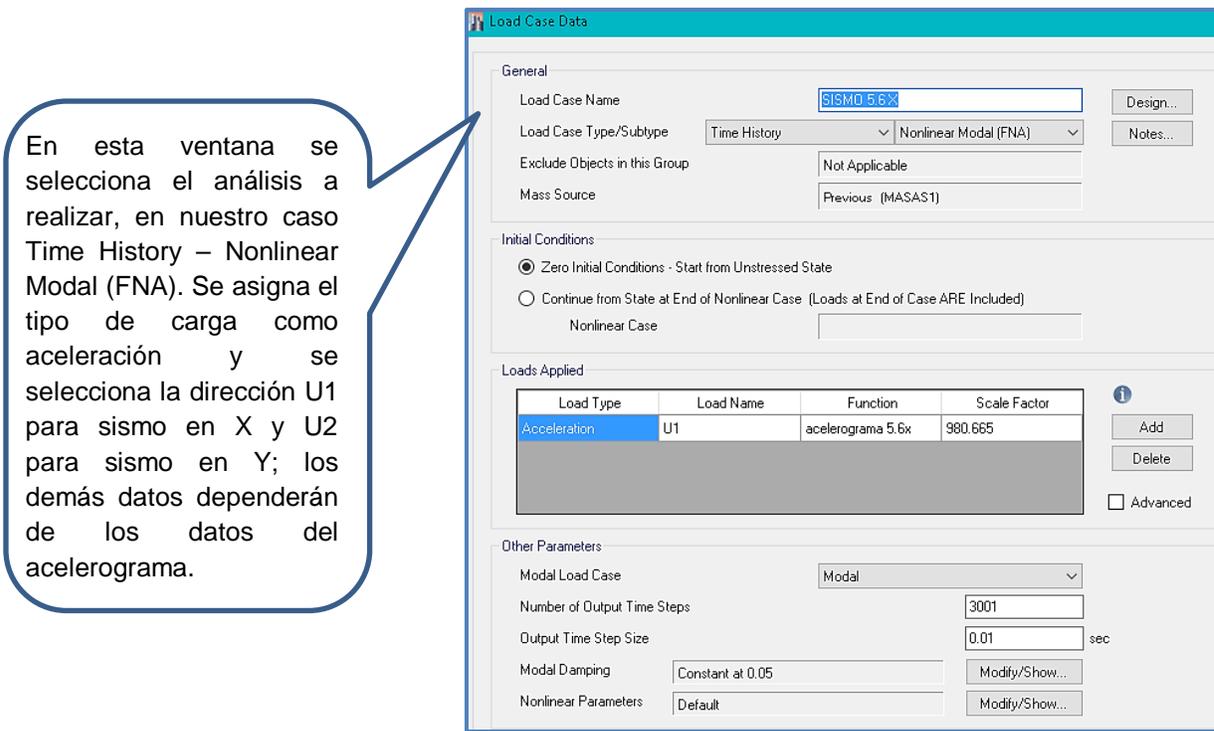


Figura 2. 18 Propiedades de los casos de carga

2.3. Interpretación de resultados

Los resultados del análisis de la estructura convencional se presentarán en el **Capítulo 7** con el objetivo de representar y analizar de mejor forma los resultados de los distintos casos.

Según los datos obtenidos, la estructura no cumple con el estado límite de servicio, esto provocaría desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación.

Así mismo, al verificar la separación requerida, la estructura excede la separación existente entre los cuerpos de la edificación, esto podría provocar daños por la posible colisión entre ellos cuando vibran bajo la acción de un sismo.

A causa de esto se ha propuesto la implementación del uso de disipadores de energía, con los cuales se pretende obtener un mejor comportamiento estructural, aumentando el amortiguamiento y disminuyendo los esfuerzos aplicados a los elementos principales, desplazamientos y fuerzas internas en la estructura.

2.3.1. Datos obtenidos

Los resultados mostrados a continuación serán el periodo, frecuencia y rigidez de los arriostres empleados en el edificio.

Estos datos serán utilizados para calcular las propiedades de los disipadores viscoelásticos y friccionantes.

2.3.1.1. Ala Norte y Sur

- **Datos de la estructura**

Tabla 2. 3 Datos del edificio - AN y AS

Datos de Ala Norte y Sur				
Datos	Abrev.	Magnitud	Valor	Observación
Periodo	T	$seg.$	0.467	
Frecuencia	f	Hz	2.141	$f = 1/T$
Peso	W	Ton	3,707.64	
Masa	M	$Ton * s^2/m$	377.944	$M = W/g; g = 9.81m/s^2$
Factor de Amortiguamiento Crítico	ζ	%	5	

- **Datos del pórtico convencional**

Rigidez del edificio

$$K_{Ala\ Norte} = \left(\frac{2\pi}{0.467\ seg} \right)^2 (377.94\ Ton * s^2/m) = 68,414.61\ T/m$$

Coefficiente de amortiguamiento del pórtico

$$C_{Escalera} = 2 * 0.05 * \frac{2\pi}{0.467\ seg} * 377.94\ Ton * \frac{s^2}{m} = 508.5\ Ton * s/m$$

Rigidez del arriostre

Tabla 2. 4 Rigidez de los arriostres – AN y AS

Rigidez del arriostre					
Acero	Sección	Longitud (m)	Módulo de Elasticidad E (ton/m ²)	Área de Sección (m ²)	K (ton/m)
A500 Grado B Fy 46 Ksi	HSS 7x7x5/8	4.91	20389019.16	0.00903	37506.826
	HSS 7x7x5/8	4.57		0.00903	40297.268
	HSS 9x9x5/8	5.7		0.012064	43154.940
	HSS 10x10x5/8	5.42		0.013548	50966.379
	HSS 10x10x5/8	5.7		0.013548	48462.767

2.3.1.2. Escalera

- **Datos de la Estructura**

Tabla 2. 5 Datos del edificio- Escalera

Datos de Escalera				
Datos	Abrev.	Magnitud	Valor	Observación
Periodo	<i>T</i>	<i>seg.</i>	0.927	<i>f = 1/T</i>
Frecuencia	<i>f</i>	<i>Hz</i>	1.079	
Peso	<i>W</i>	<i>Ton</i>	997.13	<i>M = W/g; g = 9.81m/s²</i>
Masa	<i>M</i>	<i>Ton * s²/m</i>	101.64	
Factor de Amortiguamiento Critico	<i>ζ</i>	%	5	

- **Datos del pórtico convencional**

Rigidez del edificio

$$K_{Escalera} = \left(\frac{2\pi}{0.927\ seg} \right)^2 (101.644\ Ton * s^2/m) = 4,669.25\ T/m$$

Coefficiente de amortiguamiento del pórtico

$$C_{Escalera} = 2 * 0.05 * \frac{2\pi}{0.927 \text{ seg}} * 101.644 \text{ Ton} * \frac{s^2}{m} = 68.894 \text{ Ton} * s/m$$

Rigidez del arriostre

Tabla 2. 6 Rigidez de los arriostres - Escalera

Rigidez del arriostre						
Acero	Sección	Longitud (m)	Módulo de Elasticidad E (ton/m ²)	Área de Sección (in ²)	Área de Sección (m ²)	K (ton/m)
A500 Grado B Fy 46 Ksi	HSS 7x7x5/8	5.1	20389019.16	14	0.00903224	36109.513
	HSS 9x9x5/7	5.1		18.7	0.012064492	48231.992
	HSS 9x9x5/8	4.78		18.7	0.012064492	51460.912

CAPITULO III: DISIPADORES FRICCIONANTES

3.1. Componentes básicos de los amortiguadores de fricción.

Los disipadores de energía sísmica de fricción están compuestos por platinas de acero con superficies de alta resistencia que se friccionan entre sí, al producirse un desplazamiento generado por una carga. Las diagonales conectoras van ancladas al sistema estructural en los nudos viga-columna o placa-columna, y en cada extremo conecta mediante una articulación al disipador en si generando un plano friccionante.

Es necesario que durante la aplicación de carga en las diagonales, en la condición de compresión, estas no sean muy altas para evitar el pandeo, esto se logra con un buen diseño.

Cuando inicia el movimiento de la estructura, el sistema de disipación se mueve en la misma dirección de la estructura jalado por esta, sólo inicia deslizamiento una vez superada la carga de tensionamiento o según los requerimientos de diseño, las platinas fijas a las diagonales se deslizan contra las platinas centrales aprisionadas generándose la fricción que origina un mecanismo disipador de energía sísmica.

Los ciclos de carga y descarga de los dispositivos siguen un comportamiento de material elasto-plástico perfecto, el comportamiento de este disipador es estable y regular.

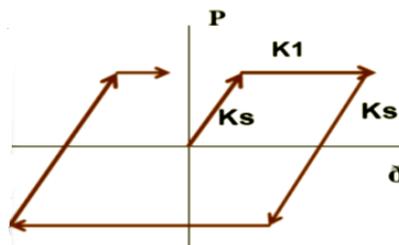


Figura 3. 1 Ciclos histeréticos elasto-plásticos típicos de amortiguadores de fricción

En cada ciclo que se presenta en la figura 3.1, la disipación de energía es el área encerrada en los semi-romboides. Se puede disipar más del 90% de la energía sísmica por este mecanismo externo y por lo tanto se logran menores esfuerzos y deformaciones en la estructura.

Los amortiguadores de fricción disipan energía mediante la fluencia de metales, por lo que el comportamiento tiende a ser estable, una ventaja adicional de seguridad

que ofrece es alejar la edificación del periodo de resonancia por el cambio en el sistema de rigidez en las diferentes etapas.

De acuerdo a investigaciones se ha demostrado que, aplicándoles 5000 ciclos de carga y descarga, su pérdida de capacidad friccionante no supera el 1% en el caso de los amortiguadores de fricción PALL.

En la figura 3.2 se muestra una prueba de un disipador en el que el roce de las platinas internas no genera un impacto al perno al no superar las condiciones de diseño, se observa que en los ciclos la capacidad de disipación de energía es elevada con un degradamiento muy bajo.

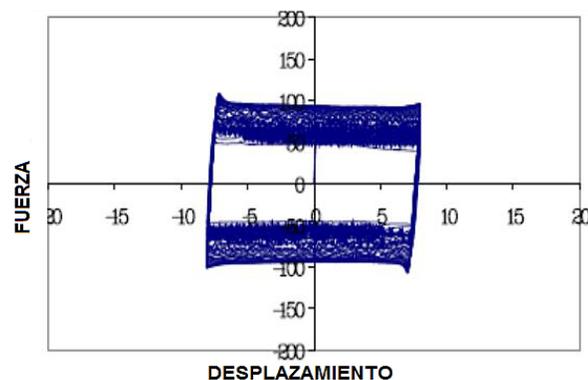


Figura 3. 2 Gráfico de relación fuerza-desplazamiento de una prueba de un amortiguador de fricción AF: 30 ciclos, 0.1 HZ sin impacto de perno

3.2. Modelamiento matemático de los amortiguadores de fricción.

La teoría básica se basa en los estudios científicos de la fricción, la cual fue inicialmente usada para experimentos físicos involucrando deslizamiento plano de bloques rectilíneos:

- La fuerza friccional total que puede ser desarrollada es independiente del área de superficie aparente de contacto.
- La fuerza friccional total que puede ser desarrollada es proporcional a la fuerza normal actuando a lo largo de la interfase.
- Para el caso de deslizamiento con bajas velocidades relativas, la fuerza friccional total es independiente de esa velocidad.

En el instante del deslizamiento independiente o durante el deslizamiento propiamente, se obtendrá:

$$F_t = \mu F_n$$

Dónde: F_t : Fuerza friccional; F_n : Fuerza normal; y μ : Coeficiente de fricción.

El coeficiente de fricción es un poco mayor cuando el deslizamiento es inminente, lo cual sucede durante el deslizamiento y son introducidos los coeficientes estáticos (μ_s) y cinético (μ_k). La fuerza friccional F_t actúa tangencialmente en el plano interfacial a la dirección opuesta al movimiento o impidiendo el movimiento.

El coeficiente de fricción μ , es un parámetro variable que depende no solamente de la selección de los materiales deslizantes, sino también de la condición presente en la superficie de interfase.

Debido a que no hay una teoría para la fricción de deslizamiento comparable con la ya establecida teoría de plasticidad de metales, lo que hace que se necesiten una mayor cantidad de ensayos físicos.

De acuerdo a lo anterior, Pall comenzó a desarrollar disipadores de fricción mediante ensayos estáticos y dinámicos en una variedad de elementos simples de deslizamiento teniendo diferentes tratamientos en su superficie. Su objetivo era identificar un sistema que poseyera una consistente y predecible respuesta.

En los ensayos el contacto fue mantenido entre las dos caras de superficies pretensadas entre sí con pernos de alta resistencia. El resultado de las curvas carga-desplazamiento obtenidas bajo amplitud de carga cíclica constante de desplazamiento controlado se observa en la figura 3.3:

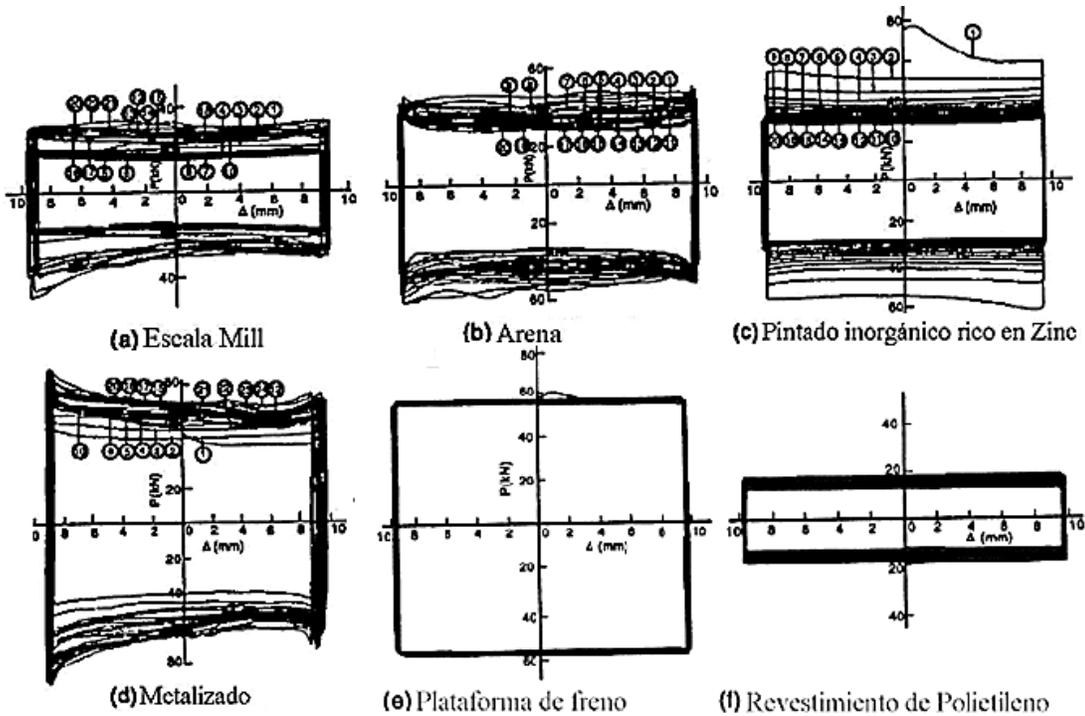


Figura 3. 3 Lazos histeréticos de superficies limitadas por uniones emperradas

En estas superficies consideradas por Pall, las superficies pesadas conteniendo planchas de frenos insertadas entre las láminas de acero proporcionaron una consistente y predecible respuesta. Basado en el comportamiento obtenido, la caracterización de su sistema friccional simple de línea de freno en términos de un modelo plástico perfectamente elástico es apropiado.

3.3. Metodología de diseño de los disipadores friccionantes

Disipadores histeréticos (fricción)

Modelo	Elastoplástico
Amortiguamiento equivalente (C_d)	$4p_y d_0 T / (2\pi^2 d_0^2)$
Rigidez equivalente (k_d)	Rigidez del brazo (sin deslizamiento) 0 (durante el deslizamiento)

Figura 3. 4 Coeficiente de amortiguamiento equivalente y rigidez

De acuerdo a este modelo se encuentra la fuerza de deslizamiento del disipador de fricción que es la fuerza que hace que el disipador se active ante un sismo de gran magnitud, la fórmula está dada por:

$$P_y = \frac{C_j \times 2\pi^2 \times d_0}{4T_1}$$

Dónde: **P_y**: fuerza de deslizamiento; **C_j**: radio de amortiguamiento lineal viscoso bajo condiciones elásticas; **d₀**: máximo desplazamiento de diseño del disipador; **T₁**: periodo del primer modo de vibración.

Para el modelado de este dispositivo en el programa ETABS además de la fuerza de deslizamiento ya calculada se utilizan ciertos parámetros los cuales son: rigidez del disipador, radio de rigidez post-fluencia y el exponente de fluencia, estos dos últimos parámetros son dados por el fabricante. La rigidez del disipador es calculada por la siguiente fórmula:

$$K_d = 17.5 K_e$$

Dónde: **K_d**= rigidez del disipador; **K_e**= rigidez de la estructura sin disipador.

3.4. Ventajas de amortiguadores de fricción en reforzamiento sísmico

Los amortiguadores de fricción a diferencia de los sistemas convencionales presentan las siguientes ventajas:

- Alto desempeño estructural con bajo costo, en casos de reforzamiento con reducciones hasta del 40% frente a los otros sistemas tradicionales y hasta más de 200% con relación a los amortiguadores hidráulicos y viscoelásticos.
- Incorporación de un alto porcentaje de amortiguamiento.
- Proveen varios ciclos histeréticos “dúctiles” y amplios de disipación protegiendo la estructura, muros y demás elementos no estructurales contra daños importantes.
- Se requieren relativamente pocos amortiguadores de fricción.

- No requieren mantenimiento mientras operen dentro de las condiciones de diseño.
- Proveen una resistencia residual de seguridad por deformación histerética y aleja la estructura de la probabilidad de entrar en resonancia con la frecuencia del sismo.
- Rápida instalación, pudiendo llegar a tan solo el 10% del tiempo que requieren los sistemas tradicionales.
- Puede calibrarse y ajustarse de acuerdo a las necesidades del proyecto de reforzamiento.
- Son lo suficientemente angostos para mimetizarse en particiones internas o fachadas.
- No produce traumatismos en el normal funcionamiento de la edificación durante su instalación, prácticamente sin daños en acabados constituyen una buena protección en caso de sismos con grados de intensidad y duración diferentes a los considerados en el reforzamiento.
- Después del terremoto, la edificación regresa a su verticalidad original debido a la acción de resorte de estructura elástica.
- Mínimo impacto de obra, no se requiere el desalojo de las instalaciones y por lo tanto un lucro cesante prácticamente nulo.

3.5. Tipos de disipadores friccionantes

3.5.1. Dispositivo Pall

La compañía Pall Dynamics Limited, desarrolló, diseñó y patentó al amortiguador de fricción Pall denominado FDBF (Friction Damped Braced Frames). Este dispositivo consiste en elementos de arriostramientos diagonales, que tienen una interfase de fricción en su punto de intersección, que están conectados juntos por elementos de eslabones horizontales y verticales.

La interfase de fricción mostrada en la figura 3.5, es un simple cojinete de fricción/acero inoxidable acoplado, que es activado por una fuerza normal especificada.

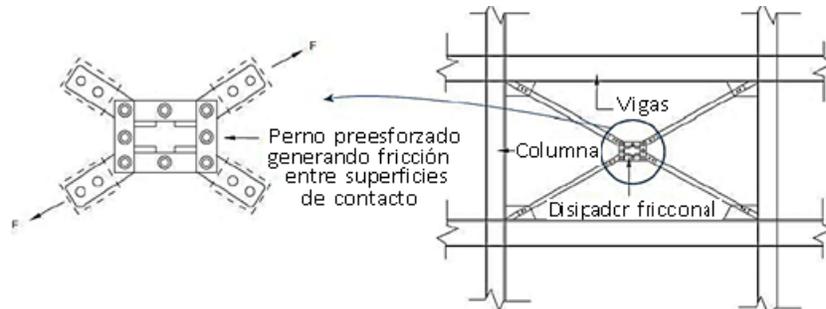


Figura 3. 5 Esquema de dispositivo PALL

Los elementos de eslabones aseguran que, cuando la carga aplicada al dispositivo mediante los arriostramientos es suficiente para iniciar el deslizamiento del brazo tensionado, entonces el brazo en compresión también deslizaría en igual cantidad en la dirección opuesta.

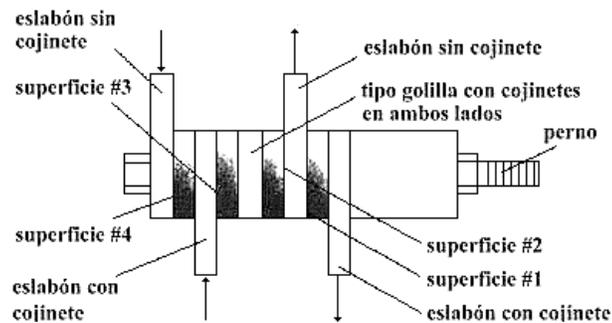


Figura 3. 6 Superficies de fricción del dispositivo PALL

Para cualquier sistema friccional la cantidad de energía disipada por el sistema y el amortiguamiento en el sistema, son proporcionales a las excursiones de deslizamiento de los elementos friccionales. Esto significa que los elementos de amortiguamiento friccional en un sistema estructural llegarían a ser más efectivo cuando la magnitud de la fuerza de entrada aumenta.

El dispositivo no es diseñado para deslizarse bajo cargas de servicio y sismos moderados, sino que es para excitaciones sísmicas severas. Lo que indica que el dispositivo se desliza a una carga predeterminada. El deslizamiento de un dispositivo

cambia la frecuencia natural de la estructura y permite a ésta alterar su forma del modo fundamental durante un sismo severo.

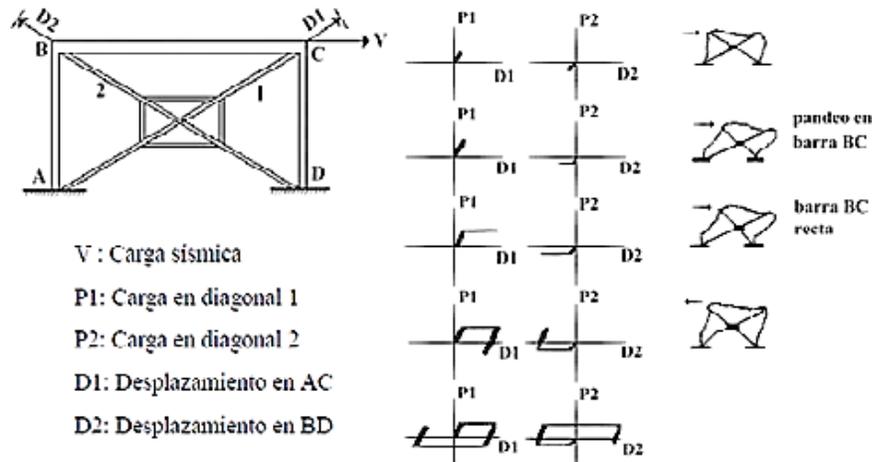


Figura 3. 7 Esquema de trabajo del dispositivo PALL

En este sistema se presentan 5 estados fácilmente visualizables del sistema de marco arriostrado cuando se somete a una carga cíclica y se describen como:

- En un principio tanto la diagonal de tracción como la de compresión son solicitadas, pero permanecen en un rango elástico.
- Para una carga muy baja, la diagonal en compresión se pandea mientras que la diagonal en tracción aún permanece elástica.
- El dispositivo está diseñado para que se deslice antes que el material fluya en la diagonal traccionada. Cuando el deslizamiento ocurre los cuatro elementos de unión del mecanismo especial son activados y deformados en forma de romboide. Se asume que esta deformación elimina el pandeo de la diagonal comprimida, por lo que al final del deslizamiento la carga de la diagonal comprimida seguirá siendo P2, sin embargo, se asume que la diagonal está completamente recta.
- Cuando la carga se invierte, la diagonal que ahora está recta puede inmediatamente absorber energía en tracción.

- e. Después de un ciclo completo, los resultados de las áreas de los ciclos de histéresis son completamente idénticos en ambas diagonales. De esta manera, la disipación de energía es comparable con la de una unión simple de fricción cuando es diseñada para que no se produzca pandeo en compresión. Es decir, la energía disipada en cada ciclo tiende a ser el doble.

3.5.2. Dispositivo SBC (Slotted Bolted Connection)

Este dispositivo fue diseñado para aplicarlo en estructuras de marcos rígidos. Un dispositivo SBC (Slotted Bolted Connection) (Conexiones apernadas ranuradas) es básicamente la modificación de una conexión apernada típica. Consiste de una placa principal apernada entre dos placas exteriores. Para crear un disipador SBC se practican ranuras paralelas a la línea de carga en la placa principal, de modo que ésta se pueda deslizar entre las placas exteriores.

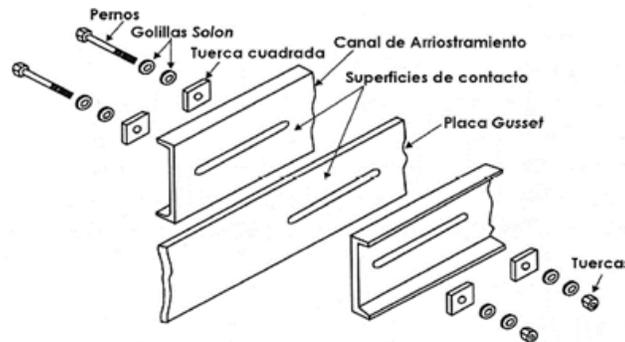


Figura 3. 8 Disipador friccionante SBC

Todas las placas son de acero industrial estándar y las superficies deslizantes están recubiertas con láminas o placas de bronce asbesto o algún tipo de aleación, dependiendo de las características que se deseen en el disipador SBC. Así, al evitar el roce entre superficies de la misma naturaleza, se logra un comportamiento histeréticos estable, eliminando problemas de roce excesivo, abrasión y soldadura entre placas por aumentos violentos de temperatura.

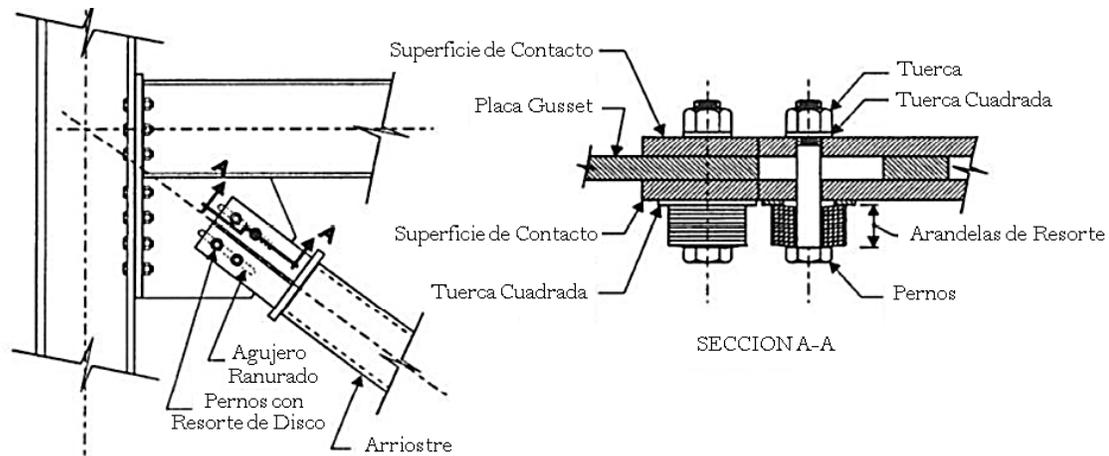


Figura 3. 9 Vista perfil de una conexión SBC en un edificio de acero

Los dispositivos SBC se diseñan como parte de una estructura secundaria inserta dentro de la estructura primaria original. Ellos se ubican en la estructura secundaria de manera tal que los desplazamientos relativos que experimenta la estructura primaria generen el nivel de carga necesario para activarlos. Así, cuando la tracción o compresión aplicadas a la conexión exceden, las fuerzas friccionales desarrolladas entre las superficies deslizantes, la placa principal se desplaza. De este modo se disipa energía mediante fricción durante ciclos de carga rectilíneos de tracción y compresión. Este proceso se repite con un deslizamiento en la otra dirección al cambiar el sentido de la fuerza aplicada.

El parámetro principal que determina el comportamiento del dispositivo SBC se denomina carga de deslizamiento inicial, que es la carga mínima para lograr el deslizamiento entre placas. La aplicación de ciclos de carga de gran magnitud por sobre la carga de deslizamiento inicial genera curvas de histéresis aproximadamente rectangulares.

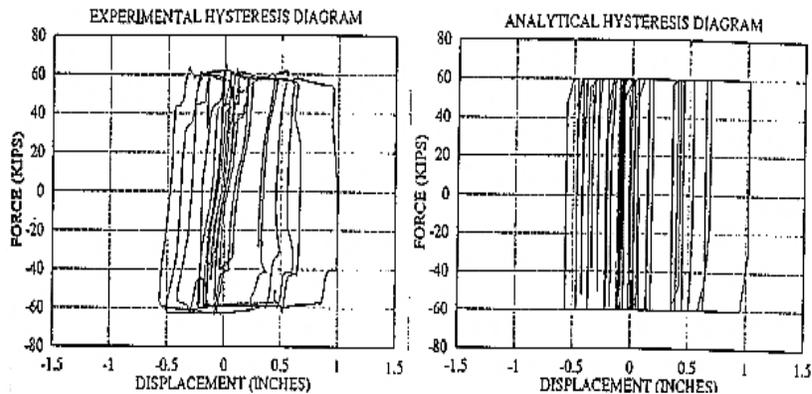


Figura 3. 10 Curvas de histéresis de dispositivo SBC

La energía disipada por un dispositivo friccional es igual al producto de la carga de deslizamiento por el deslizamiento que provoca, para cargas de deslizamiento inicial muy bajas la energía disipada es cero ya que no hay desplazamiento relativo entre las placas. Por otro lado, si la carga de deslizamiento es muy alta habrá un nivel de deslizamiento relativo, pero la energía disipada será despreciable. Entre estos dos extremos hay un valor de carga que entrega el máximo de energía disipada llamada carga óptima de deslizamiento, la cual minimiza la diferencia entre la cantidad de energía entregada al dispositivo y la cantidad de energía disipada. Dicha carga depende de la estructura y del nivel de control que se desee lograr en ella.

Para que los disipadores de fricción trabajen efectivamente, la estructura a la que se incorporen debe experimentar desplazamientos relativos que generen esfuerzos axiales que superen a la carga de deslizamiento inicial, o bien a la carga óptima de deslizamiento. Que la estructura sea capaz de activar sus dispositivos de fricción depende del nivel de los desplazamientos relativos que experimente o de la fuerza que genere sobre ellos.

Frente a sismos severos, los dispositivos deslizan al alcanzarse la carga óptima predeterminada y disipan la mayor parte de la energía que entrega el sismo antes de que ocurra daño en elementos estructurales del sistema primario. Esto permite al edificio permanecer elástico o al menos demorar la fluencia de sus miembros principales.

Los estudios dinámicos paramétricos han demostrado que la carga óptima de deslizamiento es independiente del sismo y es una propiedad de la estructura y que una variación de alrededor de 20% en la carga de deslizamiento no afecta significativamente la respuesta del edificio.

3.5.2.1. Carga óptima de deslizamiento

El parámetro más importante en el diseño de los dispositivos SBC es la carga de deslizamiento inicial, que es la carga mínima para lograr el deslizamiento entre las placas. La disipación en estos dispositivos se produce cuando el ciclo de cargas es mayor a la carga de deslizamiento inicial.

Para valores muy altos de esta carga de deslizamiento inicial, va a ser muy difícil provocar el deslizamiento entre las placas por lo que la energía disipada puede ser mínima. Por otro lado, para valores muy bajos de la carga de deslizamiento inicial, la fuerza normal que existe entre las placas y que da origen a la fricción puede ser muy baja, por lo que aunque se produzcan grandes deslizamientos relativos entre las placas, la energía disipada puede ser de igual forma mínima.

3.5.3. Dispositivo Sumitomo

La empresa Sumitomo Metal Industries Ltd. en Japón ha desarrollado y manufacturado dispositivos amortiguadores de fricción para absorber golpes en carros de carga de trenes. Sólo a mediados de los años 80 los amortiguadores de fricción han sido llevados al campo de la ingeniería estructural sísmica.

En la siguiente figura 3.11 se muestra un corte longitudinal y transversal de un típico amortiguador de fricción Sumitomo:

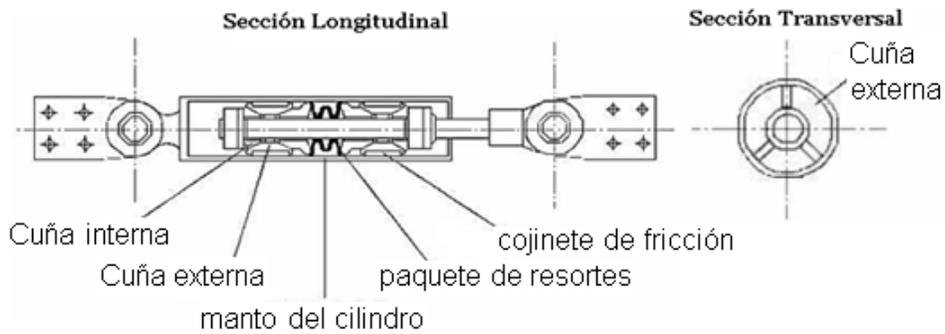


Figura 3. 11 Corte longitudinal y transversal del dispositivo Sumitomo

Este dispositivo consiste en una serie de cuñas que actúan unas en contra de las otras cuando se encuentran bajo una carga que al actuar sobre el resorte crea fuerzas en los cojinetes. Los cojinetes deslizan directamente por sobre la superficie de acero interior del dispositivo. Los cojinetes de fricción son una mezcla de cobre que tiene incrustaciones de grafito los que proveen lubricación seca al sistema, asegurándose de lograr una fuerza de fricción estable y reduciendo el ruido durante el movimiento. Para fuerzas menores que la fuerza de deslizamiento, los cojinetes no se deslizan y en consecuencia no disipan energía.

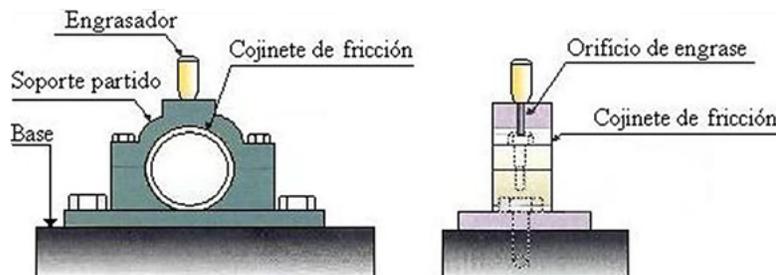


Figura 3. 12 Partes de un dispositivo Sumitomo

Este tipo de amortiguador aprovecha el desplazamiento relativo entre el arriostamiento y la viga para disipar la energía de vibración y de esta forma reducir el movimiento de respuesta de la estructura. Estos dispositivos tienen un gran rendimiento. Su comportamiento histerético es extremadamente regular y reiterarle. Además, su comportamiento (respuesta fuerza desplazamiento) no se ve afectado por la amplitud, ni la frecuencia, ni temperatura, ni el número de ciclos de cargas. El comportamiento histerético estable de este dispositivo de fricción hace que sean particularmente tratables para una modelación exacta.

CAPITULO IV: DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

4.1. Descripción del disipador

Estos disipadores aumentan considerablemente la capacidad de la estructura para disipar energía. La disipación de energía se obtiene debido a la deformación por cortante del material viscoelástico. Su comportamiento depende de la velocidad con la que se genera la deformación durante los ciclos de carga. El más utilizado de estos materiales viscoelásticos corresponde a una clase de copolímero de acrílico que ha sido desarrollado por la empresa estadounidense 3M Co. (Minnesota Mining and Manufacturing (3M) Company).

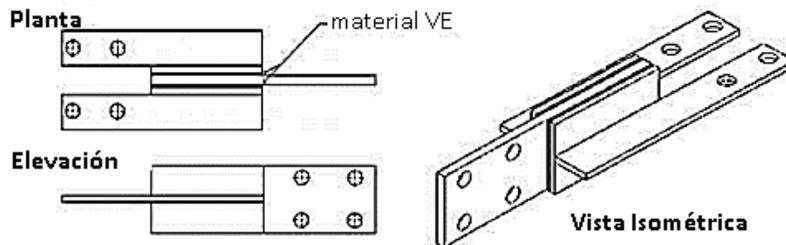


Figura 4. 1 Vista isométrica, planta y elevación del amortiguador viscoelástico 3M.

Estos disipadores presentan curvas histeréticas casi elípticas. Estos dispositivos han sido empleados con éxito, durante los últimos treinta años, para reducir la respuesta de edificios altos ante la acción del viento. De forma más reciente se ha estudiado su utilización con fines sismorresistentes.

4.2. Clasificación de los disipadores viscoelásticos

4.2.1. Sistemas viscoelásticos sólidos

Los sistemas de viscoelásticos sólidos están constituidos por una capa de material viscoelástico ubicada entre dos placas de acero, usualmente acopladas a los arriostres que conectan los extremos del entrepiso.

Estas sustancias usualmente son copolímeros o sustancias vídriosas que disipan energía cuando están sujetas a deformación por corte. Cuando son montadas en una estructura, la deformación por corte y por consiguiente la disipación de energía ocurre cuando la vibración estructural induce el movimiento relativo entre las láminas de acero exteriores y el plato central.

Estos materiales son dependientes de la temperatura ambiente, así mismo estos materiales en la mayoría de las aplicaciones estructurales su modelación corresponde la modelo de Kelvin-Voight.

En la siguiente figura 4.2 se presentan los componentes y configuración de los disipadores viscoelásticos sólidos.

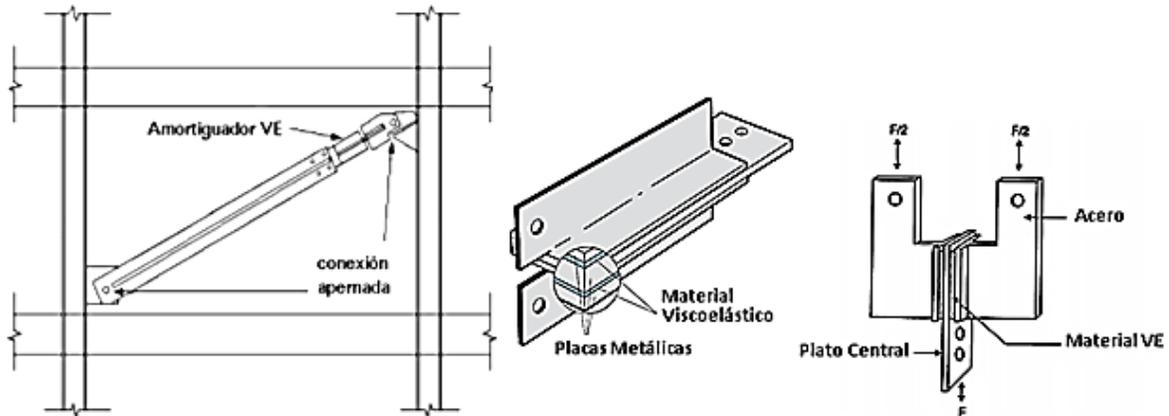


Figura 4. 2 Componentes e instalación típica de un disipador viscoelástico en un marco arriostrado

4.2.2. Fluidos viscoelásticos

La disipación de energía ocurre vía conversión de la energía mecánica al calor relacionada a la deformación del pistón y a la sustancia altamente viscosa similar a un gel de silicona. Estos dispositivos son dependientes de la temperatura y frecuencia de la estructura.



Figura 4. 3 Disipador de fluido viscoelástico

4.3. Tipo de disipadores viscoelásticos

4.3.1. Amortiguador viscoelástico 3M

El amortiguador de corte viscoelástico comprende dos o más capas de material con una configuración tipo sándwich. Generalmente, son introducidos en los arriostramientos de diagonales.

El material 3M desarrollado por la empresa estadounidense 3M Co. (Minnesota Mining and Manufacturing (3M) Company), este es uno de los cuatro tipos de polímeros altamente disipativos, que se encuentran generalmente disponibles en 3M. Los materiales tienen características dinámicas estables, son químicamente inertes, y poseen buenas propiedades de envejecimiento. Además, son resistentes a los contaminantes ambientales. El comportamiento del material VE es influenciado por tres propiedades portantes estas son: el módulo de pérdida de corte, el módulo de almacenamiento de corte y su razón, que es el factor de pérdida de corte.

El primero y más notable ejemplo en que se han utilizado amortiguadores viscoelásticos 3M lo constituyen las torres gemelas en Nueva York, el World Trade Center en el cual se instalaron 1000 amortiguadores en el año 1969. El diseño de los dispositivos fue hecho para reducir las vibraciones inducidas por el viento a niveles que fueran imperceptibles para las personas que se encontrarán en su interior.

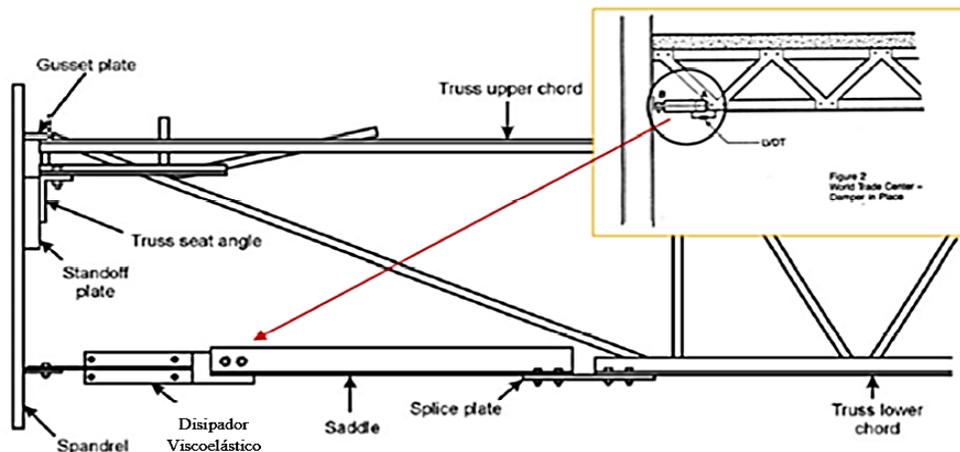


Figura 4. 4 Forma de instalación de disipadores viscoelásticos

4.3.2. SAVE

Este dispositivo de tipo pasivo, es un amortiguador viscoelástico denominado SAVE, cuyo nombre proviene de "Shimizu Asphaltic Visco Elastic Damper" y es desarrollado por la empresa japonesa Shimizu Corporation.

El amortiguador SAVE está compuesto de múltiples capas, que van alternando placas de acero y material viscoelástico, que son insertados dentro de los muros del edificio. De esta forma, en respuesta a la distorsión del edificio, los materiales viscoelásticos se deforman y absorben energía reduciendo así las vibraciones. En otras palabras, el amortiguador utiliza el desplazamiento relativo entre pisos para disipar la energía. Por ello son instalados en cada piso del edificio. El amortiguador SAVE utiliza como material viscoelástico un tipo de asfalto que tiene las características mecánicas de un material polímero termoplástico.

Este dispositivo no necesita ninguna instalación adicional y se instala dentro de la parte superior de los muros del edificio, a lo largo de éstos. De esta manera, el amortiguador se conecta al muro por su parte inferior y a la viga por su parte superior. En la figura 4.4 se muestra un esquema del amortiguador SAVE y la forma de funcionamiento del amortiguador.

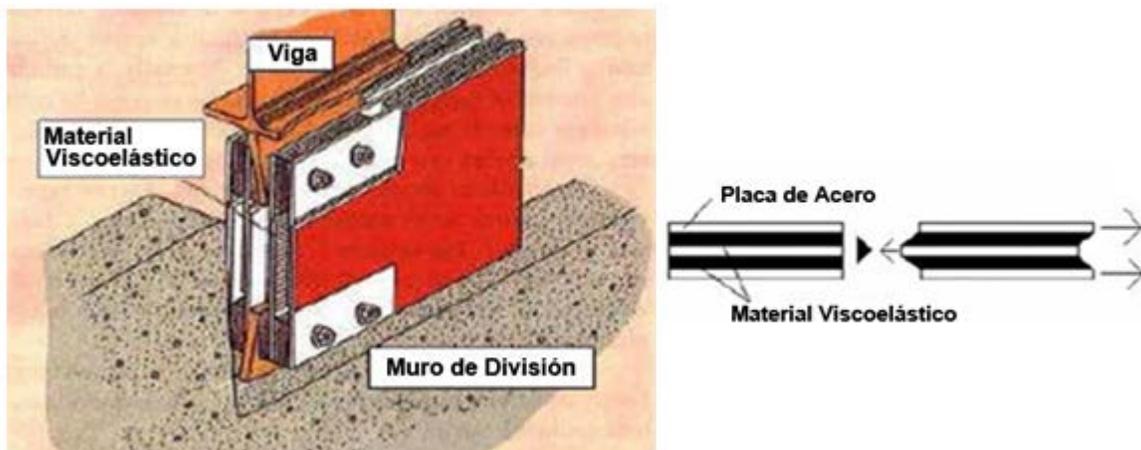


Figura 4. 5 Esquema del disipador SAVE

4.3.3. VSAVE

Este dispositivo de tipo pasivo, es un amortiguador viscoelástico que aplica algunos principios del amortiguador SAVE, con la diferencia que reduce la vibración vertical en los pisos y vigas principales. Al igual que el amortiguador SAVE este dispositivo es desarrollado y fabricado por la empresa japonesa Shimizu Corporation. El amortiguador V-SAVE está compuesto por múltiples capas que van alternando placas de acero y material viscoelástico. El equipo con el material viscoelástico es fijado por debajo de la viga por medio de pernos y esta al deformarse, por medio de una carga vertical o flexional, produce que el material viscoelástico se deforme.

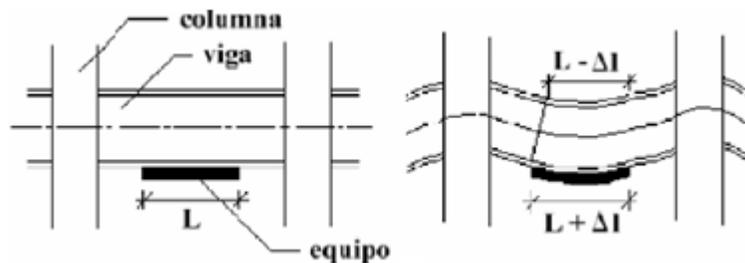


Figura 4. 6 Descripción de la distorsión del dispositivo V-SAVE ubicado por debajo de la viga

El amortiguador V-SAVE es efectivo para reducir la respuesta de vibración vertical a cargas que produzcan la tracción en la fibra inferior de la viga. Una ventaja del dispositivo es que no necesita ninguna instalación adicional y es de fácil colocación.

4.4. Comportamiento de un disipador viscoelástico

La fuerza del disipador viscoelástico (VE) sigue el modelo de Kelvin-Voigth:

$$F(t) = k'u(t) + c'\dot{u}(t)$$

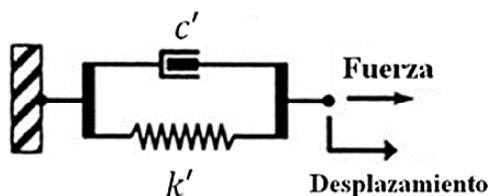


Figura 4. 7 Modelo físico idealizado de un disipador VE

El modelo físico idealizado consiste en un resorte lineal con rigidez k' que actúa en paralelo con un amortiguador viscoso de coeficiente c' .

La expresión básica que rige el comportamiento elástico del resorte es la ley de Hooke, que establece la proporcionalidad entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones obtenidas. De esta manera, la primera componente de la fuerza del disipador conocida como Fuerza de restauración, definida por $k'u(t)$ que es proporcional al desplazamiento y depende de la elasticidad del material.

Por otro lado, los materiales viscosos definen su comportamiento a partir de la Ley de Newton, que establece la proporcionalidad entre los esfuerzos aplicados y la velocidad de variación de las deformaciones. De este modo el segundo componente de la fuerza del disipador es conocida como la Fuerza de disipación definida por $c'\dot{u}(t)$ que es proporcional a la velocidad de las deformaciones y depende la viscosidad del material (Balart, 2007; Symans et al., 2008). Por tanto, el material viscoelástico tiene la capacidad de almacenar energía además de disipar energía (Symans et al., 2008).

4.4.1. Comportamiento de material viscoelástico sujeto a fuerza sinusoidal

De acuerdo a Lai (1996), Soong & Dargush (1997) y Villaverde (2009) cuando un material viscoelástico se encuentra bajo una fuerza sinusoidal con frecuencia ω , el esfuerzo de cortante $\tau(t)$ y la deformación por cortante $\gamma(t)$, oscilan a la misma frecuencia ω pero generalmente desfasados a un ángulo δ , siguiendo la forma:

$$\tau(t) = \tau_o \sin(\omega t + \delta) \quad \gamma(t) = \gamma_o \sin \omega t$$

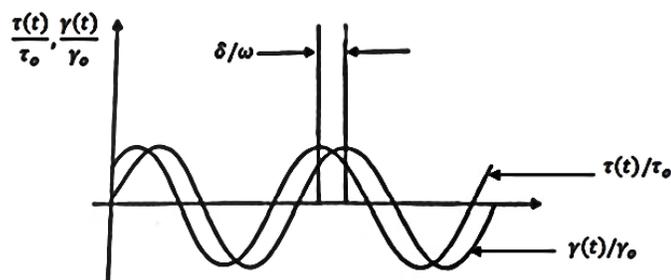


Figura 4. 8 Esfuerzo y deformación debido a una carga sinusoidal (Soong & Dargush, 1997)

El comportamiento de los materiales viscoelásticos es caracterizado generalmente por el módulo de almacenamiento por cortante G' , que es una medida de la energía

almacenada y recuperada por ciclo; y el módulo de pérdida por cortante G'' , que indica una medida de la energía disipada por ciclo.

El esfuerzo de cortante puede ser expresado en función del desplazamiento:

$$\tau(t) = \gamma_0 [G'(\omega) \sin \omega t + G''(\omega) \cos \omega t]$$

También puede ser escrita de la siguiente manera:

$$\tau(t) = G'(\omega) \gamma(t) + \frac{G''(\omega)}{\omega} \dot{\gamma}(t) \rightarrow \dot{\gamma}(t) = \gamma_0 \omega \cos \omega t$$

El primer término es la porción que está en fase con $G'(\omega)$ representando la rigidez elástica, y el segundo término es la porción fuera de fase con $G''(\omega)/\omega$ representando la constante de amortiguamiento.

Si se grafica la ecuación del esfuerzo de cortante para la deformación de corte, se obtiene una histéresis elíptica, cuya área encerrada por la elipse representa la energía disipada por ciclo.

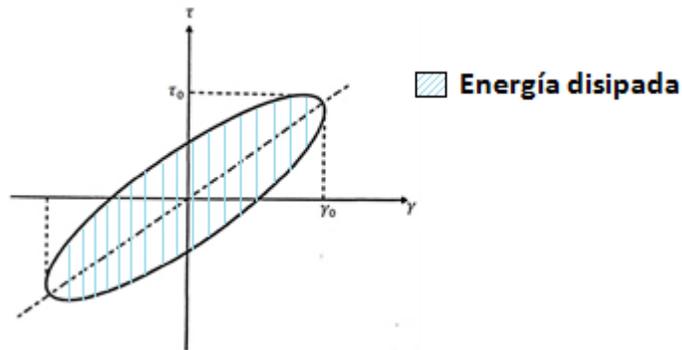


Figura 4. 9 Diagrama esfuerzo vs deformación para un material viscoelástico

4.4.2. Comportamiento de disipador viscoelástico sujeto a fuerza sinusoidal

El comportamiento de un disipador viscoelástico puede ser caracterizado por el almacenamiento de rigidez k' y la pérdida de rigidez k'' que están relacionados con G' y G'' de la siguiente manera:

$$k' = \frac{G'A}{h} \quad k'' = \frac{G''A}{h} \quad \eta = \frac{k'}{k''}$$

Donde A es el área total de corte y h es el espesor de la capa de material viscoelástico. El área necesaria A de material VE es:

$$A = \frac{K'h}{G'}$$

El factor de amortiguamiento crítico del disipador viscoelástico está expresado por:

$$\zeta' = \frac{c'}{2m\omega} = \frac{c'\omega}{2k'}$$

4.5. Consideraciones de diseño estructural con disipadores viscoelásticos

A partir de Villarreal & Oviedo (2008) y Villaverde (2009) se desarrolla cada paso del proceso de diseño basado en el comportamiento de un sistema de 1GDL con disipadores viscoelásticos sujetos a un evento sísmico:

- a. **El análisis y diseño de la estructura sin considerar disipadores VE.** De esta manera, se determinan las propiedades estructurales y comportamiento dinámico de la misma. Se calculan las derivas entrepisos.
- b. **Determinar el factor de amortiguamiento equivalente necesario.** Se lo puede conseguir del espectro de respuesta que haya sido usado en el primer paso descrito.
- c. **Seleccionar la ubicación disponible para los disipadores VE.** Los disipadores pueden ser ubicados en cualquier lugar disponible donde sea posible que deformaciones por cortante ocurran en los disipadores VE. Generalmente son ubicados como arrojamientos diagonales.
- d. **Diseño de disipadores viscoelásticos.** La constante de rigidez del disipador puede ser calculada a partir de la ecuación (Soong & Dargush, 1997, pág. 156):

$$k' = \frac{2\zeta}{\eta - 2\zeta} k$$

Donde ζ es el factor de amortiguamiento adicional necesario, k' es la rigidez del disipador VE; k es la rigidez de la estructura sin disipadores VE, y η es el factor de pérdida del disipador VE.

El factor de pérdida η también es usado como un indicador de la capacidad de disipación de energía de un material VE y se define como la razón entre el módulo de pérdida y de almacenamiento por cortante:

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \tan \delta ; \text{ Donde : } G'(\omega) = \frac{\gamma_0}{\tau_0} \cos \delta \quad G''(\omega) = \frac{\gamma_0}{\tau_0} \sin \delta$$

Las propiedades mecánicas (G' y G'') pueden ser obtenidas a partir de las figuras 4.9 y 4.10:

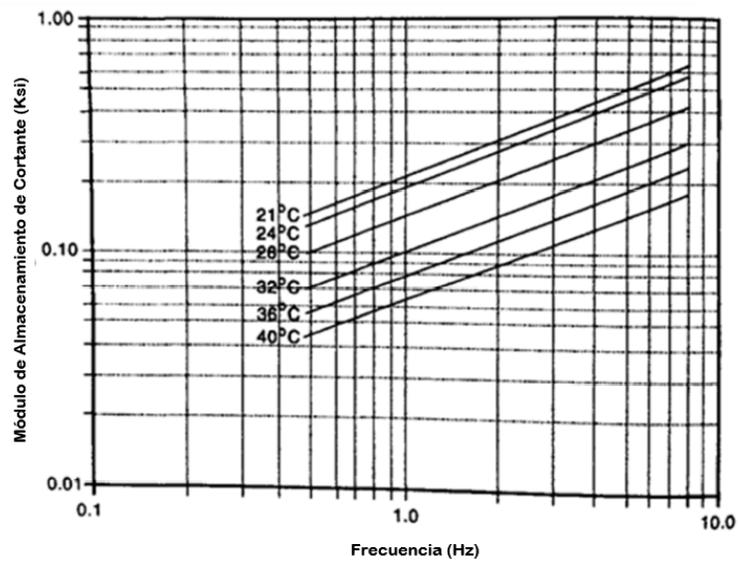


Figura 4. 10 Variación aproximada del Módulo de almacenamiento de cortante G' con respecto a la frecuencia y la temperatura ambiente. Soong & Dargush (1997), Villaverde (2009)

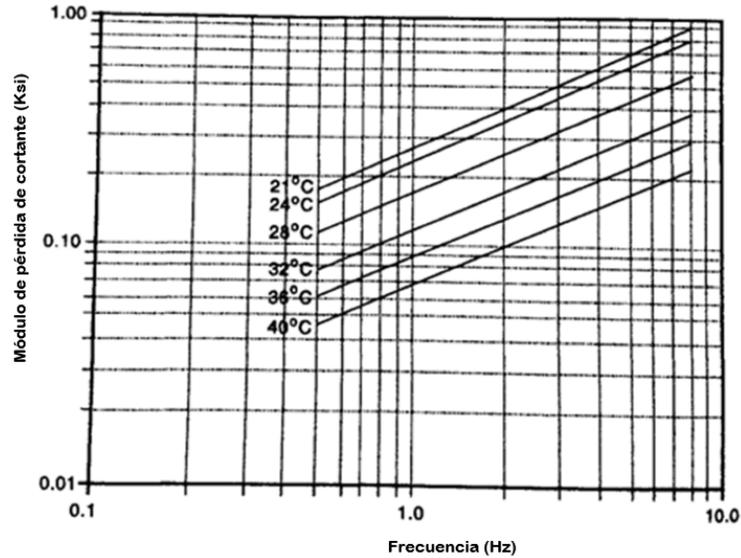


Figura 4. 11 Variación aproximada del Módulo de pérdida de cortante G'' con respecto a la frecuencia y la temperatura ambiente. Soong & Dargush (1997), Villaverde (2009)

El coeficiente de amortiguamiento viscoso del disipador se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$c' = \frac{G'' A}{(2\pi/T)h}$$

- e. **Calcular el factor de amortiguamiento crítico equivalente del sistema estructural con disipadores viscoelásticos.** Se calcula primero los coeficientes de rigidez \bar{k} . Y amortiguamiento \bar{c} del sistema estructural, luego se calcula el factor de amortiguamiento crítico equivalente del sistema:

$$\bar{\zeta} = \frac{\bar{c}}{2\sqrt{\bar{k}m}}$$

Dónde:

$$\bar{c} = c' \cos^2 \theta \quad \bar{k} = k' \cos^2 \theta$$

- f. **Efectuar un análisis dinámico de la estructura usando el factor de amortiguamiento crítico de diseño.** Si se llega a los objetivos de análisis y diseño propuestos, entonces el diseño se considera completo. De lo contrario, un nuevo ciclo de diseño se debe ejecutar lo que puede originar nuevas propiedades estructurales, ubicación de disipadores, etc. Hay que tener en

cuenta que luego de cada proceso interactivo de diseño, las propiedades estructurales deben ser actualizadas.

En el siguiente diagrama de flujo se refleja un resumen de los pasos de proceso de diseño:

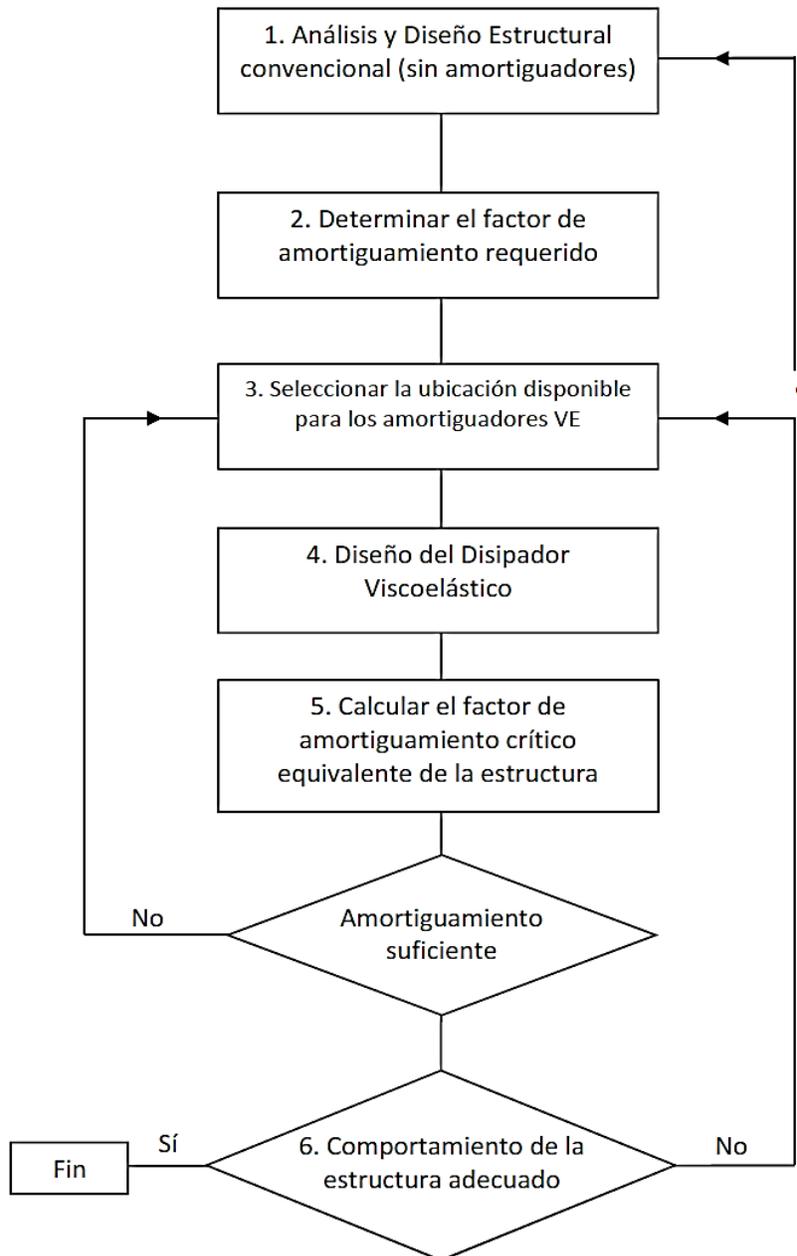


Figura 4. 12 Diagrama de flujo del proceso de diseño estructural con disipadores VE (Soon & Dargush, 1997)

CAPITULO V: ANÁLISIS CON DISIPADORES FRICCIONANTES

5.1. Metodología de análisis

Para verificar las ventajas que ofrecen el empleo de disipadores friccionantes, se considerarán los desplazamientos, derivas, fuerzas internas del edificio como principales indicadores al comparar estos resultados entre el modelo convencional y el modelo con disipadores. Estos resultados se obtendrán del análisis no lineal Tiempo-Historia (FNA) como se describió en el capítulo 2.

Para modelar el disipador friccionante se deben determinar las siguientes características: rigidez, fluencia o límite de fluencia, radio post-fluencia y exponente de fluencia bajo condiciones elásticas, los demás valores son constantes.

5.2. Ubicación de los disipadores

A continuación se presenta la ubicación seleccionada de los disipadores friccionantes y viscoelásticos.

La ubicación seleccionada fue la de los arriostres existentes, con el fin de realizar una mejor comparación de los distintos casos de análisis y reutilizar el perfil metálico en la posible rehabilitación de la estructura.

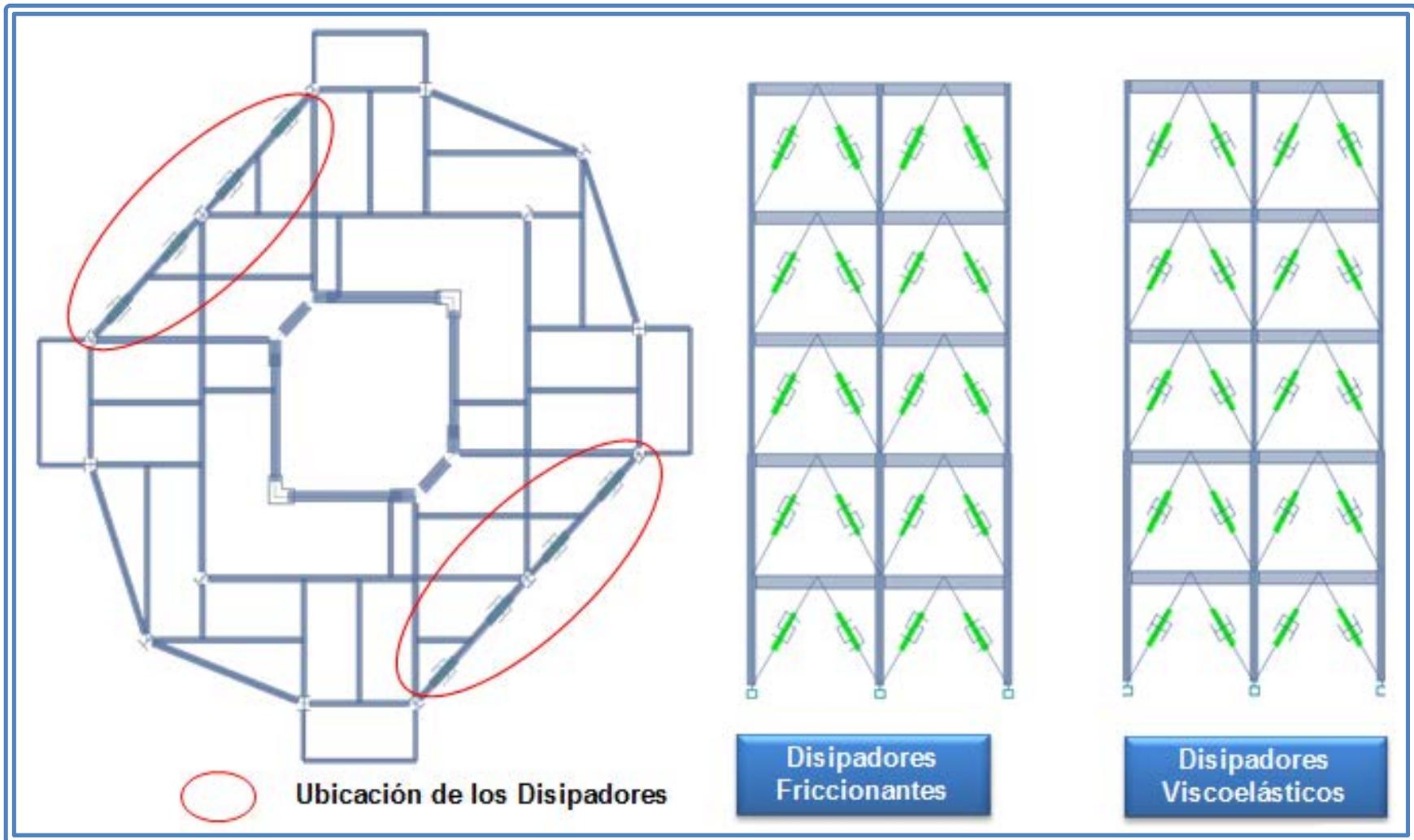


Figura 5. 1 Ubicación de los Disipadores - Escalera

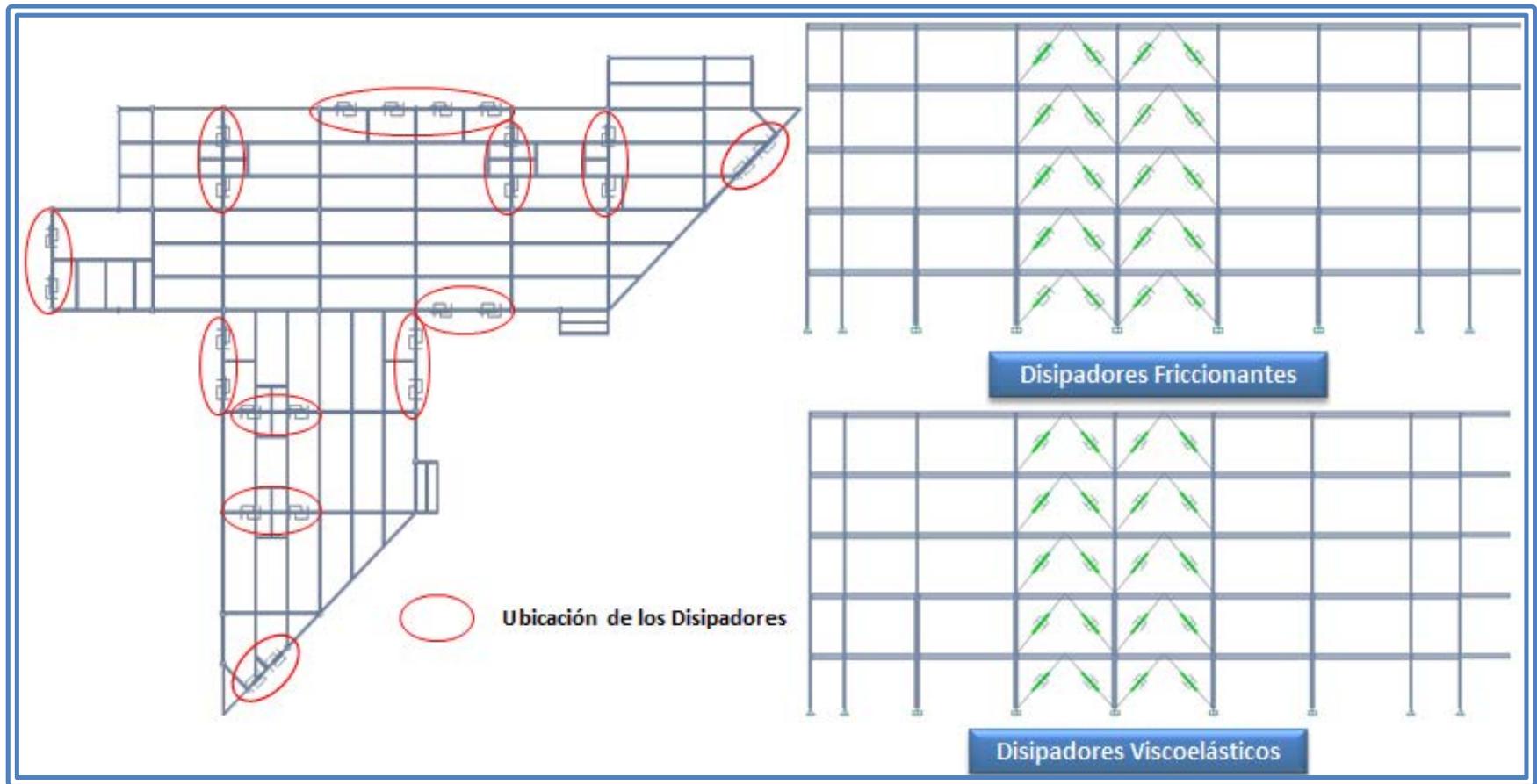


Figura 5. 2 Ubicación de los disipadores - AN y AS

5.3. Calculo de disipadores

5.3.1. Ala Norte y Sur

5.3.1.1. Datos de la estructura convencional

Estos datos han sido presentados en el Capítulo 2, sección 2.3.1.1., los datos se presentan en las tablas 2.3 y 2.4.

5.3.1.2. Propiedades del disipador

- Rigidez del disipador

Tabla 5. 1 Rigidez de los disipadores – AN y AS

Rigidez del disipador				
Sección	Exponente de Fluencia	Radio de rigidez post fluencia	Ke (Ton/m)	Kd=17.5 Ke (Ton/m)
HSS 7x7x5/8 (L=4.91m)(θ = 64°)	0	0.50	37506.826	656369.45
HSS 7x7x5/8 (L=4.57m)(θ = 62°)			40297.266	705202.19
HSS 9x9x5/8 (L=5.7m)(θ = 51°)			43154.94	755211.45
HSS 10x10x5/8 (L=5.42) (θ = 48°)			50966.379	891911.62
HSS 10x10x5/8 (L=5.7m) (θ = 51°)			48462.767	848098.42

- Fuerza de deslizamiento

$$P_y = \frac{C_j * 2\pi^2 * d_0}{4T_1} = \frac{10 * 2\pi^2 * 0.0589}{4 * 0.467} = 6.2278 \text{ Ton}$$

P_y : fuerza de deslizamiento

C_j : radio de amortiguamiento lineal viscoso bajo condiciones elásticas.

d_0 : máximo desplazamiento de diseño del disipador

T_1 : periodo del primer modo de vibración

Tabla 5. 2 Fuerza de deslizamiento en los disipadores – AN y S

Fuerza de Deslizamiento								
Piso	Altura (m)	Cj	Sismo 5.6		Sismo 6.2		Sismo 6.5	
			d ₀	Py	d ₀	Py	d ₀	Py
TECHO	21.73	10	0.0589	6.2278	0.0623	6.5827	0.0278	2.9337
5	17.31		0.0471	4.9789	0.0501	5.2925	0.0213	2.2476
4	12.89		0.0331	3.5021	0.0354	3.7416	0.0141	1.4861
3	8.47		0.0195	2.0597	0.0209	2.2034	0.0078	0.8208
2	4.05		0.0075	0.7943	0.0082	0.8664	0.0028	0.3009

5.3.2. Escalera

5.3.2.1. Datos de la estructura convencional

Estos datos han sido presentados en el Capítulo 2, sección 2.3.1.2., los datos se presentan en las tablas 2.5 y 2.6.

5.3.2.2. Propiedades del disipador

- Rigidez del disipador

Tabla 5. 3 Rigidez de los disipadores - Escalera

Rigidez del disipador				
Sección	Exponente de Fluencia	Radio de rigidez post fluencia	Ke (Ton/m)	Kd=17.5 Ke (Ton/m)
HSS 7x7x5/8 (L=5.1m)(θ = 60°)	0	0.5	36109.513	631916.471
HSS 9x9x5/8 (L=4.78m)(θ = 60°)			48231.992	844059.858
HSS 9x9x5/8 (L=4.78m)(θ = 58°)			51460.912	900565.957

- Fuerza de Deslizamiento

$$P_y = \frac{C_j * 2\pi^2 * d_0}{4T_1} = \frac{10 * 2\pi^2 * 0.0419}{4 * 0.927} = 2.2321 \text{ Ton}$$

Tabla 5. 4 Fuerza de deslizamiento en los disipadores - Escalera

Fuerza de Deslizamiento								
PISO	Altura (m)	Cj	Sismo 5.6		Sismo 6.2		Sismo 6.5	
			d ₀	Py	d ₀	Py	d ₀	Py
TECHO	21.73	10	0.0419	2.2321	0.02975	1.5837	0.0412	2.1954
5	17.31		0.0351	1.8696	0.02415	1.2856	0.0328	1.7450
4	12.89		0.0262	1.3969	0.01936	1.0306	0.0234	1.2478
3	8.47		0.0157	0.8342	0.01259	0.6702	0.0139	0.7410
2	4.05		0.0060	0.3189	0.00512	0.2726	0.0059	0.3114

5.3.3. Número de disipadores

Tabla 5. 5 Número de disipadores

Número de disipadores	
Cuerpo	Número
Ala Norte y Sur	130
Escalera	40

5.4. Datos introducidos en el programa

Estos disipadores deben ser modelados en el programa ETABS® como un elemento tipo link y cuyas características deben estar bajo el modelo de disipador plastic-wen el cual representa mejor el funcionamiento de los disipadores por fricción; se deberán habilitar las características en el eje local donde va a actuar el disipador en este caso es el eje local x en la dirección axial al elemento y activar el modo de elemento no lineal e ingresar los valores correspondientes. Los valores constantes utilizados en el diseño fueron obtenidos de las características propias de los materiales utilizados por el fabricante.

Es importante conocer la orientación exacta de los ejes locales de la barra para poder asignar las propiedades en la dirección adecuada. La dirección U1 coincide con el eje X en que están instalados los disipadores y es donde se espera que ejerzan trabajo mecánico.

Creado el elemento con sus características se colocará en el modelo y dibujará en la ubicación donde se quiere modelar el disipador, modelado se procede a realizar el análisis tiempo historia y procesar los datos obtenidos.

En el programa ETABS® se procede de la siguiente manera:

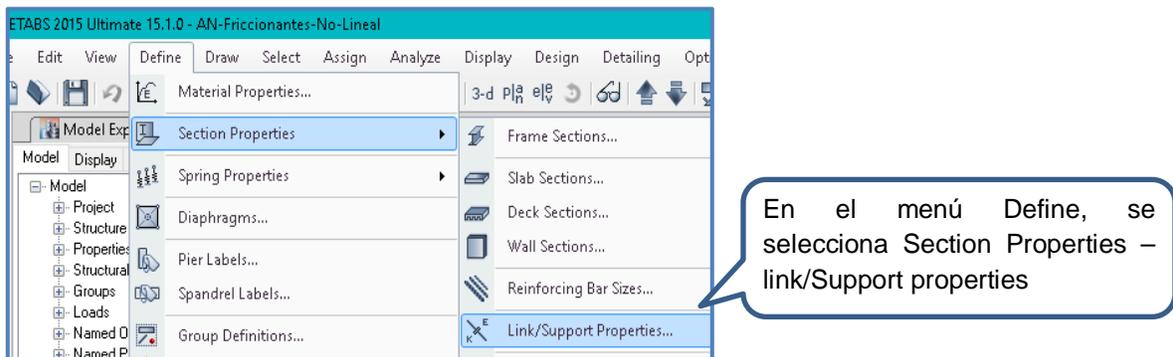


Figura 5. 3 Definición de disipadores en ETABS®

En el caso del Ala Norte y Sur se introdujeron los siguientes disipadores

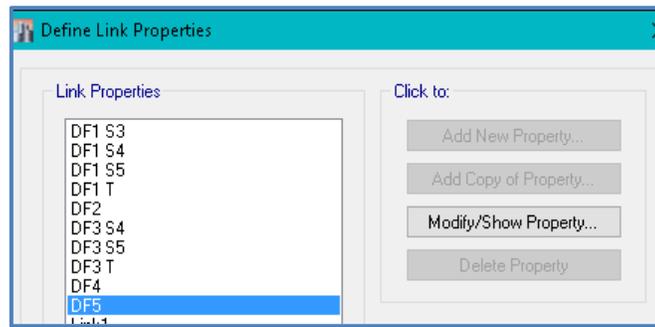


Figura 5. 4 Disipadores friccionantes de AN y AS introducidos en el ETABS®

Las propiedades de los disipadores se definieron como se muestran en la figura 5.3, la dirección de los elementos se fijaron en U1 y como elementos no lineal.

Las propiedades que requiere el programa tales como Stiffness y Yield Strenght, corresponden a los valores calculados en la tabla 5.3 y 5.4 de este capítulo respectivamente. Los demás valores como Post Yield Stiffness y Yielding exponent fueron tomados de valores estándar para este tipo de disipadores. Que en nuestro caso dicho valores son los que se presentan en la figura 5.3.

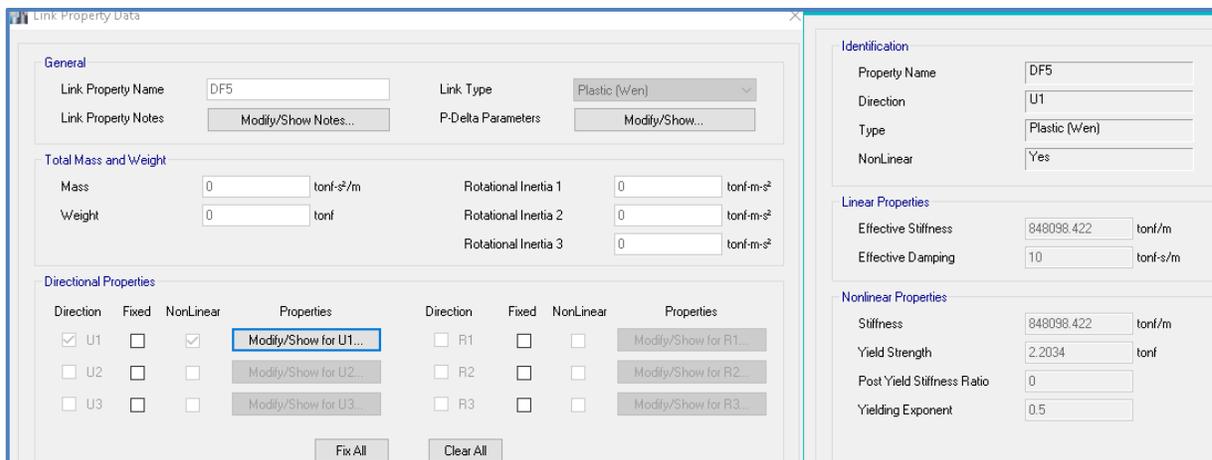


Figura 5. 5 Propiedades del disipador friccionante DF5 del AN y AS introducidos en el ETABS®

De igual manera en la Escalera se obtuvieron los siguientes disipadores y sus características:

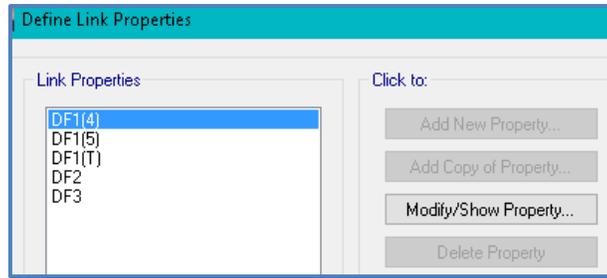


Figura 5. 6 Disipadores friccionantes de Escalera introducidos en el ETABS®

Los valores de Stiffness y Yield Strenght, corresponden a los valores calculados en la tabla 5.7 y 5.8 de este capítulo respectivamente. Los demás valores como Post Yield Stiffness y Yielding exponent fueron tomados de valores estándar para este tipo de disipadores. Que en nuestro caso dicho valores son los que se presentan en la figura 5.5.

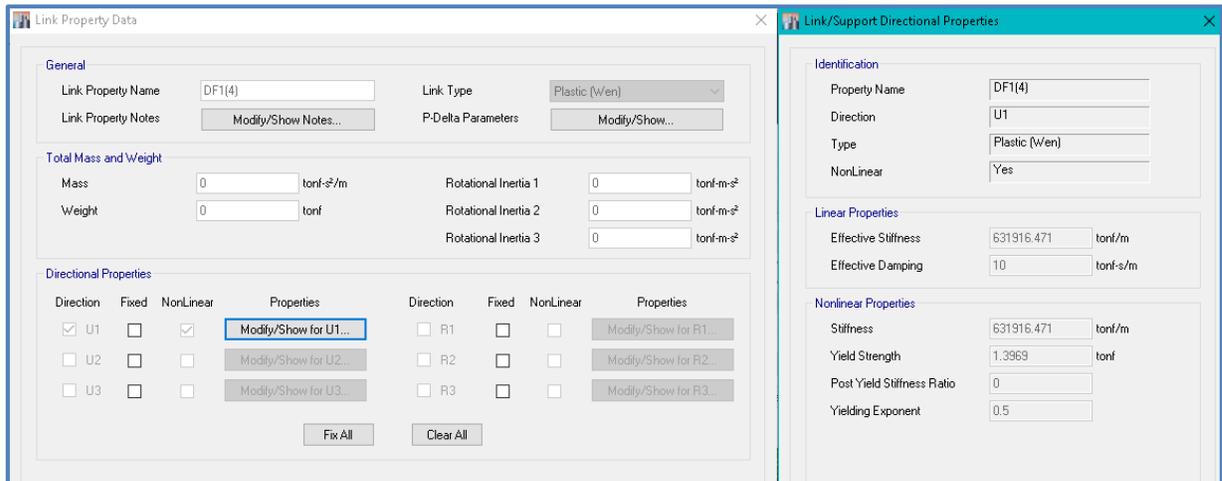


Figura 5. 7 Propiedades del disipador friccionante DF1 (4) de la Escalera introducidos en el ETABS®

CAPITULO VI: ANÁLISIS CON DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

6.1. Metodología de análisis

Al igual que en el Capítulo 5 se realizará un análisis Tiempo Historia (FNA) a la estructura con disipadores viscoelásticos, con el fin de obtener los parámetros a comparar entre los modelos en estudio, y verificar sus ventajas.

Para modelar el disipador viscoelástico se debe haber calculado sus características como: coeficiente de amortiguamiento, exponente de amortiguamiento, y la rigidez.

6.2. Ubicación de disipadores

La ubicación seleccionada de los disipadores se presentó en el Capítulo 5, Sección 5.2.

6.3. Cálculo de disipadores

6.3.1. Ala Norte y Sur

6.3.1.1. Datos de estructura convencional

Estos datos han sido presentados en el Capítulo 2, sección 2.3.1.1., los datos se presentan en las tablas 2.3 y 2.4.

6.3.1.2. Módulo de Almacenamiento

Los valores de módulo de almacenamiento de cortante y módulo de pérdida de cortante serán obtenidas de las gráficas mostradas en el Capítulo 4 sección 4.5.

- Módulo de Almacenamiento de Cortante.

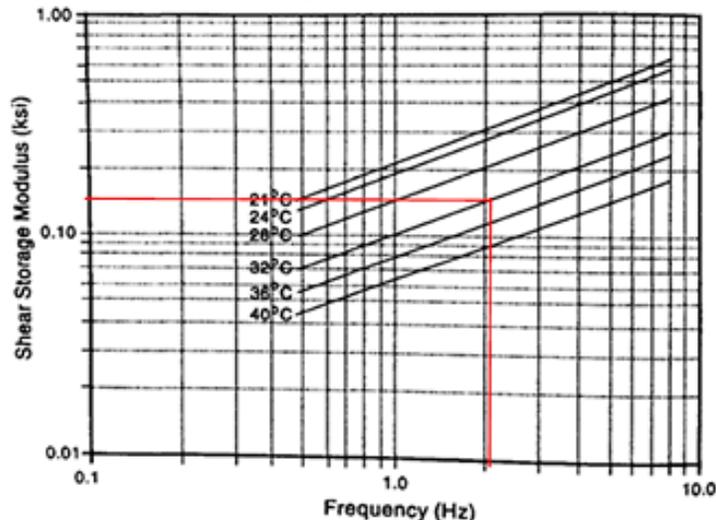


Figura 6. 1 Módulo de almacenamiento según frecuencia y temperatura promedio – AN y AS

$$G' = 0.16 \text{ ksi} = 112.72 \text{ Ton/m}^2$$

- Módulo de Pérdida de Cortante

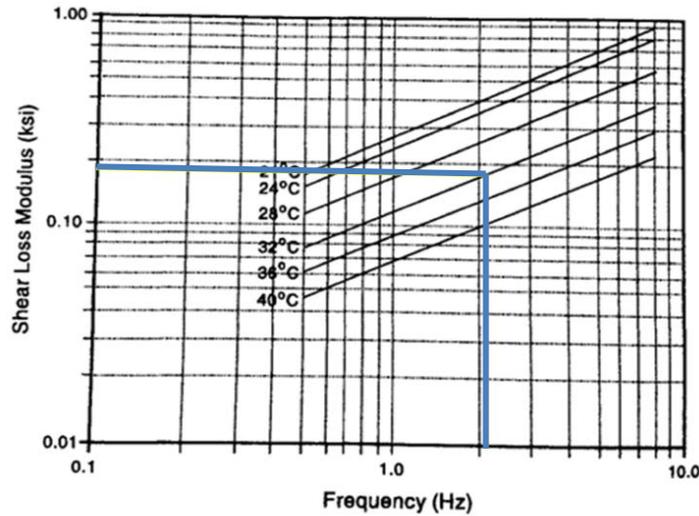


Figura 6. 2 Módulo de pérdida de cortante según frecuencia y temperatura promedio – AN y AS

$$G'' = 0.19 \text{ ksi} = 133.864 \text{ Ton/m}^2$$

- Pérdida de Cortante

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \frac{0.19}{0.16} = 1.187$$

6.3.1.3. Rigidez del disipador

- Amortiguamiento Total Objetivo

$$\zeta' = 20 \%$$

- Rigidez del arriostre con disipador

El siguiente valor se calcula de acuerdo al Capítulo 4, Sección 4.5. Se calculará a manera de ejemplo el arriostre HSS 7x7x5/8 (L=4.91m) ($\theta = 64^\circ$), los demás valores de rigidez de arriostres con disipador se presentaran en la tabla 6.1.

$$k' = \left(\frac{2 * \delta'}{\eta - 2\delta'} \right) (k) = \left(\frac{2 * 0.2}{1.187 - (2 * 0.2)} \right) (37,506.826) = 19,051.086 \text{ Ton/m}$$

Tabla 6. 1 Rigidez del arriostre con disipador- AN y AS

Rigidez del arriostre con disipador - Ala Norte y Sur			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=4.91m)(θ=64°)	<i>k'</i>	19051.086	Ton/m
HSS 7x7x5/8 (L=4.57m) (θ=62°)		20468.453	
HSS 9x9x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		21919.969	
HSS 10x10x5/8 (L=5.42m) (θ=48°)		25887.684	
HSS 10x10x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		24616.009	

6.3.1.4. Dimensiones del disipador

Los siguientes cálculos se harán según la el Capítulo 4, Sección 4.4.

Tabla 6. 2 Dimensiones de material viscoelástico - AN y AS

Dimensiones de Material – Ala Norte y Sur		
Propiedad	Abrev.	Valor
Número de capas de material viscoelástico	N	2
Espesor de cada capa de material viscoelástico	e	0.1 m
Espesor total de material Viscoelástico	N* e	0.02 m

- Área necesaria de material viscoelástico

HSS 7x7x5/8 (L=4.91m) (θ=64°)

$$A = \frac{k' * h}{G'} = \frac{19,051.086 \text{ Ton/m} * 0.02 \text{ m}}{112.727 \text{ Ton/m}^2} = 3.38 \text{ m}^2$$

Tabla 6. 3 Área del disipador - AN y AS

Área del disipador – Ala Norte y Sur			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=4.91m)(θ=64°)	<i>A</i>	3.38	m ²
HSS 7x7x5/8 (L=4.57m) (θ=62°)		3.63	
HSS 9x9x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		3.89	
HSS 10x10x5/8 (L=5.42m) (θ=48°)		4.59	
HSS 10x10x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		4.37	

6.3.1.5. Coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente

HSS 7x7x5/8 (L=4.91m) (θ=64°)

$$C_d = \frac{G'' * A}{\left(\frac{2\pi}{T}\right) * h} = \frac{133.864 * 3.38 \text{ m}^2}{0.467 \text{ seg} * 0.02 \text{ m}} = 1,681.475 \text{ Ton} * \text{s/m}$$

Tabla 6. 4 Coeficiente de amortiguamiento – AN y AS

Coeficiente de amortiguamiento – Ala Norte y Sur			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=4.91m)(θ=64°)	<i>Cd</i>	1681.475	Ton*s/m
HSS 7x7x5/8 (L=4.57m) (θ=62°)		1806.574	
HSS 9x9x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		1934.686	
HSS 10x10x5/8 (L=5.42m) (θ=48°)		2284.882	
HSS 10x10x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		2172.642	

6.3.1.6. Rigidez de disipador en X

HSS 7x7x5/8 (L=4.91m) (θ=64°)

$$k'x = k' \cos^2 \theta = 19,051.086 \cos^2(64^\circ) = 3,661.033 \text{ Ton/m}$$

Tabla 6. 5 Rigidez de los disipadores en dirección X - AN y AS

Rigidez de disipador en X – Ala Norte y Sur			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=4.91m)(θ=64°)	<i>k'x</i>	3661.033	Ton/m
HSS 7x7x5/8 (L=4.57m) (θ=62°)		4511.320	
HSS 9x9x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		8681.276	
HSS 10x10x5/8 (L=5.42m) (θ=48°)		11590.842	
HSS 10x10x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		9749.026	

6.3.1.7. Coeficiente de amortiguamiento en X

HSS 7x7x5/8 (L=4.91m) (θ=64°)

$$Cdx = Cd \cos^2 \theta = 1,681.475 \cos^2(64^\circ) = 323.128 \text{ Ton/m}$$

Tabla 6. 6 Coeficiente de amortiguamiento de los disipadores en la dirección X- AN y AS

Coeficiente de amortiguamiento en X – Ala Norte y Sur			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=4.91m)(θ=64°)	<i>Cdx</i>	323.128	Ton*s/m
HSS 7x7x5/8 (L=4.57m) (θ=62°)		347.168	
HSS 9x9x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		371.787	
HSS 10x10x5/8 (L=5.42m) (θ=48°)		439.084	
HSS 10x10x5/8 (L=5.7m) (θ=51°)		417.515	

6.3.2. Escalera

6.3.2.1. Datos de la estructura convencional

Estos datos han sido presentados en el Capítulo 2, sección 2.3.1.2., los datos se presentan en las tablas 2.5 y 2.6.

6.3.2.2. Módulo de Almacenamiento

- Módulo de Almacenamiento de Cortante

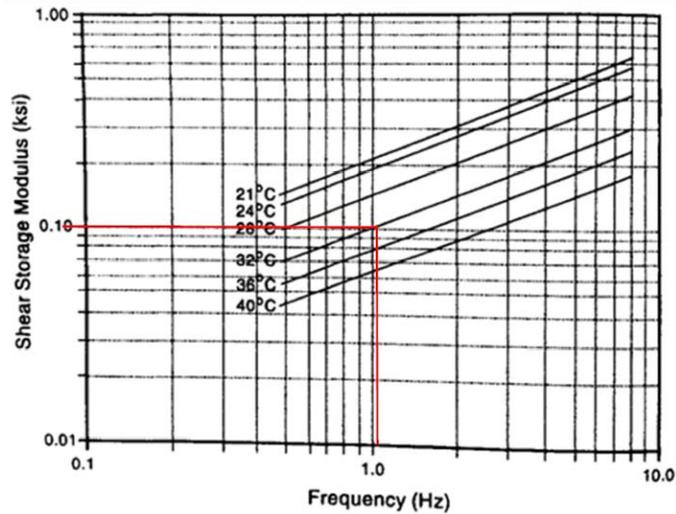


Figura 6. 3Módulo de Almacenamiento según frecuencia y temperatura promedio - Escalera

$$G' = 0.1 \text{ ksi} = 70.454 \text{ Ton/m}^2$$

- Módulo de Pérdida de Cortante

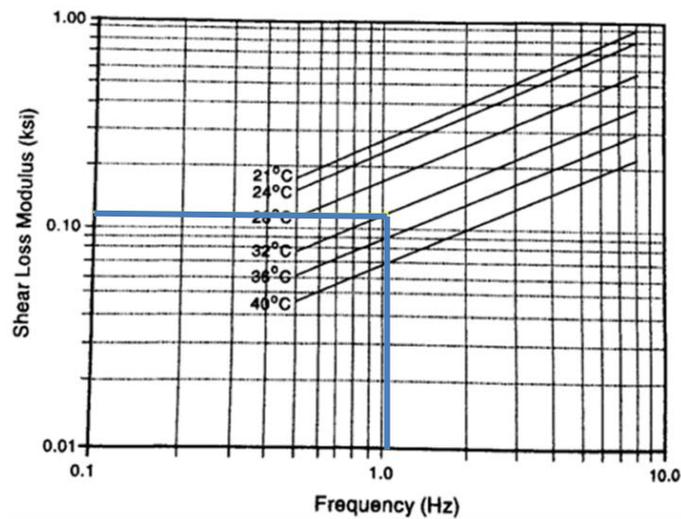


Figura 6. 4 Módulo de pérdida de cortante según frecuencia y temperatura promedio - Escalera

$$G'' = 0.13 \text{ ksi} = 91.591 \text{ Ton/m}^2$$

- Pérdida de Cortante

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \frac{0.13}{0.1} = 1.3$$

6.3.2.3. Rigidez del Disipador

- Amortiguamiento Total Objetivo

$$\zeta' = 20 \%$$

- Rigidez del arriostre con disipador

El siguiente valor se calcula de acuerdo al Capítulo 4, Sección 4.5. Se calculará a manera de ejemplo el arriostre HSS 7x7x5/8 (L=5.1 m) ($\theta = 60^\circ$), los demás valores de rigidez de arriostres con disipador se presentarán en la tabla 6.7.

HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) ($\theta=60^\circ$)

$$k' = \left(\frac{2 * \delta'}{\eta - 2\delta'} \right) (k) = \left(\frac{2 * 0.2}{1.3 - (2 * 0.2)} \right) (36,109.513) = 16,048.672 \text{ Ton/m}$$

Tabla 6. 7 Rigidez del arriostre con disipador- Escalera

Rigidez del arriostre con disipador - Escalera			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=5.1m)($\theta=60^\circ$)	k'	16048.672	Ton/m
HSS 9x9x5/8 (L=5.10m) ($\theta=60^\circ$)		21436.440	
HSS 9x9x5/8 (L=4.78m) ($\theta=58^\circ$)		22871.516	

6.3.2.4. Dimensiones del disipador

Tabla 6. 8 Dimensiones de material viscoelástico - Escalera

Dimensiones de material - Escalera		
Propiedad	Abrev.	Valor
Número de capas de material viscoelástico	N	2
Espesor de cada capa de material viscoelástico	e	0.01 m
Espesor total de material Viscoelástico	N* e	0.02 m

- Área necesaria de material viscoelástico

HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) ($\theta=60^\circ$)

$$A = \frac{k' * h}{G'} = \frac{16,048.672 \text{ Ton/m} * 0.02 \text{ m}}{70.454 \text{ Ton/m}^2} = 4.55 \text{ m}^2$$

Tabla 6. 9 Área del disipador - Escalera

Área del disipador - Escalera			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) (θ=60°)	A	4.555	m ²
HSS 9x9x5/8 (L=5.10m) (θ=60°)		6.085	
HSS 9x9x5/8 (L=4.78m) (θ=58°)		6.493	

6.3.2.5. Coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente

HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) (θ=60°)

$$C_d = \frac{G'' * A}{\left(\frac{2\pi}{T}\right) * h} = \frac{91.591 * 4.55 \text{ m}^2}{\frac{2 * \pi}{0.927 \text{ seg}} * 0.02 \text{ m}} = 3,078.097 \text{ Ton} * \text{s/m}$$

Tabla 6. 10 Coeficiente de amortiguamiento – Escalera

Coeficiente de amortiguamiento - Escalera			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) (θ=60°)	C _d	3,078.0971	Ton*s/m
HSS 9x9x5/8 (L=5.10m) (θ=60°)		4111.458	
HSS 9x9x5/8 (L=4.78m) (θ=60°)		4,386.702	

6.3.2.6. Rigidez de disipador en X

HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) (θ=60°)

$$k'x = k' \cos^2 \theta = 16,048.67 \cos^2(60^\circ) = 4,012.168 \text{ Ton/m}$$

Tabla 6. 11 Rigidez de los Disipadores en Dirección X - Escalera

Rigidez de disipador en X - Escalera			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) (θ=60°)	k'x	4,012.168	Ton/m
HSS 9x9x5/8 (L=5.10m) (θ=60°)		5,359.110	
HSS 9x9x5/8 (L=4.78m) (θ=60°)		6,422.652	

6.3.2.7. Coeficiente de amortiguamiento en X

HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) (θ=60°)

$$Cdx = Cd \cos^2 \theta = 3,078.097 \cos^2(60^\circ) = 769.524 \text{ Ton/m}$$

Tabla 6. 12 Coeficiente de amortiguamiento de los disipadores en la dirección X- Escalera

Coeficiente de amortiguamiento en X- Escalera			
Elemento	Abrev.	Valor	Magnitud
HSS 7x7x5/8 (L=5.1m) ($\theta=60^\circ$)	<i>Cdx</i>	769.524	Ton*s/m
HSS 9x9x5/8 (L=5.10m) ($\theta=60^\circ$)		1,027.864	
HSS 9x9x5/8 (L=4.78m) ($\theta=60^\circ$)		1,096.676	

6.3.2.8. Numero de disipadores

Número de disipadores	
Cuerpo	Número
Ala Norte y Sur	130
Escalera	40

6.4. Datos introducidos en el programa

Los dispositivos deben ser modelados con propiedades equivalentes a su comportamiento no-lineal en el programa ETABS® se genera un elemento tipo link, las características deben estar bajo el modelo de disipador Damper el cual representa mejor el funcionamiento de los disipadores viscoelástico o viscoso dado que en este modelo está basado el funcionamiento del disipador, se deberán habilitar las características en el eje local donde va a actuar el disipador en este caso es el eje local x en la dirección axial al elemento y activar el modo de elemento no lineal e ingresar los valores correspondientes.

Los valores constantes utilizados en el diseño de los disipadores fueron obtenidos de las características propias de los materiales utilizados por el fabricante.

Es importante conocer la orientación exacta de los ejes locales de la barra para poder asignar las propiedades en la dirección adecuada. La dirección U1 coincide con el eje X en que están instalados los disipadores y es donde se espera que ejerzan trabajo mecánico.

En el programa ETABS® v 15.1 se procede de la siguiente manera:

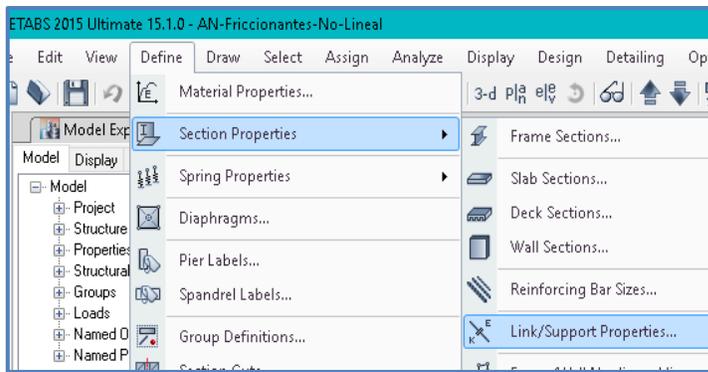


Figura 6. 5 Definición de Disipadores en ETABS®

En el caso del Ala Norte y Sur se introdujeron los siguientes disipadores:

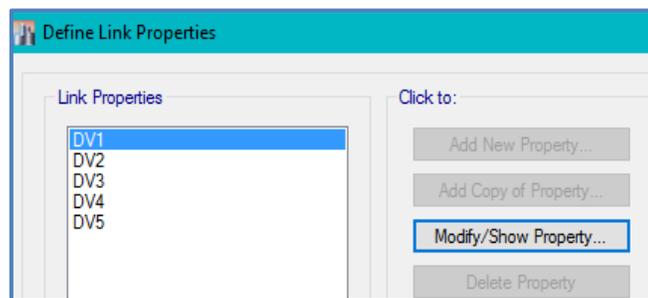


Figura 6. 6 Disipadores viscoelásticos de AN y AS introducidos en el ETABS®

Las propiedades de los disipadores se definieron como se muestran en la figura 6.7, la dirección de los elementos se fijaron en U1 y como elementos no lineal (Nonlinear).

Las propiedades que requiere el programa tales como Stiffness y Damping, corresponden a los valores mostrados en la Tabla 6.5 y 6.6 de este capítulo respectivamente. El valor de Damping Exponent que es una constante igual a 1 para el caso de los disipadores viscoelásticos.

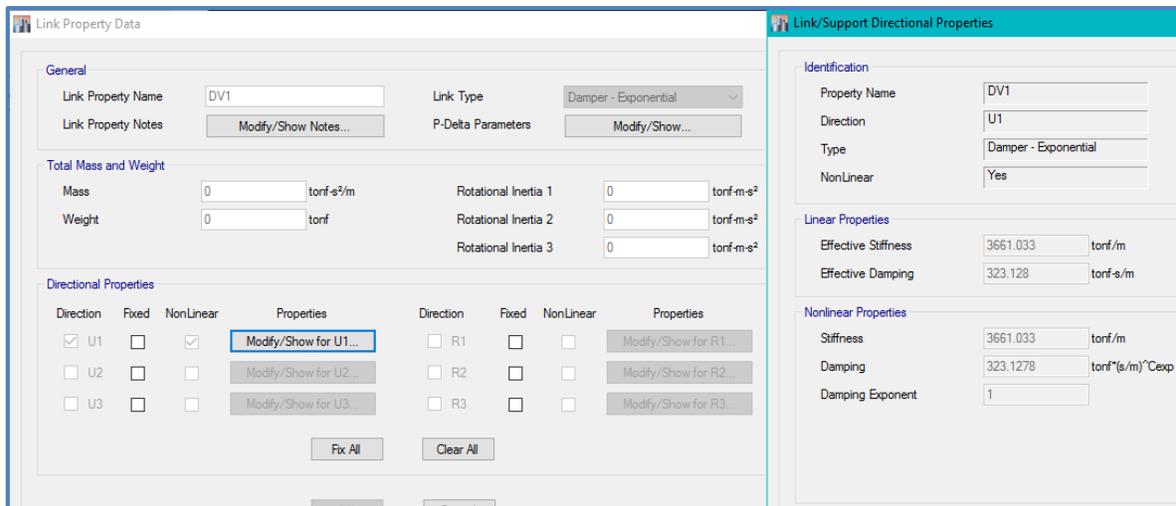


Figura 6. 7 Propiedades del disipador viscoelásticos DV1 del AN y AS introducidos en el ETABS®
 En la Escalera se obtuvieron los siguientes disipadores:

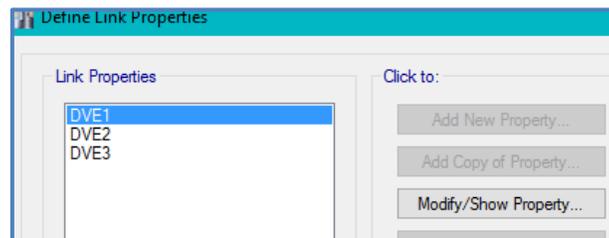


Figura 6. 8 Disipadores viscoelásticos de la Escalera introducidos en el ETABS®

De igual manera en la Escalera la dirección de acción del disipador se fijó en U1 y como un elemento no lineal (Nonlinear); los valores de Stiffness y Damping, corresponden a los valores mostrados en la Tabla 6.11 y 6.12 de este capítulo, y el valor de Damping Exponent corresponde a 1 por ser un disipador viscoelástico.

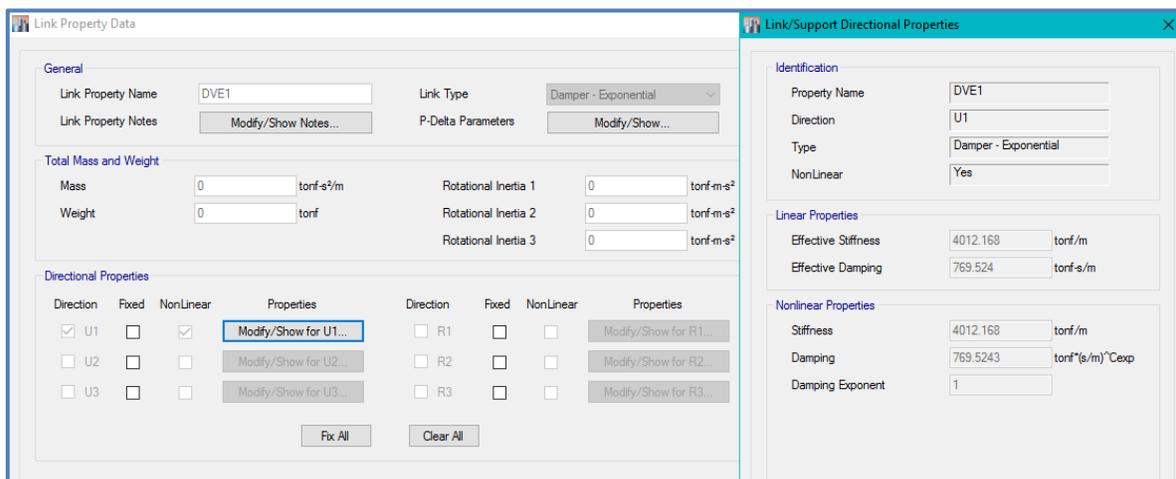


Figura 6. 9 Propiedades del disipador viscoelástico DVE1 de la Escalera introducidos en el ETABS®

CAPITULO VII: TABLA DE RESULTADOS

7.1. Ala Norte Y Sur

Los datos presentados en las siguientes tablas se obtuvieron del Análisis No lineal Tiempo-Historia realizado en el software ETABS®.

7.1.1. Periodos y frecuencias

Tabla 7. 1 Periodos y frecuencias – AN y AS

Periodo y Frecuencia						
N°	Periodo de Vibración			Frecuencia		
	TH SD	DV	DF	TH SD	DV	DF
1	0.467	0.832	0.297	13.453	7.548	21.152
2	0.460	0.786	0.273	13.654	7.993	22.999
3	0.412	0.722	0.221	15.236	8.7051	28.471
4	0.173	0.296	0.080	36.234	21.242	78.655
5	0.167	0.289	0.074	37.558	21.757	85.330
6	0.160	0.259	0.068	39.160	24.283	92.235
7	0.152	0.185	0.064	41.298	33.875	98.440
8	0.151	0.176	0.060	41.695	35.722	105.370
9	0.101	0.153	0.038	62.456	41.176	166.790
10	0.099	0.135	0.035	63.655	46.468	179.130
11	0.086	0.121	0.034	73.015	51.903	185.010
12	0.074	0.112	0.029	85.075	55.902	217.410
13	0.067	0.103	0.026	94.230	61.16	237.400
14	0.063	0.094	0.021	99.444	66.738	295.770
15	0.039	0.063	0.020	159.89	100.00	309.500

TH SD	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores
DV	Análisis No Lineal Tiempo-Historia con Disipadores Viscoelásticos
DF	Análisis No Lineal Tiempo-Historia con Disipadores Friccionantes

7.1.2. Desplazamientos y derivas

Las tablas de desplazamientos y derivas obtenidas de los sismos 5.6 y 6.5 se pondrán en los Anexos A.

Tabla 7. 2 Desplazamientos y Derivas - AN y AS

Desplazamientos y Derivas - Sismo 6.2						
N°	Estructura	Piso	Desplazamientos		Derivas	
			X máx. (cm)	Y máx. (cm)	Δx máx.	Δy máx.
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia	Techo	5.459	5.733	0.00273	0.00329
		5	4.443	4.635	0.00323	0.00335
		4	3.186	3.243	0.00309	0.00332
		3	1.924	1.941	0.00276	0.00297
		2	0.785	0.777	0.00203	0.00193
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	4.405	3.326	0.00100	0.00137
		5	4.238	3.143	0.00217	0.00204
		4	3.725	2.860	0.00352	0.00244
		3	2.601	2.093	0.00324	0.00269
		2	1.289	1.018	0.00332	0.00263
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	1.9143	2.6002	0.00081	0.00123
		5	1.6865	2.1728	0.00077	0.00119
		4	1.4656	1.7207	0.00057	0.00077
		3	1.3086	1.4009	0.00040	0.00073
		2	1.1676	1.1134	0.00289	0.00280

7.1.3. Fuerzas internas de columnas y vigas de primer piso

Las tablas de fuerzas internas de vigas y columnas del primer piso obtenidas de los sismos 5.6 y 6.5 se pondrán en los Anexos A.

Tabla 7. 3 Fuerzas internas máximas de columnas del primer piso - AN y AS

Fuerzas internas máximas de la columna del primer piso - Sismo 6.2					
N°	Estructura	Columna ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia Sin Disipadores	620.974 (86)	10.874 (79)	33.584 (79)	0.008 (95)
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	144.714 (86)	18.472 (77)	55.040 (77)	0.004 (95)
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	452.617 (108)	27.105 (77)	67.684 (77)	0.006 (101)

Tabla 7. 4 Fuerzas internas máximas de vigas del primer piso- AN y AS

Fuerzas internas máximas de la viga del primer piso - Sismo 6.2					
N°	Estructura	Viga ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis no lineal Tiempo-Historia sin disipadores	50.423 (14)	11.262 (19)	19.761 (19)	0.006 (45)
2	Análisis no lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	19.903 (14)	9.724 (19)	17.250 (19)	0.008 (45)
3	Análisis no lineal TH con Disipadores Friccionantes	548.650 (589)	8.348 (19)	15.384 (19)	0.005 (45)

7.1.4. Fuerzas internas por piso

Las tablas de fuerzas internas por piso obtenidas de los sismos 5.6 y 6.5 se pondrán en los Anexos A.

Tabla 7. 5 Fuerzas internas máximas por piso – AN y AS

Fuerzas internas por piso – Sismo 6.2						
N°	Estructura	Piso	Fuerzas Internas			
			N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo- Historia Sin Disipadores	Techo	0.000	558.682	0.000	24120.310
		5	0.000	1182.598	2699.936	49233.260
		4	0.000	1651.523	8243.312	66278.430
		3	0.000	1855.160	15475.220	82135.290
		2	0.000	1801.079	23524.590	85520.050
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	1.069	66.560	69.425	2035.777
		5	2.603	120.510	549.304	4784.353
		4	3.535	163.620	1904.592	7479.554
		3	10.903	212.130	4193.544	11256.160
		2	2.082	297.570	6929.151	7308.977
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	2.586	75.750	200.3037	2031.861
		5	2.735	78.790	1171.351	1837.543
		4	3.724	39.720	4185.023	973.310
		3	0.591	88.150	6725.646	3575.463
		2	1.790	434.800	16656.09	14752.670

7.1.5. Fuerzas axiales y deformaciones máximas de los disipadores

Tabla 7. 6 Fuerzas axiales máximas y deformaciones máximas de los disipadores – AN y AS

Fuerzas axiales máximas y deformaciones máximas de los disipadores							
N°	Estructura	Sismo	Eje	Nomenclatura del disipador	Fuerza Axial (T)	Nomenclatura del disipador	Deformación (cm)
1	Disipadores Viscoelásticos Sólidos	Sismo 5.6	X-X	K146	26.550	K136	1.120
			Y-Y	K52	23.545	K52	1.012
		Sismo 6.2	X-X	K146	23.761	K139	0.987
			Y-Y	K48	20.406	K49	0.741
		Sismo 6.5	X-X	K146	23.035	K139	1.126
			Y-Y	K49	23.256	K49	0.922
2	Disipadores Friccionantes	Sismo 5.6	X-X	K19	6.467	K79	0.844
			Y-Y	K20	6.551	K42	0.751
		Sismo 6.2	X-X	K20	6.489	K110	0.853
			Y-Y	K20	6.552	K42	0.871
		Sismo 6.5	X-X	K20	6.404	K83	0.708
			Y-Y	K20	6.456	K42	0.556

7.2. Escalera

Los datos presentados en las siguientes tablas se obtuvieron del Análisis no lineal Tiempo-Historia realizado en el software ETABS®.

7.2.1. Periodo y frecuencias

Tabla 7. 7 Periodos y Frecuencias - Escalera

N°	Periodo y Frecuencia - Escalera					
	Periodo de Vibración (s)			Frecuencia Angular (Rad/s)		
	TH SD	DV	DF	TH SD	DV	DF
1	0.927	0.921	0.921	6.779	6.822	6.824
2	0.341	0.649	0.277	18.414	9.689	22.704
3	0.328	0.604	0.203	19.160	10.406	30.974
4	0.279	0.277	0.189	22.535	22.679	33.328
5	0.149	0.229	0.148	42.225	27.418	42.541
6	0.12	0.200	0.098	52.490	31.444	64.284
7	0.118	0.148	0.088	53.430	42.522	71.638
8	0.098	0.144	0.087	63.874	43.724	72.223
9	0.088	0.117	0.072	71.797	53.742	87.222
10	0.087	0.098	0.057	72.180	64.187	110.320
11	0.073	0.089	0.051	86.495	70.983	122.770
12	0.072	0.083	0.049	87.410	75.493	127.260
13	0.054	0.072	0.034	115.310	87.065	183.350
14	0.044	0.066	0.021	144.210	94.883	298.770
15	0.016	0.035	0.013	385.450	180.390	475.880

TH SD	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores
DV	Análisis No Lineal Tiempo-Historia con Disipadores Viscoelásticos
DF	Análisis No Lineal Tiempo-Historia con Disipadores Friccionantes

7.2.2. Desplazamientos y derivas

Las tablas de desplazamientos y derivas obtenidas de los sismos 5.6 y 6.5 se pondrán en los Anexos A.

Tabla 7. 8 Desplazamientos y Derivas - Escalera

Desplazamientos y Derivas – Sismo 6.2						
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento		Distorsión	
			X máx. (cm)	Y máx. (cm)	Δx máx.	Δy máx.
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia Sin Disipadores	Techo	2.972	2.971	0.001495	0.001494
		5	2.414	2.412	0.001713	0.001709
		4	1.935	1.932	0.001682	0.001681
		3	1.259	1.258	0.001735	0.00173
		2	0.512	0.511	0.001265	0.001262
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	3.269	3.244	0.001733	0.001698
		5	2.621	2.606	0.002086	0.002079
		4	1.988	1.972	0.001997	0.001991
		3	1.228	1.217	0.001879	0.001871
		2	0.529	0.528	0.001307	0.001307
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	2.198	2.197	0.00123	0.00123
		5	1.989	1.987	0.00136	0.00136
		4	1.764	1.763	0.00124	0.00124
		3	1.342	1.341	0.00150	0.00150
		2	0.696	0.694	0.00172	0.00172

7.2.3. Fuerzas internas de columnas y vigas de primer piso

Las tablas de Fuerzas internas de vigas y columnas del primer piso obtenidas de los sismos 5.6 y 6.5 se pondrán en los Anexos A.

Tabla 7. 9 Fuerzas internas máximas de columnas del primer piso - Escalera

Fuerzas internas máximas de la columna del primer piso - Sismo 6.2					
N°	Estructura	Columna ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	239.912 (391)	20.221 (105)	61.906 (105)	0.090 (105)
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	51.869 (391)	21.189 (105)	64.742 (105)	0.444 (105)
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	242.580 (106)	38.937 (72)	104.974 (72)	0.159 (105)

Tabla 7. 10 Fuerzas internas máximas de vigas del primer piso - Escalera

Fuerzas internas máximas de las vigas del primer piso - Sismo 6.2					
N°	Estructura	Viga ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	11.514 (241)	21.480 (239)	31.844 (301)	2.057 (295)
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	13.210 (241)	19.017 (239)	27.741 (231)	1.949 (237)
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	120.951 (235)	17.348 (239)	33.019 (235)	2.605 (17)

7.2.4. Fuerzas internas por piso

Las tablas de Fuerzas internas de por piso obtenidas de los sismos 5.6 y 6.5 se pondrán en los Anexos A.

Tabla 7. 11 Fuerzas internas máximas por piso - Escalera

Fuerzas internas por piso - Sismo 6.2						
N°	Estructura	Piso	Fuerzas Internas			
			N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	0	129.909	34.949	1018.809
		5	0	239.242	644.479	1308.920
		4	9.339	336.526	1632.668	1229.262
		3	0	386.256	3047.118	1656.213
		2	0	394.377	4730.553	2154.566
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	0.0563	64.844	23.219	1053.670
		5	0.037	85.754	339.515	1337.060
		4	10.452	103.572	768.017	1192.140
		3	0.059	114.701	1274.086	1681.580
		2	0.075	104.540	1627.611	2205.750
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	0.358	64.745	61.077	1011.32
		5	0.599	76.583	548.474	1313.28
		4	9.096	58.617	1564.058	1178.89
		3	0.104	90.949	1406.424	1674.80
		2	0.172	201.064	3896.877	2183.26

7.2.5. Fuerzas axiales y deformaciones máximas de los disipadores

Tabla 7. 12 Fuerzas axiales máximas y deformaciones máximas de los disipadores - Escalera

Fuerzas axiales máximas y deformaciones máximas de los disipadores							
N°	Estructura	Sismo	Eje	Nomenclatura del disipador	Fuerza Axial (T)	Nomenclatura del disipador	Deformación (cm)
1	Disipadores Viscoelásticos Sólidos	Sismo 5.6	X-X	K33	19.353	K13	0.352
			Y-Y	K33	19.358	K13	0.357
		Sismo 6.2	X-X	K40	12.763	K16	0.267
			Y-Y	K40	13.339	K17	0.267
		Sismo 6.5	X-X	K33	14.394	K16	0.337
	Y-Y	K33	14.394	K36	0.263		
2	Disipadores Friccionantes	Sismo 5.6	X-X	K21	2.232	K5	0.314
			Y-Y	K21	2.232	K5	0.314
		Sismo 6.2	X-X	K21	2.232	K5	0.224
			Y-Y	K21	2.232	K5	0.223
		Sismo 6.5	X-X	K21	2.232	K8	0.275
	Y-Y	K23	2.232	K8	0.275		

CAPITULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO

8.1. Comparación Disipadores Viscoelásticos vs Edificio sin Disipadores

La comparación escrita se hará con el Sismo 6.2

Tabla 8. 1 Reducción porcentual disipadores viscoelásticos vs TH sin disipadores

Reducción porcentual Disipadores Viscoelásticos vs TH sin Disipadores (%)													
	Piso	Ala Norte						Escalera					
		Sismo 5.6		Sismo 6.2		Sismo 6.5		Sismo 5.6		Sismo 6.2		Sismo 6.5	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Desplazamiento	Techo	-10	2	19	42	-79	-40	17	18	-10	-9	-5	28
	5	-24	-15	5	32	-124	-74	18	18	-9	-8	-10	22
	4	-41	-39	-17	12	-198	-133	16	16	-3	-2	0	22
	3	-56	-64	-35	-8	-278	-228	10	10	2	3	7	12
	2	-83	-88	-64	-31	-313	-261	8	8	-3	-3	15	5
Deriva	Techo	47	38	63	58	34	18	-24	-23	-16	-14	-22	-6
	5	4	5	33	39	-31	-23	-13	-13	-22	-22	-23	-5
	4	-46	-24	-14	26	-159	-82	12	12	-19	-18	-29	12
	3	-39	-39	-17	9	-205	-160	3	3	-8	-8	-4	14
	2	-78	-75	-64	-36	-375	-399	-8	-8	-3	-4	7	4
Fuerza Cortante	Techo	87		88		82		48		50		39	
	5	90		90		74		64		64		42	
	4	88		90		77		75		69		56	
	3	83		89		68		63		70		55	
	2	80		84		49		58		73		54	
Momento Flector	Techo	0		0		0		39		34		27	
	5	75		80		72		46		47		35	
	4	69		77		58		52		53		38	
	3	70		73		43		62		58		55	
	2	63		71		34		68		66		55	
Momento Torsor	Techo	90		92		86		4		-3		5	
	5	87		90		86		-2		-2		26	
	4	85		89		80		-1		3		40	
	3	82		86		68		2		-2		12	
	2	77		91		46		3		-2		10	

- Los desplazamientos en ambos edificios alcanzaron una reducción máxima en el nivel de techo. En el Ala Norte y Sur dándose este en la dirección Y con un 42% para el sismo de magnitud 6.2, en Escalera Central con un 28% para el sismo de magnitud 6.5, ambos edificios sufrieron un aumento en algunos casos siendo el más crítico el Ala Norte aumentando en la dirección X para el sismo 6.5 aumentando un 313% a nivel del piso 2.
- Las derivas en el Ala Norte alcanzaron su mayor reducción a nivel de techo con un 63% en la dirección X para el sismo de magnitud 6.2, la Escalera obtuvo una reducción máxima a nivel de piso 3 de un 14% en la dirección Y, ambos edificios mostraron un incremento en algunos casos con un aumento de hasta un 399% para el Ala Norte en la dirección Y para el sismo de 6.5, la Escalera aumentó en un 24% sus derivas en la dirección X para el sismo 5.6 de magnitud.
- La fuerza cortante en el Ala Norte y Sur disminuyó un 90.1% en el piso 4 para el sismo 6.2. En la Escalera se obtuvo una disminución máxima de 73% para el piso 4 en el caso del sismo 6.2 de magnitud.
- El momento flector del Ala Norte y Sur disminuyó un 80% para el piso 5, para el caso del sismo 5.6, para el techo no se obtuvo una disminución del momento. Para la Escalera se alcanzaron reducciones de 68% en el piso 2 para el sismo de magnitud 5.6.
- El momento torsor del Ala Norte disminuyó hasta un 92% para el techo, para el sismo 6.2 de magnitud en el resto de niveles y para los varios sismos se presentó una reducción significativa. En la Escalera se redujeron los momentos hasta un 40% en el piso 4 para el sismo de magnitud 6.5.

8.2. Comparación Disipadores Friccionantes vs Edificio sin Disipadores

La comparación escrita se hará de acuerdo a los resultados obtenidos por el sismo 6.2 aplicado al Ala Norte Sur y a la Escalera.

Tabla 8. 2 Reducción porcentual disipadores friccionantes vs TH sin disipadores

Reducción porcentual Disipadores Friccionantes vs TH sin Disipadores (%)													
	Piso	Ala Norte						Escalera					
		Sismo 5.6		Sismo 6.2		Sismo 6.5		Sismo 5.6		Sismo 6.2		Sismo 6.5	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Desplazamiento	Techo	62	59	65	55	49	35	38	38	26	26	3	3
	5	58	58	62	53	44	32	37	37	18	18	-21	-21
	4	48	51	54	47	28	19	34	34	9	9	-18	-18
	3	20	28	32	28	-17	-22	7	7	-7	-7	-24	-24
	2	-81	-48	-49	-43	-132	-117	-42	-42	-36	-36	-45	-45
Deriva	Techo	66	62	70	63	42	56	24	25	18	18	22	22
	5	72	62	76	64	51	60	37	37	21	21	20	19
	4	78	74	82	77	57	65	46	46	26	26	9	9
	3	82	75	86	76	62	66	33	33	14	13	-8	-9
	2	-69	-40	-43	-45	-166	-65	-42	-42	-36	-36	45	-45
Fuerza Cortante	Techo	88		86		78		39		50		37	
	5	94		93		86		64		68		55	
	4	98		98		96		80		83		74	
	3	95		95		94		76		76		69	
	2	82		76		67		47		49		35	
Momento Flector	Techo	0		0		0		-119		-75		-100	
	5	67		57		51		12		15		-3	
	4	54		49		31		3		4		-24	
	3	60		57		37		49		54		34	
	2	38		29		-1		2		18		-14	
Momento Torsor	Techo	93		92		89		0		1		-2	
	5	96		96		94		-3		0		-2	
	4	99		99		90		2		4		3	
	3	95		96		84		3		-1		2	
	2	78		83		58		3		-1		-3	

- Los desplazamientos en ambos edificios alcanzaron una reducción máxima en el nivel de techo; en el Ala Norte y Sur dándose en la dirección X con un 65% para el sismo de magnitud 6.2, en la Escalera Central se dio para ambas direcciones con un 38% para el sismo de magnitud 5.6, ambos edificios sufrieron un aumento sólo a nivel del segundo piso en su desplazamiento de un 49% en la dirección X para el sismo de 6.2 y en el caso de la Escalera con un aumento de 45% para el sismo de magnitud 6.5.
- Las derivas en el Ala Norte alcanzaron su mayor reducción a nivel de techo con un 70% en la dirección X para el sismo de magnitud 6.2, la Escalera obtuvo una reducción máxima a nivel de techo de un 25% en la dirección Y, ambos edificios mostraron un incremento de las derivas en el piso 2 con un aumento de hasta un 166% para el Ala Norte en la dirección X para el sismo de 6.5, la Escalera aumentó en un 45% sus derivas en la Dirección Y para el sismo 6.5 de magnitud.
- La fuerza cortante en el Ala Norte y Sur se disminuyeron un 97.6% en el piso 4 para el sismo 5.6. En la Escalera se obtuvo una disminución máxima de 83% para el piso 4 en el caso del sismo 6.2 de magnitud.
- El momento flector del Ala Norte y Sur disminuyo un 67% para el piso 5, en el caso del sismo 5.6, para el techo no se obtuvo una disminución del momento. Para la Escalera se alcanzaron reducciones de 54% en el piso 3, sin embargo, se produjo un aumento en los momentos a nivel de techo de 119% en el caso del sismo 5.6.
- El momento torsor del Ala Norte disminuyo hasta un 99% para el piso 4, para los sismos 5.6 y 6.2 de magnitud en el resto de niveles y para los varios sismos se presentó una reducción significativa. En la Escalera se redujeron los momentos un 4% en el piso 4 para el sismo de magnitud 6.2.

8.3. Análisis de gráficas

En la siguientes gráficas los valores del eje vertical de pisos corresponderán de la siguiente manera: 1- Piso 2, 2 - Piso 3, 3 - Piso 4, 4 - Piso 5, 5 - Techo. Se presentarán solo las gráficas del sismo 6.2 X, las gráficas de los análisis realizados con los sismos 5.6 y 6.5 se presentaran en los Anexos B.

8.3.1. Ala Norte y Sur

8.3.1.1. Periodo y frecuencias

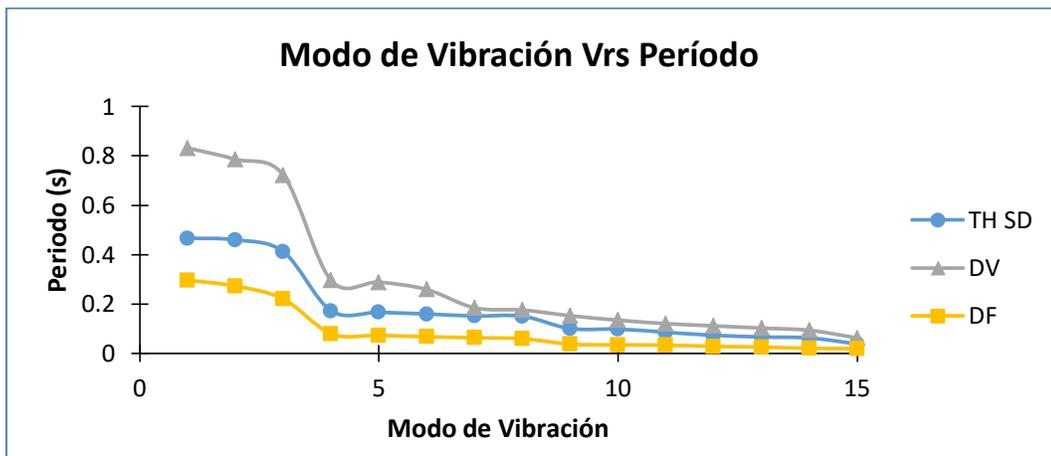


Figura 8. 1 Comparación de Periodos AN y AS

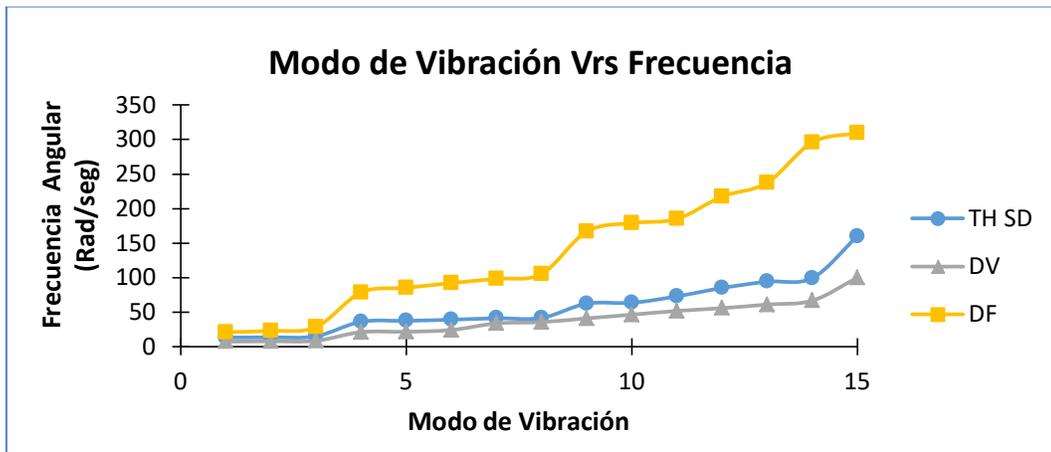


Figura 8. 2 Comparación de frecuencias AN y AS

En las gráficas anteriores se observa la comparación del periodo de vibración libre y frecuencias de la estructura sin disipadores y la estructura con disipadores viscoelásticos y disipadores friccionantes.

El periodo aumenta inversamente con los disipadores viscoelásticos, el aumento más notorio se da en el tercer modo de vibración, pero se reducen con los disipadores friccionantes. En el caso de las frecuencias estas se incrementan con los disipadores friccionantes, siendo el más notorio en el cuarto y noveno modo, en cambio con los viscoelásticos las frecuencias disminuyen.

8.3.1.2. Desplazamientos

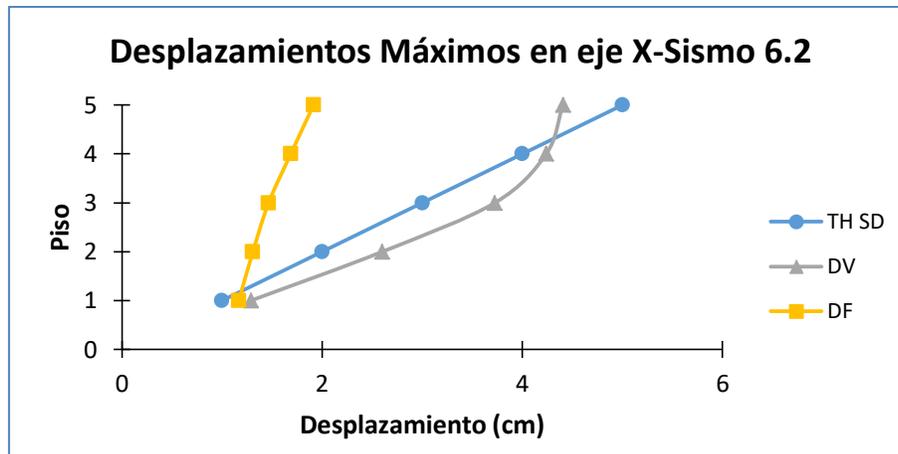


Figura 8. 3 Comparación de desplazamientos X - Sismo 6.2 por piso AN y AS

En las gráficas podemos observar el comportamiento de los desplazamientos en X e Y de la estructura sin disipadores analizada con el Tiempo-Historia no lineal y con la adición de los disipadores. Las distorsiones en X se incrementan con los disipadores viscoelásticos, pero tienen una leve disminución en el 5to piso y el techo, estas distorsiones se reducen notablemente con los disipadores friccionantes. Las distorsiones en el eje Y disminuyen con ambos disipadores, pero más con los friccionantes a excepción del segundo piso en el que se da un leve aumento.

8.3.1.3. Derivas

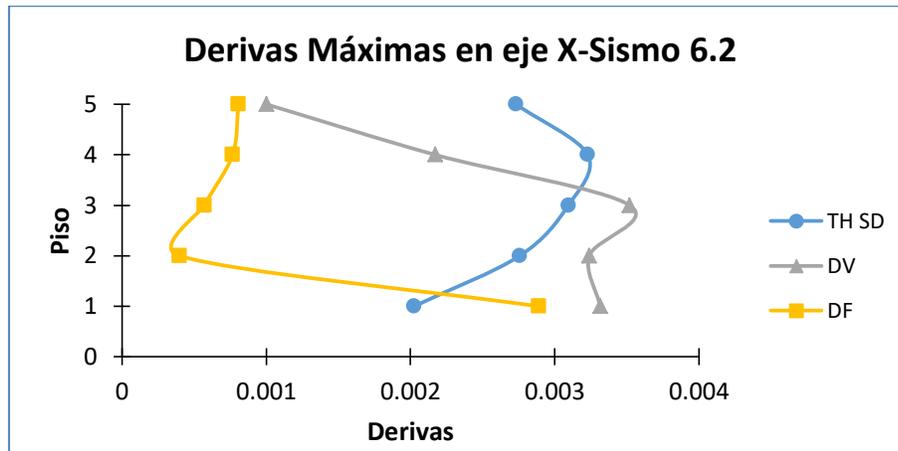


Figura 8. 4 Comparación de derivas X - Sismo 6.2 por piso AN y AS

En las gráficas tenemos las derivas de entrepiso de los ejes X e Y del Ala Norte y Sur. Las derivas en X aumentan con los disipadores viscoelásticos principalmente en el 5to piso y el techo, en cambio con los disipadores friccionantes las derivas disminuyen notablemente. Las derivas en Y se reducen con ambos disipadores a excepción del segundo piso donde hay una notoria elevación en las derivas.

8.3.1.4. Fuerza Cortante por Piso

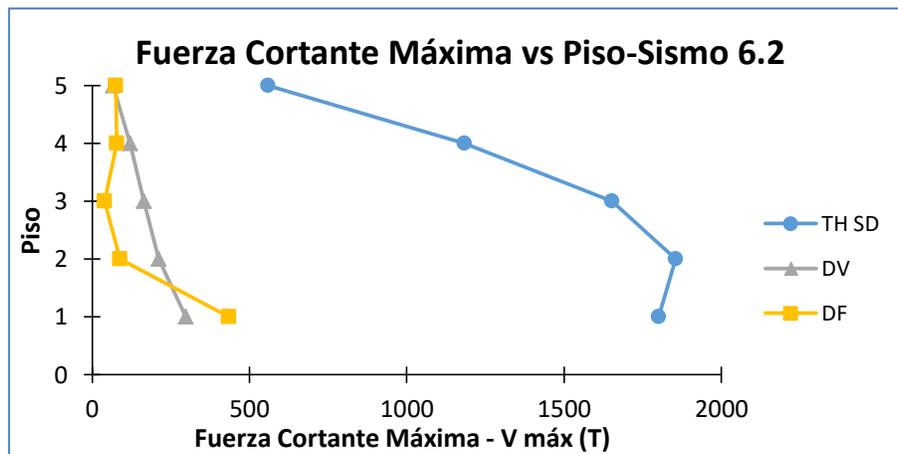


Figura 8. 5 Comparación de cortantes máximos - Sismo 6.2 por piso AN y AS

En la gráfica se muestran los resultados de las fuerzas cortantes por piso, obtenidos del análisis del Ala Norte y Sur de la estructura sin disipadores de energía, con disipadores viscoelásticos y friccionantes. Se observa que las fuerzas cortantes presentan una disminución drástica con ambos disipadores, en el caso de los

disipadores viscoelásticos estos reducen las fuerzas gradualmente mientras que en los friccionantes es notable que la máxima disminución se da en el segundo piso.

8.3.1.5. Momento Flector

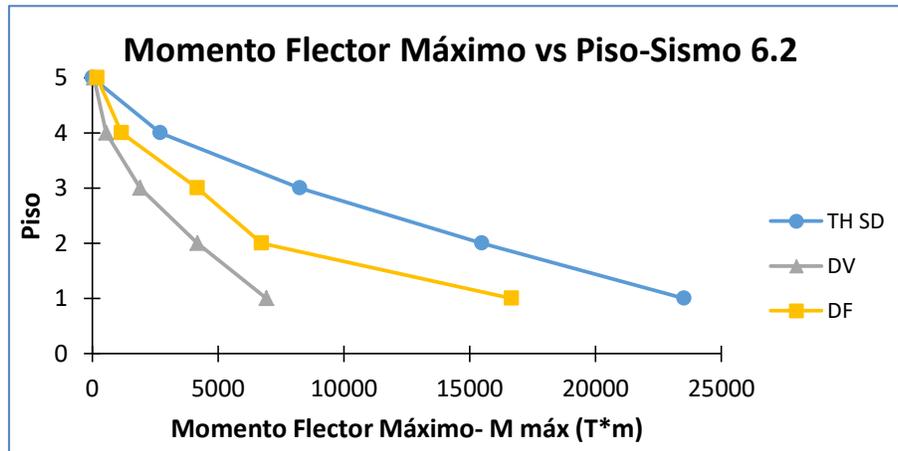


Figura 8. 6 Comparación de Momento Flector Máximo - Sismo 6.2 por piso AN y AS

En la gráfica vemos los momentos flectores en cada piso del Ala Norte y Sur de la estructura sin disipadores y con disipadores. Los momentos flectores se reducen con ambos disipadores, pero los disipadores viscoelásticos disminuyen más notablemente que los friccionantes la magnitud de estos momentos.

8.3.1.6. Momento Torsor

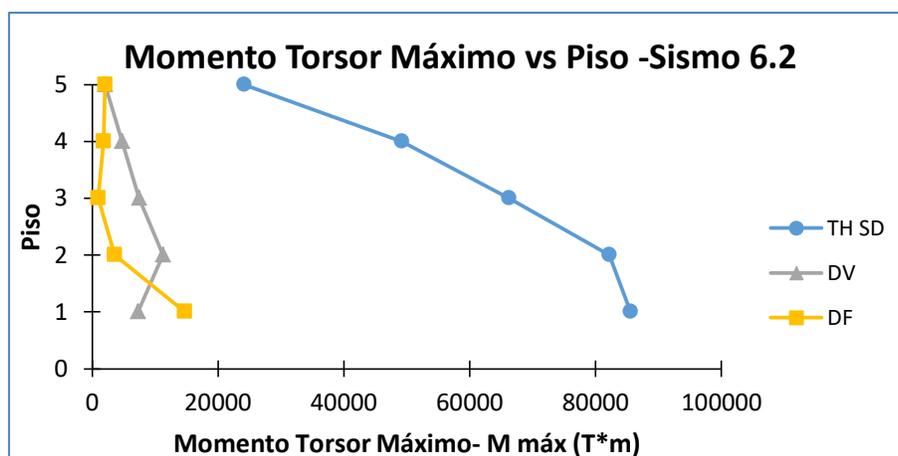


Figura 8. 7 Comparación de Momento Torsor - Sismo 6.2 por piso AN y AS

En la gráfica se muestran los momentos torsores de cada entrepiso del Ala Norte y Sur. El momento torsor es mayor en el entrepiso 2, ya que los elementos principales en este piso reciben la fuerza máxima del sismo. El momento torsor máximo del edificio disminuye enormemente con los amortiguadores viscoelásticos, pero con una leve diferencia que el mayor momento torsor se da en el entrepiso 3, estos momentos se reducen más con los disipadores friccionantes y el mayor momento torsor se da en el entrepiso 2.

8.3.2. Escalera

Las gráficas de los análisis realizados con los sismos 5.6 y 6.5 se presentan en los anexos.

8.3.2.1. Periodos y frecuencias

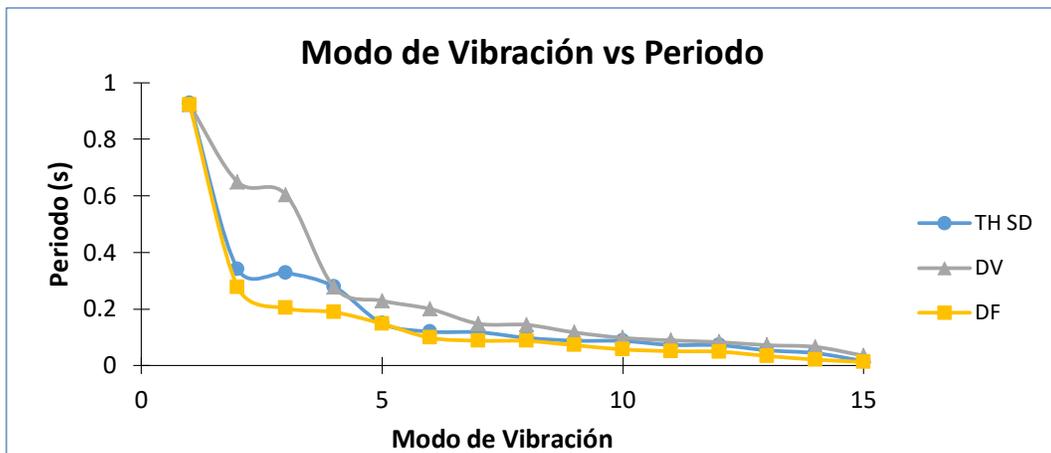


Figura 8. 8 Comparación de Periodos-Escalera

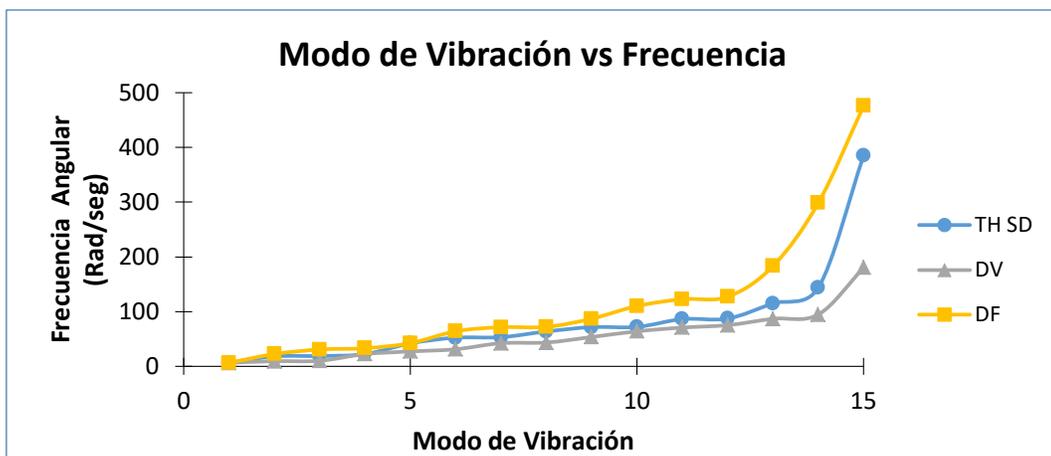


Figura 8. 9 Comparación de frecuencias-Escalera

En la gráfica observamos que los periodos de la estructura aumentan levemente con los disipadores viscoelásticos principalmente en el segundo y tercer modo de vibración, al contrario de los friccionantes que reducen los periodos. En el caso de las frecuencias, los friccionantes las aumentan, esto se debe a que estos disipadores tratan de alejar a la estructura del fenómeno de resonancia; las frecuencias presentan una leve disminución con los disipadores viscoelásticos.

8.3.2.2. Desplazamiento

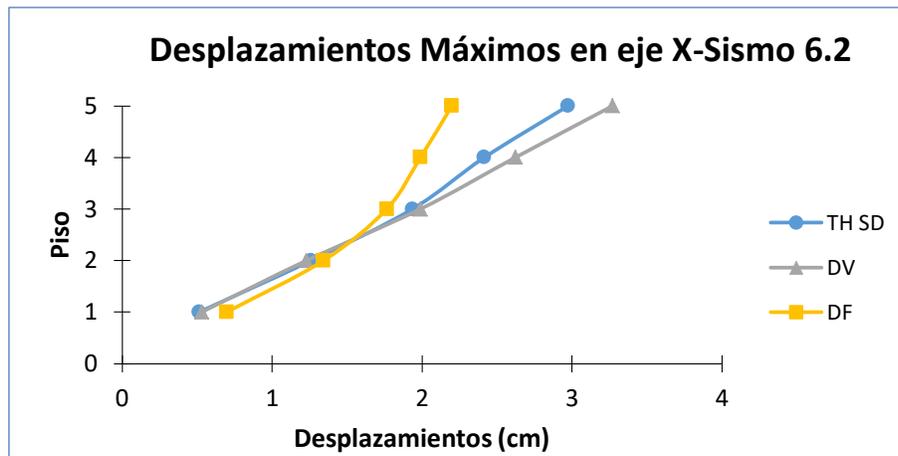


Figura 8. 10 Comparación de desplazamientos X- Sismo 6.2 por piso Escalera

En la figura 8.10 se muestran los desplazamientos relativos en X. Los desplazamientos en X presentan un incremento con los disipadores friccionantes en el piso y el techo, y disminuyen en el segundo y tercer piso de la Escalera Central, contrario de los disipadores viscoelásticos donde los desplazamientos tienen una mayor reducción en el piso 5 y el techo.

8.3.2.3. Derivas

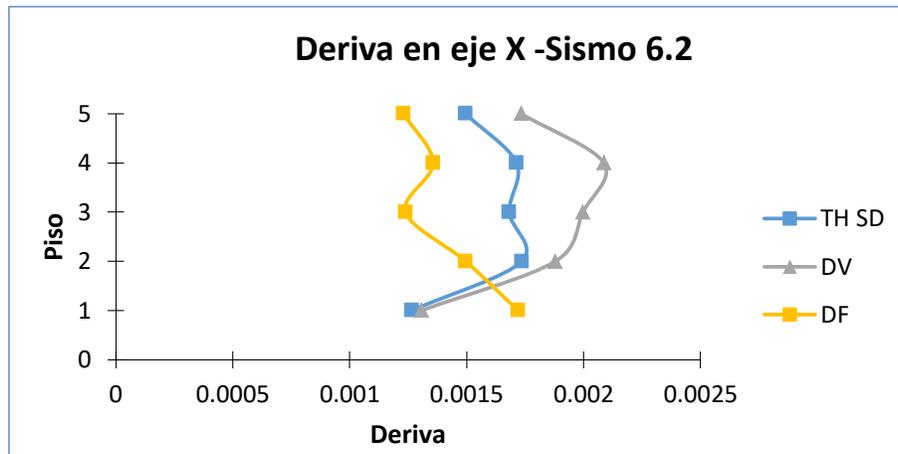


Figura 8. 11 Comparación de derivas - X Sismo 6.2 por piso Escalera

En la figura 8.11 se presentan los resultados de las derivas en X del sismo 6.2. Las derivas en X & Y muestran mayor reducción con los friccionantes que con los viscoelásticos, a excepción del segundo piso donde las distorsiones aumentan en gran manera.

8.3.2.4. Fuerza Cortante

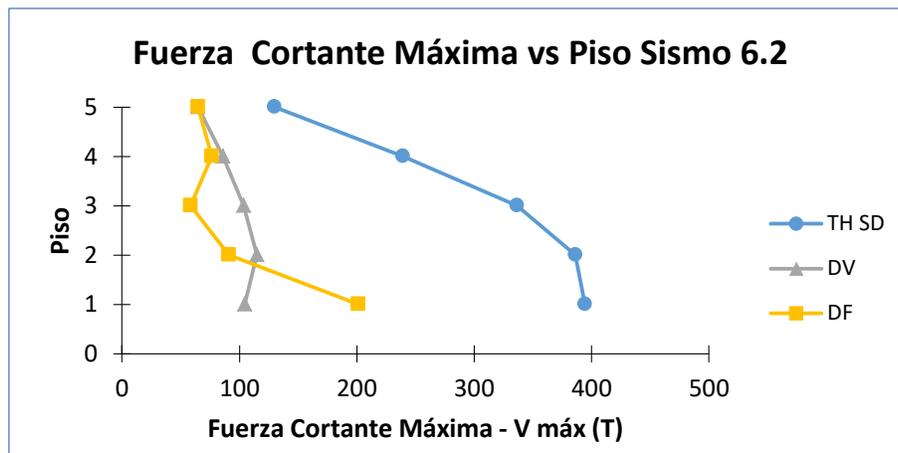


Figura 8. 12 Comparación de cortantes máximos - Sismo 6.2 por piso Escalera

En la figura 8.12 se muestra la fuerza cortante para cada piso. Las fuerzas cortantes máximas presentan una gran reducción con ambos disipadores en comparación a la estructura sin disipadores, la mayor disminución se da con los friccionantes, a excepción del segundo piso con respecto a los viscoelásticos.

8.3.2.5. Momento Flector

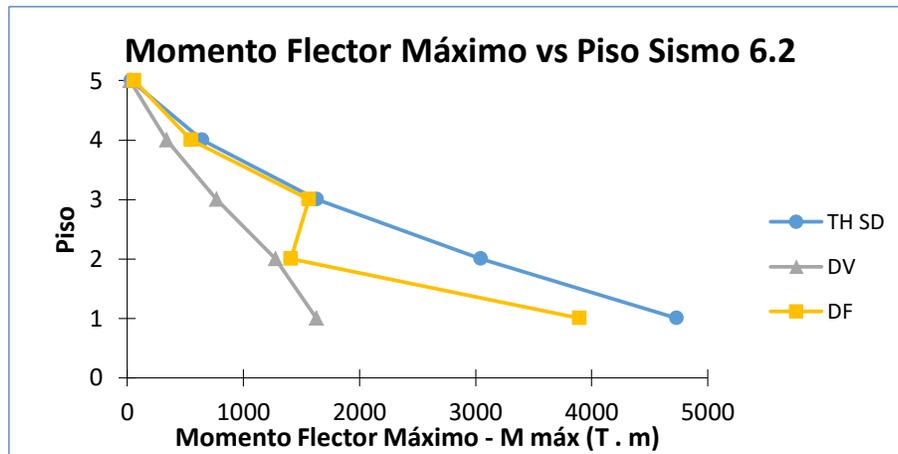


Figura 8. 13 Comparación de Momento Flector Máximos - Sismo 6.2 por piso Escalera

En la figura 8.13 se muestran la comparación de los momentos flectores máximos para cada piso en la Escalera Central. Estos momentos disminuyen con ambos disipadores, el disipador que reduce más estos momentos son los viscoelásticos, en el caso de los friccionantes la disminución se da en el segundo y tercer piso.

8.3.2.6. Momento Torsor

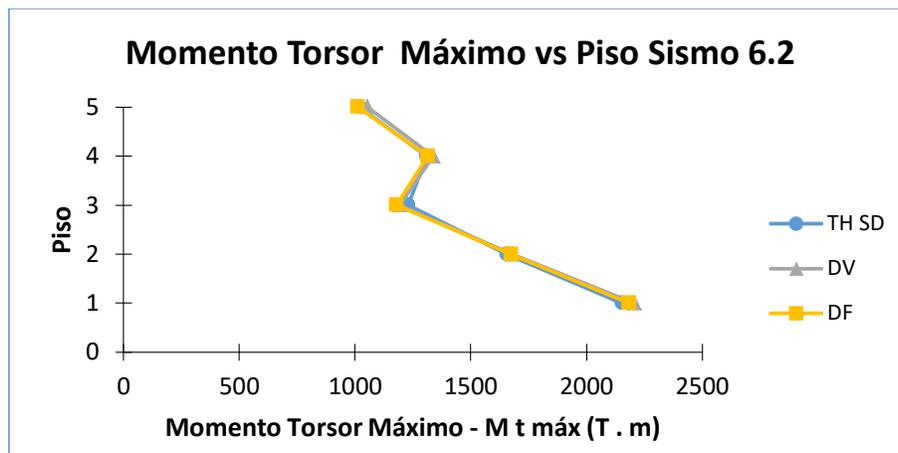


Figura 8. 14 Comparación de Momento Torsor - Sismo 6.2 por piso Escalera

En la figura 8.14 se observan los resultados de los momentos torsores para cada piso. Los momentos torsores presentan una reducción mínima con ambos disipadores, pero con los friccionantes se disminuye un poco más en el piso 4.

8.4. Distribución de energía

En las gráficas de distribución de energía se tienen: energía de entrada del sismo (Input Energy), energía cinética (Kinetic), energía potencial (Potencial), energía modal de amortiguamiento de la edificación (Modal Damping) y energía de disipación del disipador colocado según el caso (Nonlinear Viscous Damping) para los viscosos, (Nonlinear Hysteretic Damping) para los friccionantes y un porcentaje disipado por la estructura mediante una forma que no reconoce el software denominada (Error) esta es energía disipada como calor, sonido y vibraciones.

Las gráficas y las histéresis mostradas son el resultado del análisis con el sismo 6.2 en X.

8.4.1. Ala Norte y Sur

8.4.1.1. Análisis No lineal Tiempo-Historia

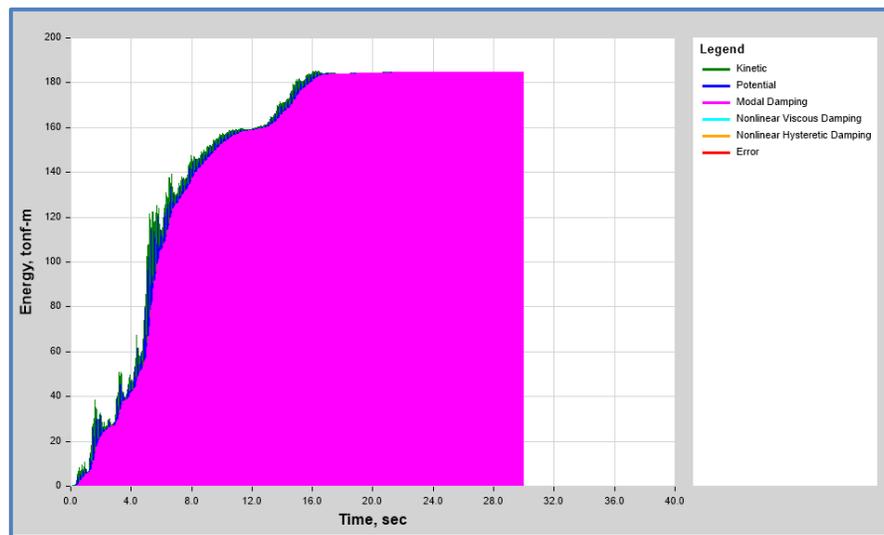


Figura 8. 15 Sismo 6.2 Distribución de energía estructura convencional AN y AS

En la figura 8.15 se aprecia que la energía de entrada es absorbida en un 100% por el amortiguamiento modal, que corresponde al amortiguamiento ofrecido por los elementos principales.

8.4.1.2. Disipadores Viscoelásticos

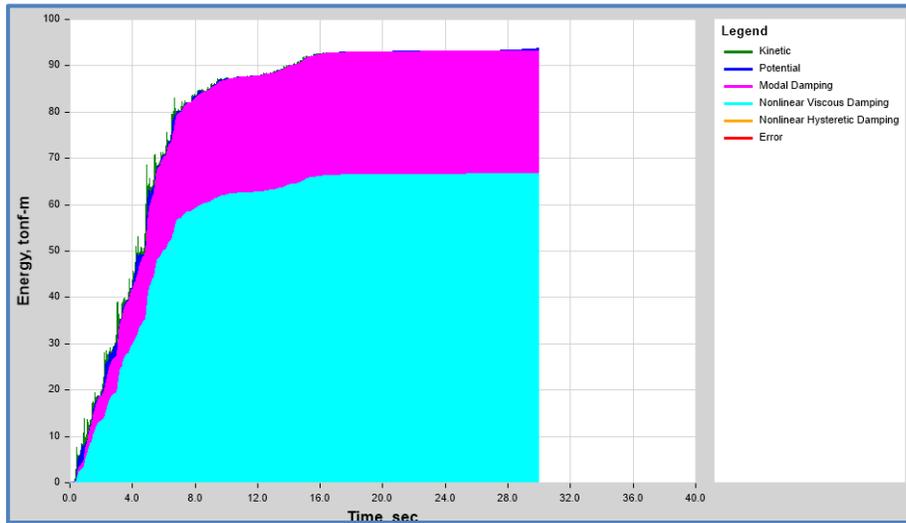


Figura 8. 16 Sismo 6.2 Distribución de energía disipadores V.E. AN y AS

En la figura 8.16 se puede apreciar la distribución de energía del Ala Norte y Sur aplicando los disipadores viscoelásticos. Es apreciable que el mayor porcentaje de disipación en la estructura se da con el amortiguamiento viscoelástico (Nonlinear Viscous Damper) producto del empleo de los disipadores alcanzando su mayor importancia entre el segundo 16 al 30 alcanzando un 71.2%, el amortiguamiento modal de la estructura es la segunda gran fuente de amortiguamiento alcanzando un 28.3% los amortiguamientos potenciales y cinéticos son de escasa relevancia en comparación a los antes mencionados.

8.4.1.3. Histéresis Disipador Viscoelástico

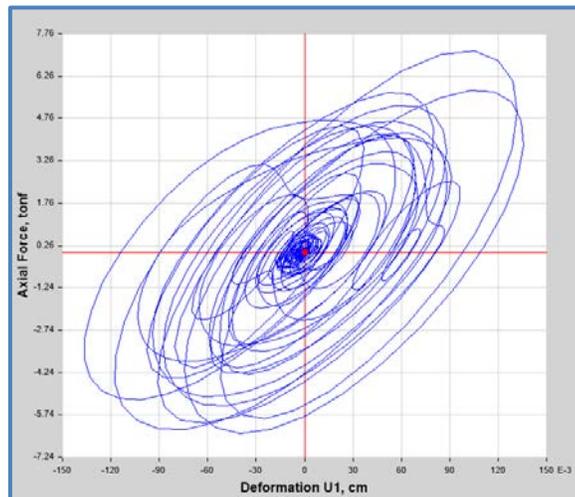


Figura 8. 17 Histéresis Disipador Viscoelástico Sismo 6.2 –Disipador K 33 AN y AS

En el gráfico 8.17 se muestra la histéresis correspondiente al disipador k 33 donde se muestra la fuerza axial en X–deformación en X del disipador viscoelástico en el modelo de la Escalera, donde la fuerza máxima es 7 Ton y la deformación máxima 0.13 cm. Mostrando el comportamiento característico de los disipadores viscoelásticos.

8.4.1.4. Disipadores Friccionantes

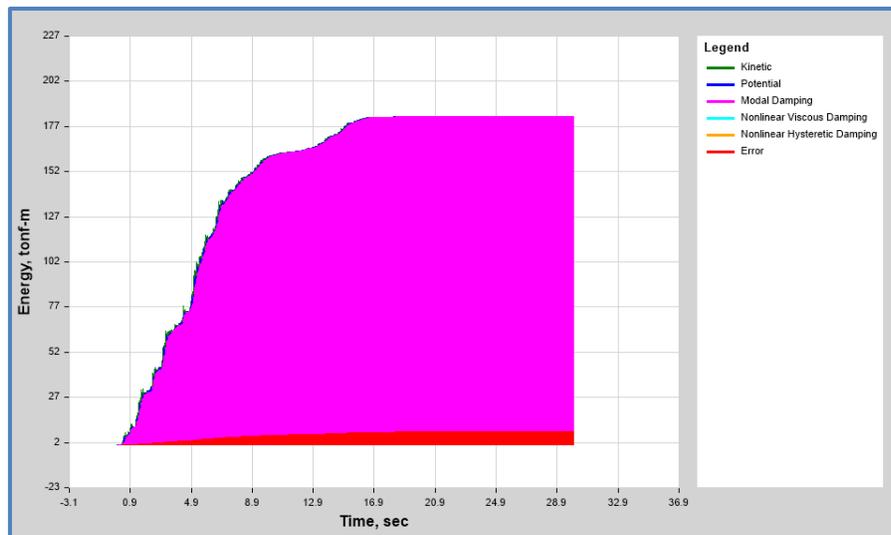


Figura 8. 18 Sismo 6.2 Distribución de energía disipadores D.F. AN y AS

En la imagen 8.18 se observa la distribución de energía de la estructura con disipadores de energía por fricción bajo el análisis del sismo de magnitud 6.2, en donde se puede apreciar que la mayor energía es asumida por la amortiguación de la estructura durante todo el sismo; las energías potencial y cinética, absorben energía de manera importante del 16 al 30 segundo del sismo.

La energía disipada por los disipadores por fricción colocados en el Ala Norte y Sur tienen un valor del 3.9% de la energía total de entrada, la energía modal de amortiguamiento en este caso es de 96% existiendo un porcentaje de energía que el programa asume como error al no ser reconocida la forma en que se disipa, esta energía también es disipada producto de la implementación de los dispositivos de fricción a manera de calor, sonido y vibraciones de los dispositivos.

8.4.1.5. Histéresis Disipador Friccionante

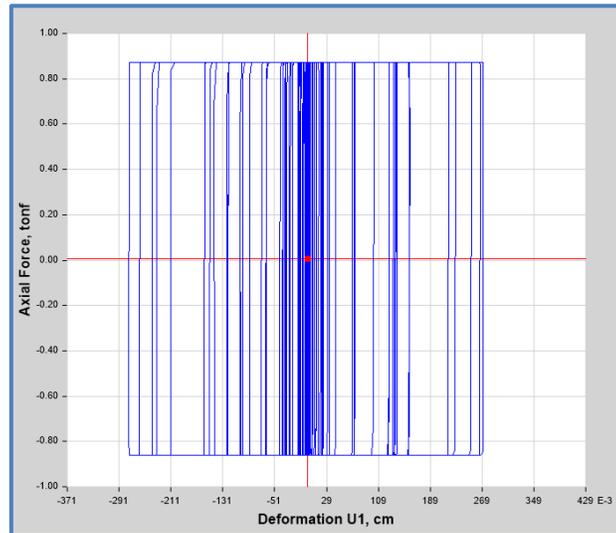


Figura 8. 19 Histéresis Disipador Friccionante Sismo 6.2 –Disipador K 51 AN y AS

En la figura 8.19 se muestra la histéresis del disipador friccionante con nomenclatura K 51 colocado en el Ala Norte y Sur. Se aprecia que la histéresis tiene la forma correcta de un disipador de energía friccionante. La fuerza máxima que ejerce el disipador es de 0.886 Ton y un desplazamiento máximo de 0.289 cm.

8.4.2. Escalera

8.4.2.1. Análisis No lineal Tiempo-Historia

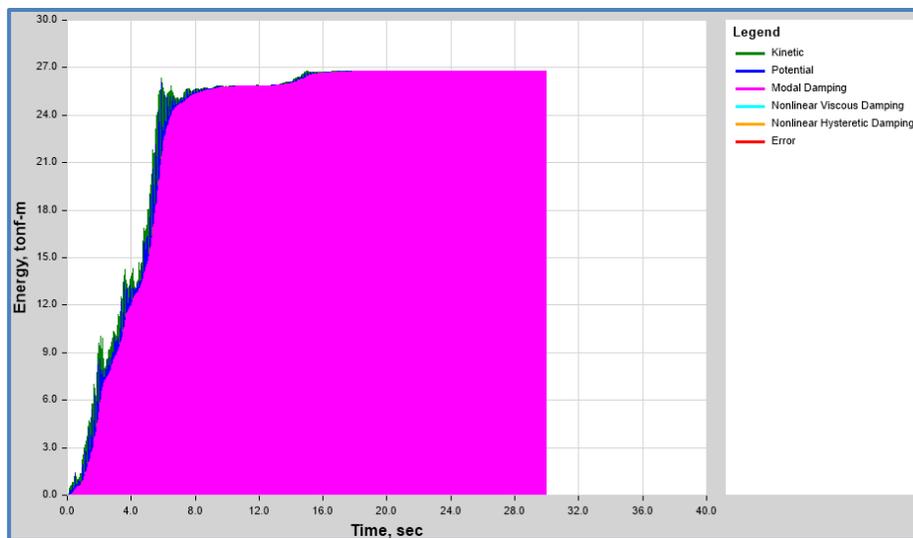


Figura 8. 20 Sismo 6.2 Distribución de energía estructura convencional-Escalera Central

En la figura 8.20 se aprecia que el 100% de la energía es absorbida por el amortiguamiento modal, el cual corresponde al amortiguamiento ofrecido por los elementos principales de la estructura. El amortiguamiento viscoso e histerético es igual a 0%.

8.4.2.2. Disipadores Viscoelásticos

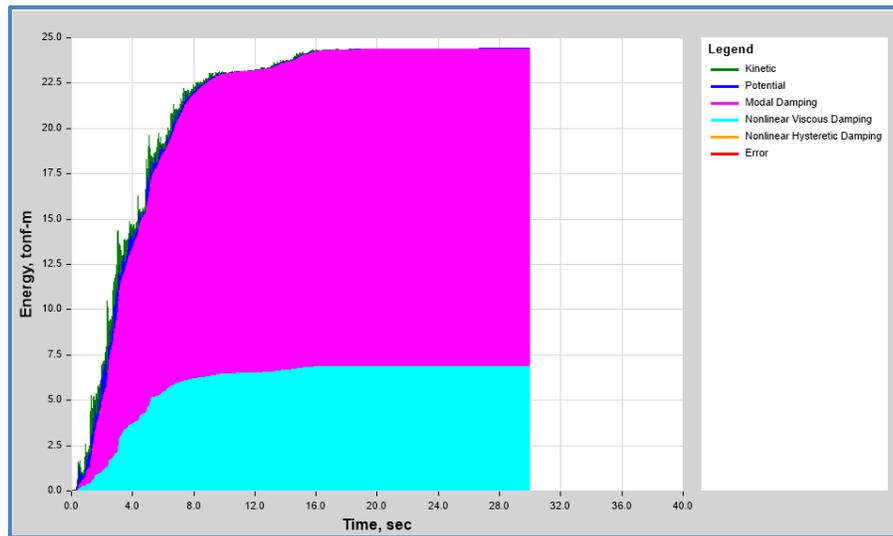


Figura 8. 21 Sismo 6.2 Distribución de energía disipadores V.E. Escalera

En la gráfica 8.21 se observa la distribución de energía de la Escalera con Disipadores Viscoelásticos, se observa que la mayor energía es absorbida por el amortiguamiento de la estructura durante la duración del sismo. La energía disipada por los disipadores viscoelásticos tienen como valor máximo en el segundo 30 un porcentaje de 28.2% y la energía modal de amortiguamiento de la estructura tiene un valor de 71.6% para ese mismo tiempo del sismo, la energía potencial y la energía cinética son despreciables en ese lapso de tiempo.

8.4.2.3. Histéresis de Disipador Viscoelástico

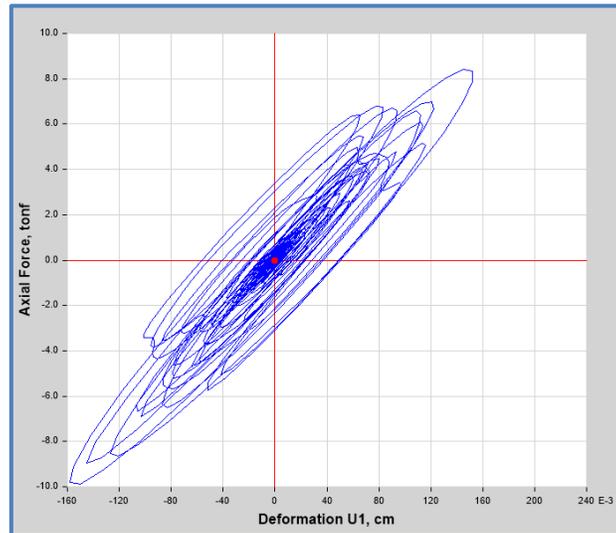


Figura 8. 22 Histéresis Disipador Viscoelástico Sismo 6.2 –Disipador K 33 Escalera

En el gráfico 8.22 se muestra la histéresis correspondiente al disipador k 44 donde muestra la fuerza axial y la deformación del disipador viscoelástico en el modelo de la escalera, donde la fuerza máxima es 12.5 Ton y la deformación máxima 0.16 cm. Mostrando el comportamiento característico de los disipadores viscoelásticos.

8.4.2.4. Disipadores Friccionantes

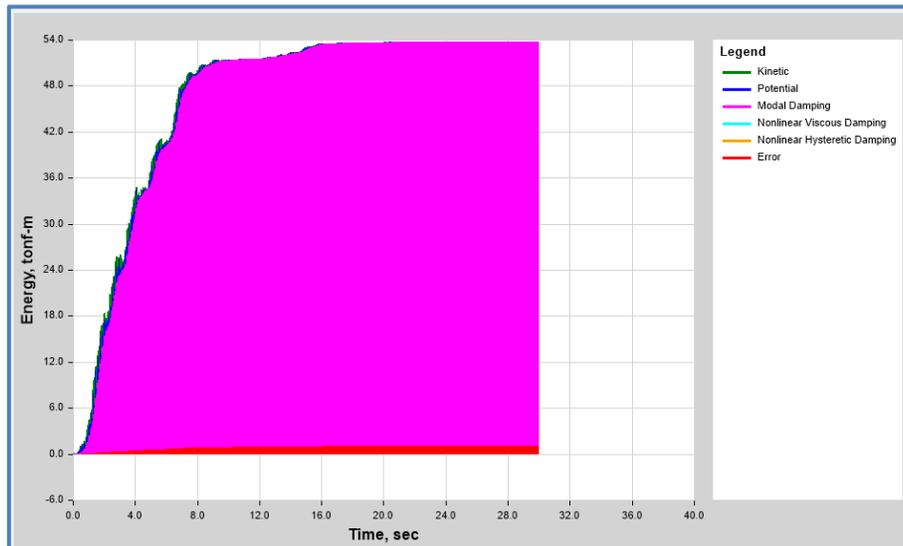


Figura 8. 23 Sismo 6.2 Distribución de Energía Disipadores D.F. AN y AS

En la imagen 8.23 se observa, que la mayor energía es asumida por la amortiguación de la estructura durante todo el sismo; la energía potencial y cinética, no absorben energía de manera importante del 20 al 28 segundo del sismo.

La energía disipada por los disipadores por fricción colocados en la Escalera tienen un valor del 2.5 % de la energía total de entrada, la energía modal de amortiguamiento en este caso es de 97.5 % existiendo un porcentaje de energía que el programa asume como error al no ser reconocida la forma en que se disipa, esta energía también es producto de la implementación de los dispositivos de fricción a manera de calor, sonido y vibraciones propias de los dispositivos.

8.4.2.5. Histéresis de Disipador Friccionante

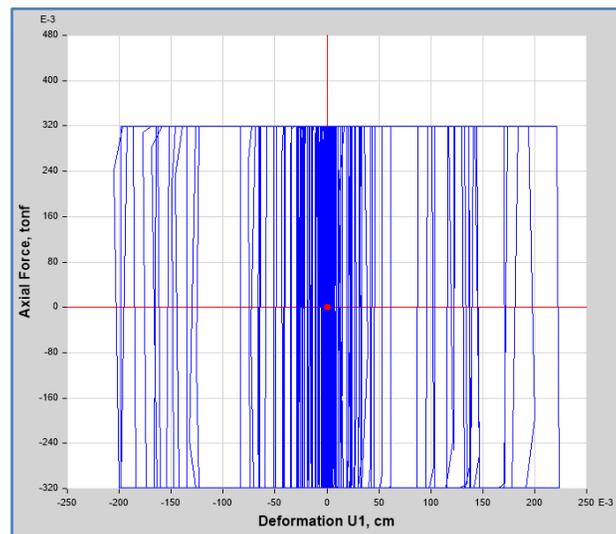


Figura 8. 24 Histéresis Disipador Friccionante Sismo 6.2 –Disipador K 5 Escalera Sismo 6.2 – Disipador K 5

En la gráfica 8.24 se observa el comportamiento que tiene el amortiguador friccionante con nomenclatura K 5 instalado en la Escalera Central del edificio, la respuesta histórica es estable y constante claramente representa el comportamiento característico de los disipadores friccionantes, la deformación máxima es de 0.22 cm y la fuerza axial máxima es de 0.32 ton.

8.5. Desplazamientos laterales y colindancias

Las tablas presentadas a continuación serán las correspondientes para el sismo de 6.2, en los Anexos C se presentaran las que corresponden a los sismos 5.6 y 6.5

8.5.1. Revisión de desplazamientos laterales

Para revisar los desplazamientos laterales se calcularan los estados límites de servicio y colapso de las estructuras sin disipadores y con disipadores.

La revisión se hará de acuerdo al Arto. 34 inciso c) del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07), de acuerdo al Arto. 34 incisos a) y b) los desplazamientos serán los que resulten del análisis estructural ante fuerzas reducidas, sin embargo debido a que el análisis estructural se realizó con acelerogramas por ser un análisis Tiempo-Historia y este no es contemplado en el RNC-07, los desplazamientos serán los obtenidos por el ETABS® los cuales no se multiplicarán por ningún factor mencionado en el Arto. 34 incisos a) y b), y se adaptará el Arto. 34 inciso c) de acuerdo a las condiciones de nuestro análisis.

Tabla 8. 3 Revisión de estado límite de servicio y colapso - AN y AS

Revisión de Estado Límite de Servicio y Colapso - Ala Norte y Sur (Sismo 6.2)												
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento (cm)		ΔH	0.002 ΔH	Δx	Δy	Estado Límite de Servicio ($\Delta \leq 0.002 \Delta H$)		Estado Límite de Colapso ($\Delta / \Delta h \leq 0.015$)	
			Xmax	Ymax					X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia sin Disipadores	TECHO	5.459	5.733	442	0.884	1.016	1.098	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		5	4.443	4.635	442	0.884	1.257	1.392	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		4	3.186	3.243	442	0.884	1.262	1.302	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.924	1.941	442	0.884	1.139	1.164	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.785	0.777	405	0.81	0.785	0.777	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
2	Análisis No lineal TH con Disipador Viscoelástico	TECHO	4.405	3.326	442	0.884	0.167	0.183	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	4.238	3.143	442	0.884	0.513	0.283	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	3.725	2.86	442	0.884	1.124	0.767	No Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	2.601	2.093	442	0.884	1.312	1.075	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		2	1.289	1.018	405	0.81	1.289	1.018	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	1.914	2.600	442	0.884	0.228	0.427	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	1.686	2.172	442	0.884	0.221	0.452	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.465	1.720	442	0.884	0.157	0.32	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.308	1.400	442	0.884	0.141	0.288	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	1.167	1.113	405	0.81	1.168	1.113	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa

Tabla 8. 4 Revisión de estado límite de servicio y colapso - Escalera

Revisión de Estado Límite de Servicio y Colapso - Escalera (Sismo 6.2)												
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento (cm)		ΔH	0.002 ΔH	Δx	Δy	Estado Límite de Servicio ($\Delta \leq 0.002 \Delta H$)		Estado Límite de Colapso ($\Delta / \Delta h \leq 0.015$)	
			Xmax	Ymax					X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia Sin Disipadores	TECHO	2.972	2.971	470	0.94	0.558	0.559	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.414	2.412	442	0.884	0.479	0.48	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.935	1.932	442	0.884	0.676	0.674	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.259	1.258	442	0.884	0.747	0.747	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.512	0.511	405	0.81	0.512	0.511	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
2	Análisis No lineal TH con Disipador Viscoelástico	TECHO	3.269	3.244	470	0.94	0.648	0.638	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.621	2.606	442	0.884	0.633	0.634	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.988	1.972	442	0.884	0.76	0.755	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.228	1.217	442	0.884	0.699	0.689	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.529	0.528	405	0.81	0.529	0.528	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	2.198	2.197	470	0.94	0.209	0.21	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	1.989	1.987	442	0.884	0.225	0.224	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.764	1.763	442	0.884	0.422	0.422	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.342	1.341	442	0.884	0.646	0.647	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.696	0.694	405	0.81	0.696	0.694	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa

En la tabla 8.3, se observa que el estado límite de servicio en el análisis sin disipadores, del piso tres al nivel de techo los desplazamientos en ambas direcciones no cumplen con la condición establecida en el literal “a” del inciso c) del Arto.34 del RNC-07; en el análisis con disipadores de energía hay mejoras en la limitación de daños en los elementos no estructurales, teniendo un mejor comportamiento la estructura con los disipadores friccionantes. Para el caso del estado límite de colapso del Ala norte y Sur los desplazamientos en ambas direcciones cumplen con lo estipulado en el literal “b” del inciso c) del Arto.34 del RNC-07 en todos los casos

En la tabla 8.4, se observa que el estado límite de servicio en el análisis sin disipadores y con disipadores, los desplazamientos en ambas direcciones cumplen con la condición establecida en el literal “a” del inciso c) del Arto.34 del RNC-07. Para el caso del estado límite de colapso de la Escalera Central, los desplazamientos en ambas direcciones cumplen con lo estipulado en el literal “b” del inciso c) del Arto.34 del RNC-07 en todos los casos.

8.5.2. Revisión de colindancia

La revisión de colindancia se realizara de acuerdo al Arto. 38 inciso c), d) y e) del RNC-07, los desplazamientos de estado límite de colapso usados para este cálculo fueron los desplazamientos presentados en las tablas 8.3 y 8.4.

En la estructura existe una separación entre los cuerpos de 20.3 cm, la cual refleja una separación permisible de 10.15 cm para cada uno. En el análisis sin disipadores se muestra que la separación máxima de 21.83 cm y la separación permisible de 10.91 cm exceden las separaciones existentes, siendo el Ala Norte y Sur la estructura que sobrepasa su separación permisible.

Al implementar disipadores viscoelásticos los valores de separación máxima y permisible en la dirección en X aunque presentan una reducción en comparación a la estructura sin disipadores, esta aun excede estas separaciones. Para la dirección en Y si cumple con todas las condiciones. En el análisis con disipadores friccionantes las separaciones calculadas reflejan una disminución significativa en sus valores cumpliendo con las separaciones existentes en la estructura.

Tabla 8. 5 Colindancia y separación permisible entre edificios – Sismo 6.2

Colindancia y separación permisible - Sismo 6.2										
N°	Estructura	Piso	Dimensión de Juntas				Separación			
			Ala norte y Sur		Escalera		Separación Máxima		Separación Permisible	
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia Sin Disipadores	TECHO	11.98	12.25	9.58	9.57	21.55	21.83	10.78	10.91
		5	9.64	9.83	7.61	7.61	17.24	17.43	8.62	8.72
		4	7.05	7.11	5.80	5.80	12.86	12.91	6.43	6.45
		3	4.47	4.48	3.80	3.80	8.27	8.28	4.13	4.14
		2	2.00	1.99	1.73	1.73	3.73	3.72	1.86	1.86
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	TECHO	10.92	9.85	9.87	9.85	20.80	19.69	10.40	9.85
		5	9.43	8.34	7.81	7.80	17.25	16.14	8.62	8.07
		4	7.59	6.73	5.86	5.84	13.45	12.57	6.72	6.28
		3	5.14	4.63	3.77	3.76	8.91	8.39	4.46	4.20
		2	2.50	2.23	1.74	1.74	4.25	3.98	2.12	1.99
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	8.43	9.12	8.80	8.80	17.23	17.92	8.62	8.96
		5	6.88	7.37	7.18	7.18	14.06	14.55	7.03	7.27
		4	5.33	5.59	5.63	5.63	10.96	11.22	5.48	5.61
		3	3.85	3.94	3.88	3.88	7.73	7.82	3.87	3.91
		2	2.38	2.33	1.91	1.91	4.29	4.24	2.15	2.12

CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

Se demostró que los disipadores viscoelásticos y friccionantes son dispositivos que proporcionan fácil análisis y modelación en el programa ETABS para la rehabilitación de estructuras en el país.

La ubicación seleccionada de los disipadores friccionantes y viscoelásticos evitó alterar la configuración existente de los arriostres, reduciendo los posibles costos en la rehabilitación del edificio, porque se utilizan los mismos perfiles instalados en el edificio y la modelación de las estructuras se simplifica.

Debido a la falta de registros de acelerogramas en el país, la obtención de acelerogramas sintéticos a partir de espectros de respuesta en el programa AcelSin®, es un procedimiento viable para la realización de análisis no lineales que requieran esta información.

En las comparaciones efectuadas se comprobó que los disipadores friccionantes reducen con mayor eficiencia los desplazamientos laterales y derivas, para el caso de las fuerzas cortantes disminuyen considerablemente con ambos disipadores. El momento flector presenta mayores reducciones con disipadores viscoelásticos, de igual manera con los disipadores friccionantes se obtienen buenos resultados sin embargo en algunos casos presentan leves aumentos, el momento torsor con ambos disipadores se ve disminuido para el caso del Ala Norte y Sur y aumentado levemente en la Escalera.

En las vigas del primer piso del Ala Norte y Sur los disipadores viscoelásticos disminuyen las fuerzas axiales, las fuerzas cortantes y el momento flector, y los disipadores friccionantes disminuyen las fuerzas cortantes, momento flector y torsor. En el caso de las columnas del primer piso ambos disipadores disminuyen la fuerza axial y el momento torsor, y aumentan la fuerza cortante y el momento flector.

En la Escalera las vigas del primer piso ambos disipadores aumentan la fuerza axial y disminuyen la fuerza cortante. Para los disipadores viscoelásticos el momento flector disminuye y el momento torsor no se ve afectado. Con los friccionantes el

momento torsor y flector aumenta. En las columnas del primer piso la fuerza axial disminuye con los viscoelásticos y con los friccionantes no se ve afectado, con ambos disipadores aumenta la fuerza cortante, el momento torsor y flector.

La comparación de distribución de energía entre los edificios sin disipadores y los edificios con la implementación de los disipadores viscoelásticos usando el análisis no lineal Tiempo–Historia, nos indica que los disipadores viscoelásticos si cumplen el objetivo de reducir los daños en la estructura, ya que la energía modal de amortiguamiento propio de la estructura es de un 28.3% para el Ala Norte el amortiguamiento por efectos de los disipadores es de un 71.2%. En la Escalera la energía modal de amortiguamiento disminuyo hasta un 71.6%, el 28.2% restante fue absorbido por estos disipadores y el resto es parte del amortiguamiento cinético y potencial de la estructura.

En los modelos con disipadores friccionantes se observó que la gráfica de distribución de energía refleja que el amortiguamiento propio de la estructura presenta un valor del 96% para el Ala Norte y Sur y 97.5% para la Escalera; los amortiguamientos histeréticos (asumido por los dispositivos friccionantes) son de 3.9% para el caso del Ala Norte y de 2.5% para la Escalera, a pesar que el porcentaje de energía asumido por los disipadores es considerablemente bajo, esto no significa que no hayan cumplido su objetivo pues su acción se ve reflejada en la restricción de desplazamientos.

En el caso de la colindancia entre los cuerpos de la estructura sin disipadores esta sobrepasaba la separación existente, con los disipadores friccionantes se logró cumplir con esto.

De acuerdo al análisis realizado, la estructura con disipadores presento mejoras en los desplazamientos, derivas y fuerza internas; sin embargo la estructura con ambos disipadores no cumplieron los requerimientos de estado límite de servicio, esto implica que la estructura aún podría presentar agrietamientos, vibraciones perceptibles, daños a elementos no estructurales y no podría ser ocupada de forma inmediata después del evento sísmico.

El dispositivo con el cual la estructura tiene mejor respuesta estructural en el edificio Rigoberto López Pérez (UNI - 01), es el disipador friccionante, pues redujo con mayor eficacia los desplazamientos, derivas, fuerzas cortantes, momentos flectores, momentos torsores y cumplió con la separación existente entre ambos cuerpos de la estructura.

Las ventajas alcanzadas del uso de los disipadores analizados frente al sistema convencional fue que se evitó que toda la energía de entrada del sismo fuera absorbida por los elementos principales y se redujeron las fuerzas internas en los elementos principales de la estructura.

Para la obtención de mejores resultados con estos disipadores se deben de realizar más iteraciones que incluyan diferentes ubicaciones de los dispositivos en la estructura y rediseñar los perfiles del brazo metálico donde será colocado el disipador.

9.2. Recomendaciones

Se recomiendan los disipadores friccionantes para ser implementados en el Edificio Rigoberto López Pérez (UNI - 01); sin embargo se deben realizar nuevas iteraciones para obtener mejores resultados, donde varíen las secciones del brazo metálico y la ubicación.

Se sugiere que para obtener mejores resultados en el estudio del Edificio Rigoberto López Pérez con estos disipadores deben realizarse nuevas iteraciones cambiando la ubicación y configuración de los brazos metálicos donde irán anclados estos dispositivos.

Se propone la implementación de otros dispositivos pasivos de energía en el edificio Rigoberto López Pérez (UNI-01), que sean ubicados en los arriostres existentes para ver su respuesta estructural.

En este trabajo se limitó a encontrar las propiedades de rigidez y amortiguamiento del disipador para poderlo modelar en el programa ETABS v 15.1. Sin embargo, se propone la realización de un estudio que demuestre las conexiones necesarias que se pueden realizar en estos y otros tipos de sistemas de disipación.

Se recomienda el estudio de estos amortiguadores para ver su comportamiento en estructuras de concreto que sean regulares.

Debido al amortiguamiento adicional que brindan los disipadores de energía y las mejoras que brindan a las estructuras, podemos decir que son técnicas avanzadas y modernas recomendables para la rehabilitación de edificios en Nicaragua. Así mismo estas técnicas pueden ser implementadas en el diseño de edificios nuevos, para reducir las dimensiones de los elementos estructurales y mitigar los daños causados por los sismos que son de gran frecuencia en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

Luis M. Bozzo y Alex H. Barbat, (2004) DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS, Técnicas Convencionales y Avanzadas. Edición en español, Editorial REVERTÉ, S.A. 2000, Barcelona, España.

Wilson, E.L.,(1999) THREE DIMENSIONAL STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF STRUCTURES: A PHYSICAL APPROACH WITH EMPHASIS ON EARTHQUAKE ENGINEERING. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, EEUU.

Oviedo, A. & Duque, M., (2006). SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES. Revista EIA, ISSN 1794-1237 (6), 105-120. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).

Naeim, F. y Kelly, J. M., (1999). DESIGN OF BASE ISOLATED STRUCTURES: FROM THEORY TO PRACTICE. John Wiley & Sons, Inc. New York.

REGLAMENTO NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN RNC-07. (2007) Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua. Nicaragua.

Soong, T. & Dargush G, (1997). PASSIVE ENERGY DISSIPATION SYSTEMS IN STRUCTURAL ENGINEERING. New York: John Wiley & Sons Ltd.

American Society of Civil Engineers (ASCE 7-10) .MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHERS STRUCTURES. Reston, Virginia.

Palazzo, G. L. Crisafulli, F. J. (s.f). EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE DISIPADORES POR FLUENCIA PARA LA REHABILITACION DE PORTICOS. Argentina

Salvador Ismael Gómez Chávez, (2007). ANALISIS SISMICO MODERNO.

Soong, T.T y Dargush, G.F, (1997). PASSIVE DISIPATION SYSTEMS IN STRUCTURAL ENGINEERING. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, Inglaterra.

Villagra González, Ramiro Ignacio, (2011). APLICACION DE DISPOSICIONES DE NORMA CHILENA EN ESTUDIO PARA DISEÑO DE EDIFICIOS CON DISIPADORES DE ENERGIA. Santiago, Chile.

SIGWEB (Sistemas Integrados de Gestión) DISIPACION DE ENERGIA.

Pardo Verdugo, Juan Pablo, (2007). CONTROL DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE ESTRUCTURAS MEDIANTE EL USO DE DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO DEL TIPO LINEAL. Valdivia, Chile.

R. Aguiar, J.L Almazán, P. Decheni, V. Suarez, (2008). AISLADORES DE BASE ELASTOMERICOS Y FPS. Quito, Ecuador.

Villareal Genner, Oviedo Ricardo, (2008) EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA. Lima, Perú.

Bozzo L., (2002). ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS EQUIPADAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA SL. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.

FEMA, (2003). NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES. No. 450. Washington, D.C. USA.

FEMA, (2000). NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS. No. 356. Washington, D.C. USA.

FEMA, (2005).NEHRP IMPROVEMENT OF NONLINEAR STATIC SEISMIC ANALYSIS PROCEDURES. No. 440. Washington, D.C. USA.

Vladimir Gustavo, Universidad Católica de Santa María, (2014). Tesis:” COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO LINEAL Y NO- LINEAL, EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO ALTO, CON DISIPADORES DE ENERGÍA E INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA”. Arequipa, Perú.

Kelly Trevor, S.E., Holmes Consulting Group (2001). IN- STRUCTURE DAMPING AND ENERGY DISSIPATION. Wellintong, New Zealand.

Pardo V. Juan P., Universidad Austral de Chile, (2007). CONTROL DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE ESTRUCTURAS MEDIANTE EL USO DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO DEL TIPO LINEAL. Valdivia, Chile.

Gallego Byron, Escuela Politécnica Nacional. ANÁLISIS DE UN EDIFICIO DE 6 PISOS CON DISIPADORES VISCOELÁSTICOS.

Hernández Dany, Martínez Griselda, Mayorga Andrés, Universidad Nacional de Ingeniería, (2012). Tesis: “DIAGNOSTICO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO 01 UNI – RUSB”. Managua, Nicaragua.

Chang K., Lin Y., Lai M., (1998). SISMIC ANALYSIS AND DESING OF STRUCTURES WITH VISCOELASTIC DAMPERS. ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No.380, Vol.35, No. 4, pp. 143-166.

Chong Waleón, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, (2013). Tesis: “ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CON DISIPADORES VISCOELASTICOS PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”. Guayaquil, Ecuador.

Jurado Máx., Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, (2015). Tesis: “ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES DE FRICCIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”. Guayaquil, Ecuador.

Chopra Anil K., (2014). Dinámica de estructuras. México.

Tena Colunga Arturo. MODELO ANALÍTICO DE EDIFICIOS CON DISIPADORES DE ENERGÍA: APLICACIONES EN PROYECTOS DE REPARACIÓN. México.

Sáez Uribe Alexis Alejandro, Universidad de Chile, (2014). Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL PARA EDIFICIOS CON SISTEMAS PASIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA UTILIZANDO REGISTROS SÍSMICOS CHILENOS". Santiago, Chile.

Donobhan Presichi Gerardo, Universidad Nacional Autónoma de México, (2007). Tesis: "APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS ESTÁTICOS Y DINÁMICO MODAL PARA EL DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS CON DISIPADORES DE ENERGÍA". México.

Bassotti Ricardo Daniel, Universidad Nacional de Tucumán. Tesis: "CONTROL DE VIBRACIONES TORSIONALES EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES". Tucumán.

Mosquera Maguiña Duani Edith, Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis: "ANÁLISIS DINAMICO DE ESTRUCTURAS USANDO VECTORES DE RITZ". Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO A:

TABLAS DE RESULTADOS DE LOS SISMOS 5.6 Y 6.5

- **Desplazamientos y derivas máximas de entrepiso.**
- **Fuerzas internas de vigas y columnas del primer piso.**
- **Fuerzas internas por piso.**

ANEXO A: TABLAS DE RESULTADOS DE LOS SISMOS 5.6 Y 6.5

A.1 Ala Norte y Sur

- Desplazamientos y derivas máximas de entrepiso:

Desplazamientos y Derivas - Sismo 5.6						
N°	Estructura	Piso	Desplazamientos		Derivas	
			X máx. (cm)	Y máx. (cm)	Δx máx.	Δy máx.
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	5.193	5.494	0.00269	0.00341
		5	4.215	4.420	0.00317	0.00328
		4	2.991	3.050	0.00293	0.00313
		3	1.762	1.731	0.00253	0.00276
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	5.726	5.397	0.00144	0.00211
		5	5.234	5.095	0.00304	0.00310
		4	4.219	4.244	0.00428	0.00386
		3	2.747	2.834	0.00353	0.00385
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	1.988	2.235	0.00092	0.00129
		5	1.772	1.862	0.00088	0.00125
		4	1.554	1.493	0.00065	0.00081
		3	1.402	1.252	0.00045	0.00070
		2	1.264	1.013	0.00314	0.00255

Desplazamientos y Derivas - Sismo 6.5						
N°	Estructura	Piso	Desplazamientos		Derivas	
			X máx. (cm)	Y máx. (cm)	Δx máx.	Δy máx.
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	2.651	2.743	0.00144	0.00182
		5	2.072	2.128	0.00163	0.00176
		4	1.364	1.375	0.00142	0.00151
		3	0.732	0.711	0.00111	0.00013
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	4.737	3.830	0.00095	0.00149
		5	4.636	3.704	0.00214	0.00216
		4	4.071	3.207	0.00370	0.00274
		3	2.764	2.333	0.00339	0.00294
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	1.342	1.794	0.00084	0.00080
		5	1.167	1.457	0.00080	0.00070
		4	0.985	1.109	0.00061	0.00053
		3	0.855	0.865	0.00043	0.00038
		2	0.746	0.668	0.00187	0.00099

- Fuerzas internas de vigas y columnas del primer piso:

Fuerzas internas máximas de la viga del primer piso – Sismo 5.6					
N°	Estructura	Viga ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	53.435 (14)	10.423 (19)	18.279 (19)	0.00625 (45)
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	31.479 (14)	12.822 (19)	22.648 (19)	0.0094 (45)
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	497.991 (589)	7.414 (19)	13.690 (19)	0.00460 (45)

Fuerzas internas máximas de la columna del primer piso – Sismo 5.6					
N°	Estructura	Columna ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	611.551 (86)	11.135 (79)	32.829 (79)	0.00753 (111)
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	192.542 (86)	21.172 (78)	60.567 (78)	0.00470 (101)
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	438.532 (108)	23.533 (77)	58.717 (77)	0.00550 (101)

Fuerzas internas máximas de la viga del primer piso – Sismo 6.5					
N°	Estructura	Viga ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	27.869 (14)	4.214 (19)	7.353 (19)	0.00310 (45)
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	23.222 (14)	10.947 (19)	19.434 (52)	0.00940 (45)
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	329.147 (589)	5.325 (19)	9.778 (19)	0.00020 (71)

Fuerzas internas máximas de la columna del primer piso – Sismo 6.5					
N°	Estructura	Columna ()			
		N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	320.665 (86)	3.582 (79)	12.191 (79)	0.00559 (111)
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	159.878 (89)	21.987 (77)	66.171 (77)	0.00360 (95)
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	333.171 (108)	23.045 (77)	57.111 (77)	0.00460 (101)

- **Fuerzas internas por piso:**

Fuerzas internas por piso - Sismo 5.6						
N°	Estructura	Piso	Fuerzas Internas			
			N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo- Historia sin Disipadores	Techo	0.000	561.887	0.000	25728.682
		5	0.000	1258.631	2877.831	52872.108
		4	0.000	1718.822	8738.217	67271.045
		3	0.000	1958.839	16029.774	75637.619
		2	0.000	2035.493	23744.979	78308.258
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	1.359	73.867	94.314	2586.488
		5	3.739	129.009	717.907	6640.836
		4	5.656	213.694	2687.419	10301.894
		3	14.027	325.743	4795.523	13885.336
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	2	2.404	401.259	8799.108	17651.953
		Techo	2.031	68.992	186.835	1788.953
		5	2.278	76.087	959.917	1889.472
		4	3.656	41.151	4007.822	981.858
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	3	0.960	90.112	6354.931	3463.854
		2	1.819	374.389	14802.058	17460.581

Fuerzas internas por piso - Sismo 6.5						
N°	Estructura	Piso	Fuerzas Internas			
			N máx. (T)	V máx. (T)	M máx. (T.m)	M t máx. (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	0.000	290.141	0.000	16497.760
		5	0.000	477.399	1711.909	29403.320
		4	0.000	811.549	4834.407	33270.750
		3	0.000	975.986	8327.336	33603.750
		2	0.000	856.929	11724.920	28134.230
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	0.970	52.639	58.910	2271.730
		5	2.399	124.280	470.948	3996.542
		4	3.816	184.127	2007.828	6804.895
		3	12.222	314.407	4767.468	10724.460
		2	2.245	432.805	7703.027	15278.110
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	1.715	65.111	142.188	1889.446
		5	2.212	65.136	836.904	1638.451
		4	1.992	32.238	3328.260	3328.260
		3	0.512	55.111	5250.871	5250.871
		2	1.758	283.516	11864.120	11864.120

A.2 Escalera Central

- Desplazamientos y derivas máximas de entrepiso:

Desplazamientos y Derivas - Sismo 5.6						
N°	Estructura	Piso	Desplazamientos		Distorsión	
			X máx (cm)	Y máx (cm)	Δx máx	Δy máx
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	4.186	4.188	0.00183	0.00183
		5	3.509	3.508	0.00209	0.00210
		4	2.621	2.619	0.00247	0.00248
		3	1.566	1.563	0.00223	0.00222
		2	0.599	0.598	0.00148	0.00148
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	3.454	3.451	0.00227	0.00226
		5	2.869	2.865	0.00237	0.00237
		4	2.208	2.205	0.00219	0.00219
		3	1.405	1.401	0.00217	0.00216
		2	0.552	0.552	0.00160	0.00160
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	2.598	2.599	0.00139	0.00138
		5	2.217	2.215	0.00132	0.00133
		4	1.733	1.731	0.00133	0.00133
		3	1.462	1.461	0.00149	0.00149
		2	0.852	0.849	0.00210	0.00210

Desplazamientos y Derivas – Sismo 6.5						
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento		Distorsión	
			X máx (cm)	Y máx (cm)	Δx máx	Δy máx
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	2.849	2.845	0.00169	0.00169
		5	2.183	2.180	0.00179	0.00179
		4	1.960	1.957	0.00155	0.00155
		3	1.392	1.390	0.00183	0.00182
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	3.002	2.059	0.00206	0.00179
		5	2.408	1.698	0.00219	0.00187
		4	1.952	1.536	0.00200	0.00136
		3	1.294	1.23	0.00190	0.00156
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	2.773	2.772	0.00132	0.00131
		5	2.634	2.632	0.00144	0.00144
		4	2.317	2.316	0.00141	0.00141
		3	1.722	1.721	0.00198	0.00198
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	2	0.848	0.846	0.00210	0.00209

- **Fuerzas internas de vigas y columnas del primer piso:**

Fuerzas internas máximas de la viga del primer piso (Sismo 5.6)					
N°	Estructura	Viga ()			
		N máx (T)	V máx (T)	M máx (T.m)	M t máx (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	13.839 (241)	25.744 (240)	40.651 (301)	2.805 (301)
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	15.655 (235)	25.848 (239)	38.961 (235)	2.605 (231)
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	169.707 (235)	24.243 (239)	37.759 (235)	3.979 (17)

Fuerzas internas máximas de la columna del primer piso (Sismo 5.6)					
N°	Estructura	Columna ()			
		N máx (T)	V máx (T)	M máx (T.m)	M t máx (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	289.164 (377)	23.587 (105)	71.213 (105)	0.120 (105)
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	68.976 (72)	27.582 (105)	85.803 (105)	0.716 (105)
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	327.101 (408)	51.308 (72)	133.972 (72)	0.212 (72)

Fuerzas internas máximas de la viga del primer piso (Sismo 6.5)					
N°	Estructura	Viga ()			
		N máx (T)	V máx (T)	M máx (T.m)	M t máx (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	15.322 (235)	20.365 (302)	39.766 (235)	2.690 (301)
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	16.896 (237)	21.344 (239)	39.068 (237)	2.234 (231)
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	151.115 (241)	21.457 (235)	44.857 (235)	3.669 (17)

Fuerzas internas máximas de la columna del primer piso (Sismo 6.5)					
N°	Estructura	Columna ()			
		N máx (T)	V máx (T)	M máx (T.m)	M t máx (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	206.577 (408)	28.846 (105)	89.579 (105)	0.117 (72)
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	67.220 (83)	30.717 (105)	92.484 (105)	0.447 (105)
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	295.012 (408)	50.052 (105)	137.077 (105)	0.215 (105)

- Fuerzas internas por piso

Fuerzas internas por piso (Sismo 5.6)						
N°	Estructura	Piso	Fuerzas Internas			
			N máx (T)	V máx (T)	M máx (T.m)	M t máx (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	0.000	166.165	40.792	1483.188
		5	0.000	284.032	821.765	1702.251
		4	11.341	367.288	2011.153	1496.051
		3	0.000	405.147	3649.589	2020.379
		2	0.000	427.669	5680.433	2720.214
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	0.061	85.714	25.029	1420.851
		5	0.043	103.551	446.874	1738.170
		4	10.616	93.266	963.635	1504.353
		3	0.060	151.824	1379.918	1976.692
		2	0.073	178.368	1794.200	2635.415
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	0.477	101.826	89.271	1488.916
		5	0.826	103.290	721.450	1753.134
		4	11.689	73.473	1953.964	1470.423
		3	0.117	98.031	1877.480	1964.284
		2	0.254	225.435	5542.577	2646.723

Fuerzas internas por piso (Sismo 6.5)						
N°	Estructura	Piso	Fuerzas Internas			
			N máx. (T)	V máx. (T)	M máx (T.m)	M t máx (T.m)
1	Análisis No Lineal Tiempo-Historia sin Disipadores	Techo	0.000	139.805	36.875	1396.385
		5	0.000	203.566	693.960	1897.101
		4	11.254	276.263	1646.789	1522.713
		3	0.000	352.769	2641.226	2252.241
		2	0.000	418.354	4126.513	2867.949
2	Análisis No Lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	Techo	0.047	84.715	26.788	1332.777
		5	0.055	117.737	450.125	1396.647
		4	11.487	121.706	1018.891	907.344
		3	0.042	160.197	1198.730	1984.574
		2	0.051	191.827	1855.606	2583.276
3	Análisis No Lineal TH con Disipadores Friccionantes	Techo	0.422	87.983	73.901	1423.707
		5	0.825	91.735	713.115	1940.375
		4	13.786	72.076	2036.144	1482.542
		3	0.130	110.925	1739.454	2215.615
		2	0.233	271.379	4706.867	2943.033

ANEXO B:

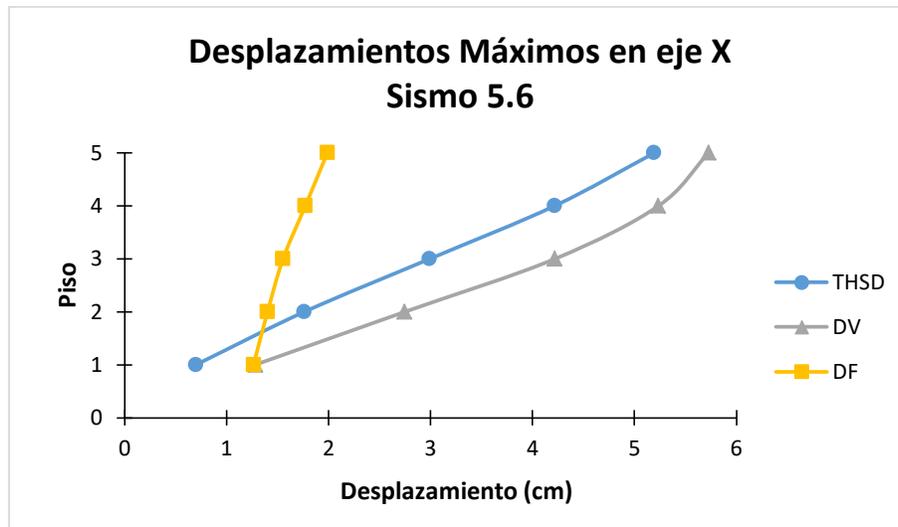
ANÁLISIS DE GRÁFICAS PARA LOS SISMOS 5.6 Y 6.5

- **Desplazamientos y derivas máximas.**
- **Fuerzas axiales y cortantes de vigas del primer piso.**
- **Fuerzas axiales y cortantes de columnas del primer piso.**
- **Momento flector y torsor de las vigas del primer piso.**
- **Momento flector y torsor de las columnas del primer piso.**
- **Fuerza cortante máxima por piso.**
- **Momento flector máximo por piso.**
- **Momento torsor máximo por piso.**

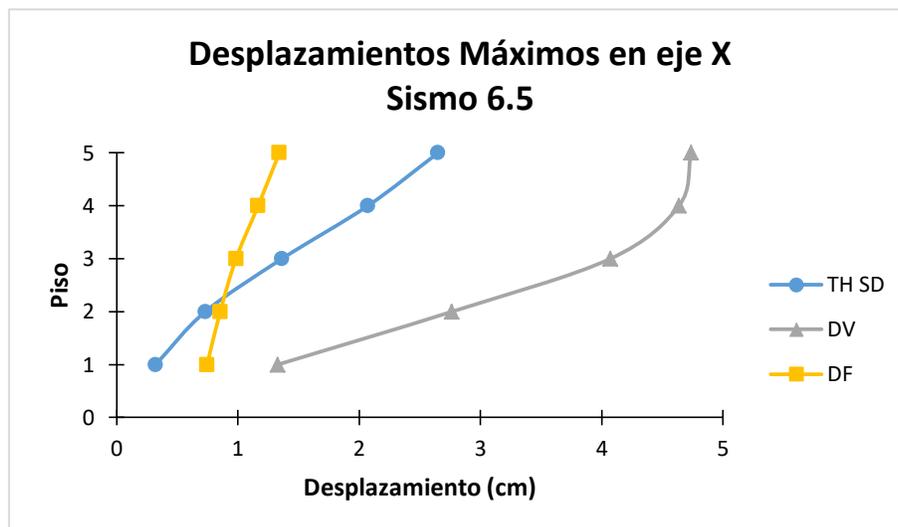
ANEXO B: ANÁLISIS DE GRÁFICAS PARA LOS SISMOS 5.6 Y 6.5

B.1 Ala Norte y Sur

- Desplazamientos y derivas máximas

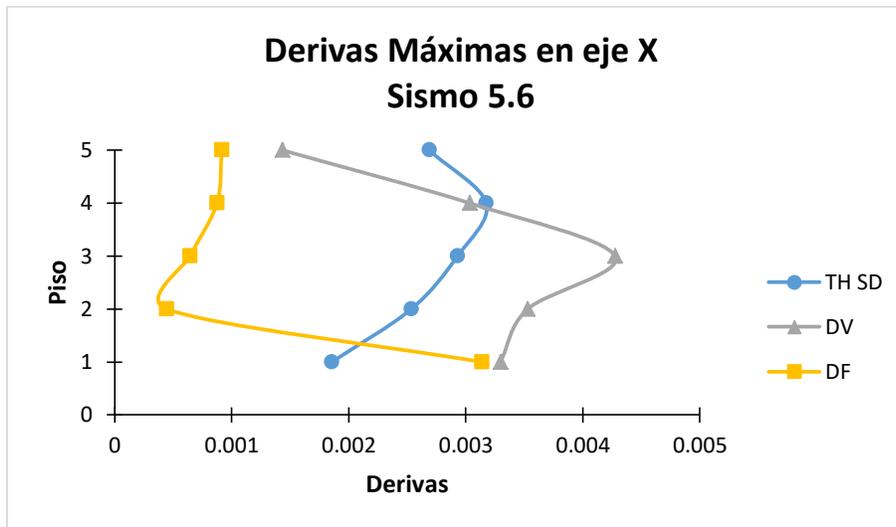


En las figuras observamos los resultados de los desplazamientos máximos en X del sismo 5.6. Estos desplazamientos se reducen con los friccionantes en todos los pisos a excepción del piso 2 y aumentan con los viscoelásticos del piso 2 al 5 y en el techo el desplazamiento es igual al de la estructura sin disipadores.

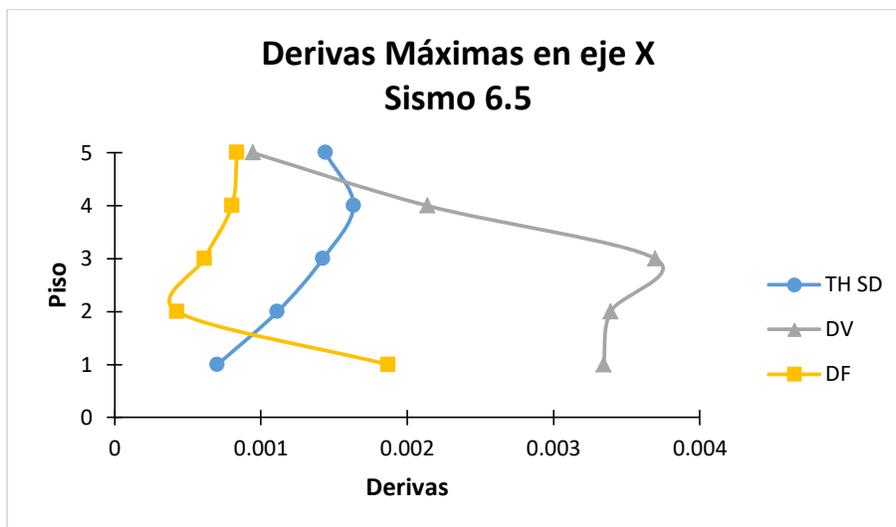


En las gráficas vemos los desplazamientos máximos en X para cada piso con el sismo 6.5. Los desplazamientos disminuyen con los amortiguadores friccionantes en los pisos 4, 5 y el techo; en el piso 2 y 3 estos aumentan en comparación a la

estructura sin disipadores. Con los disipadores viscoelásticos se incrementan gradualmente los desplazamientos máximos.



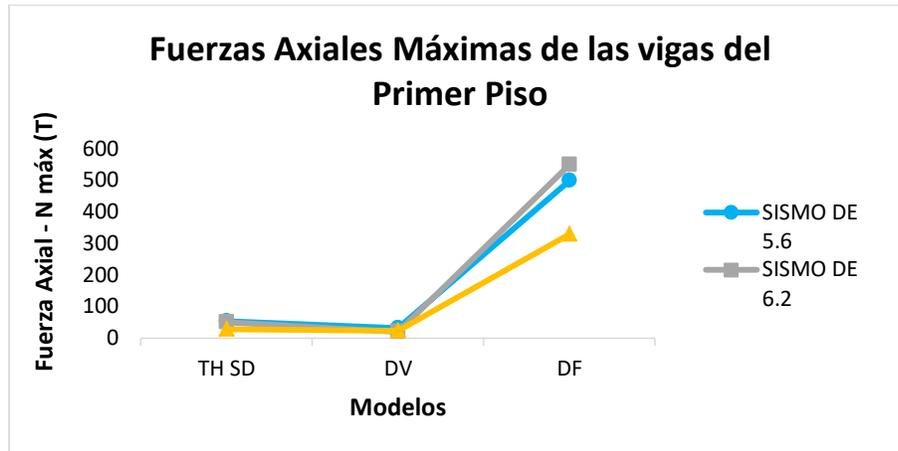
En las figuras se muestran las derivas máximas en X para cada entrepiso en el sismo 5.6. Los disipadores friccionantes reducen considerablemente las distorsiones máximas, la disminución más notoria se da en los pisos 3 y 4 y se presenta un leve aumento en el piso 2. Con los amortiguadores viscoelásticos las derivas se incrementan en los pisos 2,3 y 4; y aumentan en el piso 5 y el techo.



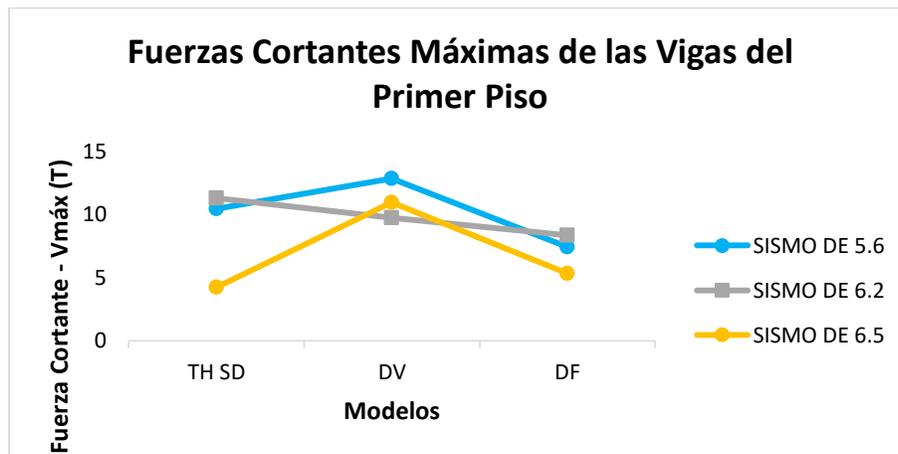
En las gráficas observamos las derivas máximas de entrepiso en X para el sismo 6.5. Los amortiguadores viscoelásticos aumentan considerablemente las distorsiones

desde el piso 2 al piso 5, a excepción del techo donde se reduce. Con los friccionantes las distorsiones disminuyen, la reducción máxima se da en el tercer piso, sin embargo en el segundo piso se da un leve aumento.

- **Fuerzas axiales y cortantes de vigas del primer piso**



En la figura se muestra los resultados de las fuerzas axiales máximas de viga para cada caso de sismo. Vemos que para cada sismo estas fuerzas se reducen con los disipadores viscoelásticos principalmente para un sismo de magnitud considerable como el de 6.5, a diferencia de los friccionantes que las incrementa en más de un 50%.

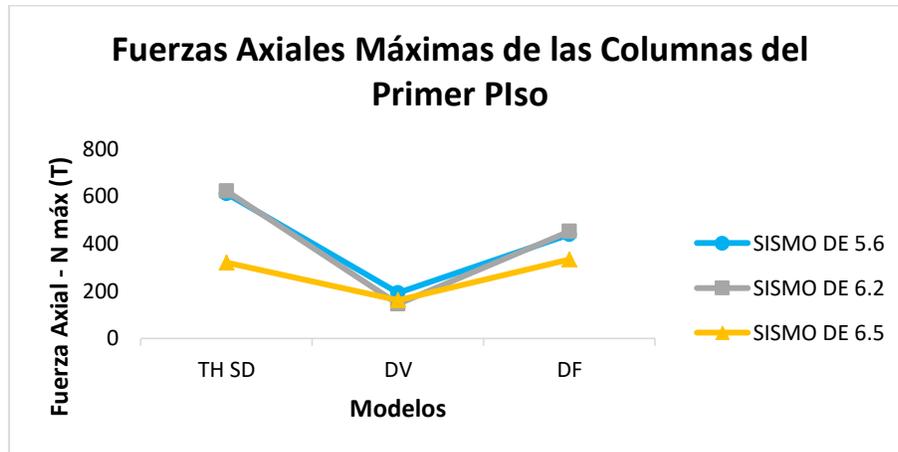


En la gráfica se observan las fuerzas cortantes máximas para cada caso de sismo. Estas fuerzas disminuyen con ambos disipadores para el sismo 6.2, y para el sismo 5.6 se reducen con los amortiguadores friccionantes, e incrementan considerablemente con los viscoelásticos. En el caso del sismo 6.5, las fuerzas

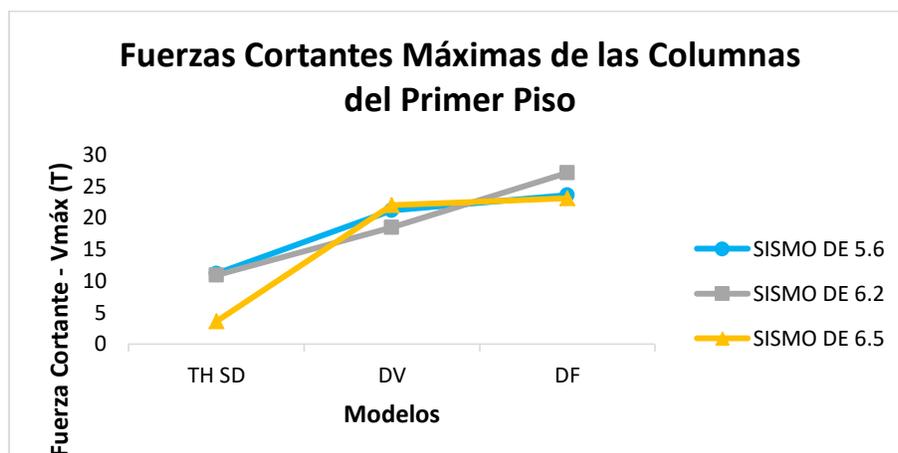
cortantes aumentan mayormente con los disipadores viscoelásticos y en menor incidencia con los friccionantes.

- **Fuerzas axiales y cortantes de columnas del primer piso**

En la gráfica podemos observar que los disipadores viscoelásticos reducen más las fuerzas axiales en las columnas que los friccionantes, aunque estos reducen también en gran manera la magnitud de estas fuerzas.



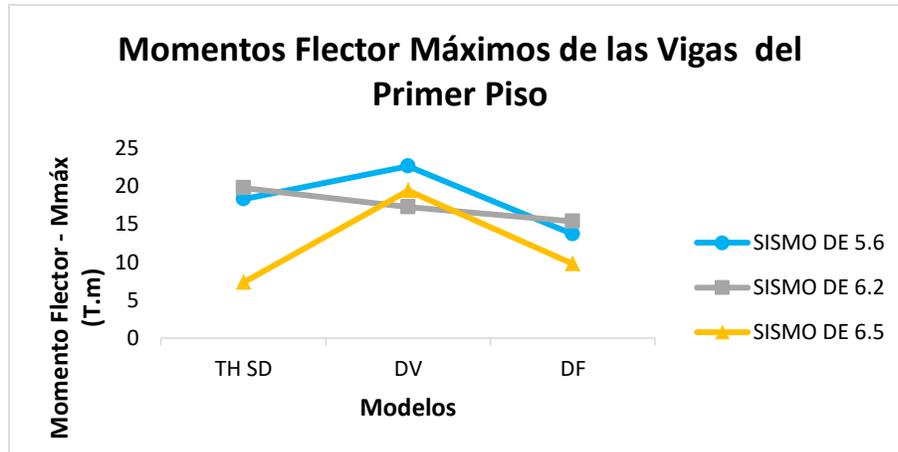
En la gráfica vemos que las fuerzas axiales máximas de las columnas para cada caso de sismo tienen una mayor reducción con los amortiguadores viscoelásticos especialmente en el sismo 6.5. Los disipadores friccionantes para el sismo 6.5 mantienen la magnitud de estas fuerzas, pero en el sismo 6.2 las fuerzas axiales se reducen con estos disipadores en comparación a la estructura sin disipadores.



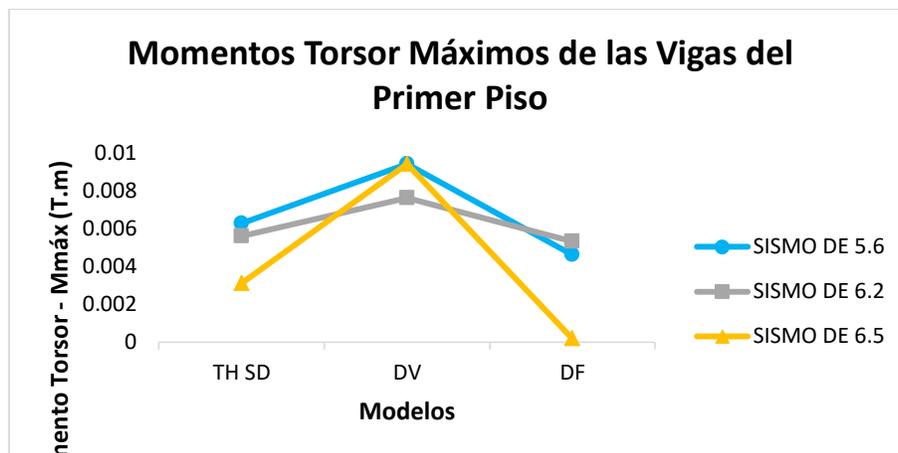
En la figura observamos que las fuerzas cortantes de las columnas para el sismo 5.6 aumentan con ambos dispositivos. Para el sismo 6.2 el aumento de las fuerzas

ocurre linealmente con los disipadores, para el caso del sismo 6.5, las fuerzas cortantes incrementan en comparación a la edificación sin disipadores.

- **Momento flector y torsor de las vigas del primer piso**

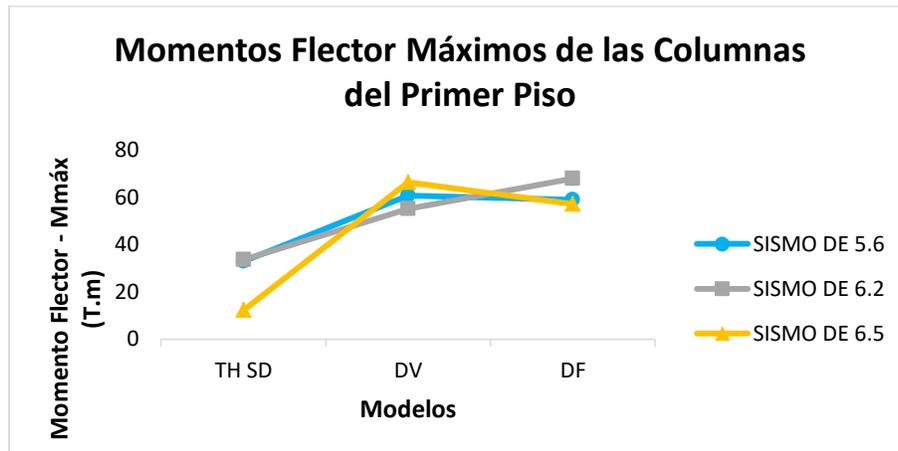


En la figura observamos que los momentos flectores para el sismo 5.6 incrementan con los amortiguadores viscoelásticos y se reducen con los friccionantes. En el caso del sismo 6.2 los momentos disminuyen con ambos disipadores, pero la máxima reducción se da con los friccionantes, para el sismo 6.5 los momentos incrementan con ambos disipadores, pero el aumento máximo lo generan los viscoelásticos.

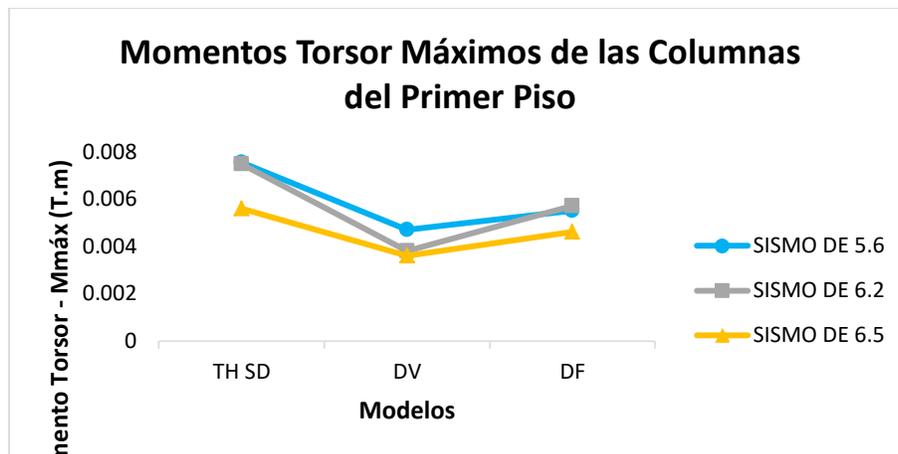


En la gráfica observamos que los momentos torsores incrementan con los amortiguadores viscoelásticos para cada sismo. Los momentos disminuyen considerablemente con los disipadores friccionantes, sobre todo con el sismo 6.5, donde se reducen en más de un 50%.

- **Momento flector y torsor de las columnas del primer piso**

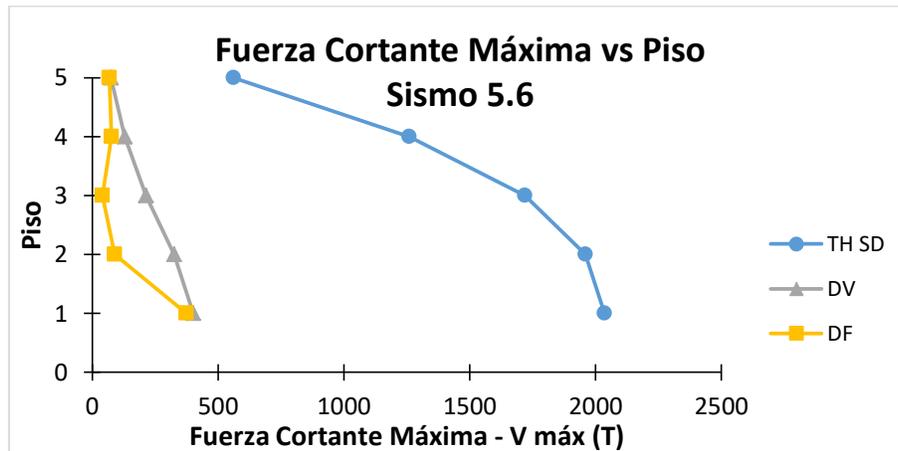


En la figura se muestra que los momentos flectores de las columnas de la estructura sin disipadores, incrementan con ambos disipadores para cada magnitud de sismo, el mayor incremento ocurre para el sismo 6.2 con los amortiguadores friccionantes.

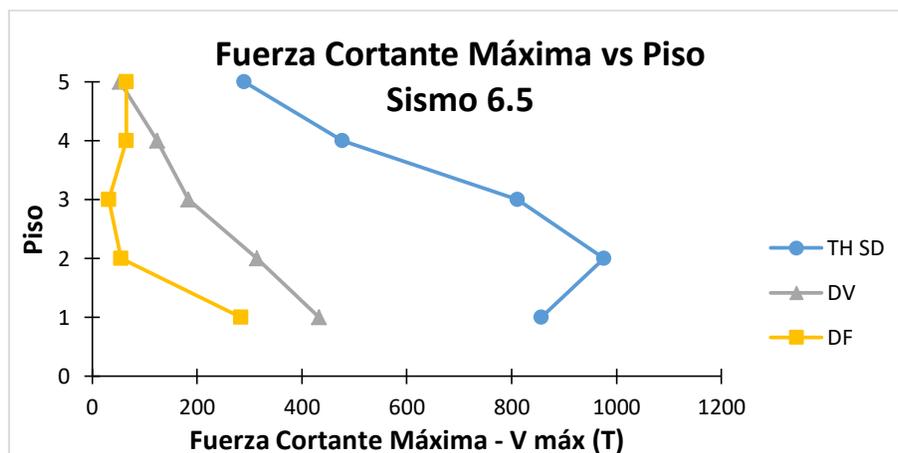


En la ilustración podemos observar que los disipadores viscoelásticos obtienen una mayor reducción de los momentos torsores en comparación a los friccionantes.

- Fuerza cortante máxima por piso

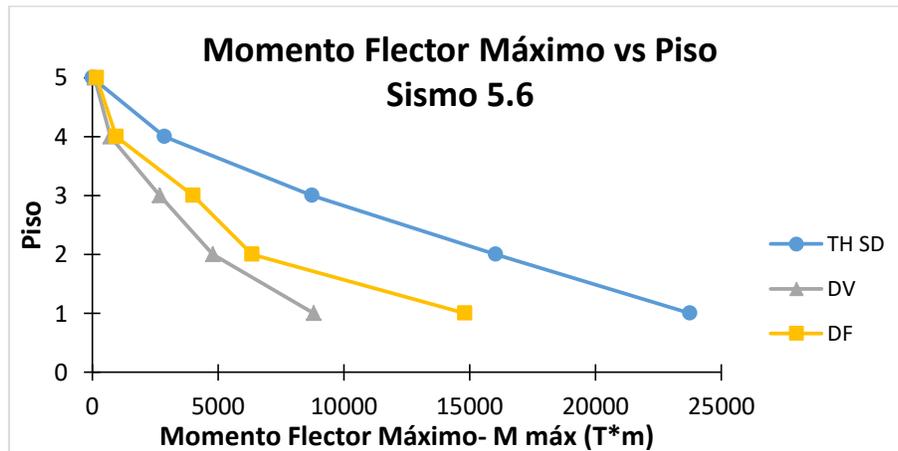


En la figura se muestran las fuerzas cortantes máximas para cada piso del sismo 5.6. Las fuerzas se reducen con ambos disipadores, pero la mayor reducción se da con los friccionantes, principalmente en el piso 3 y 4.

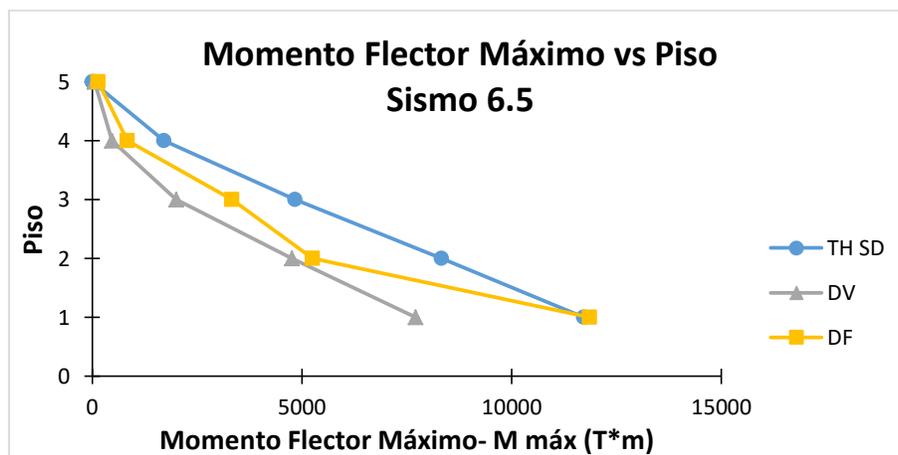


En la ilustración se muestra la fuerza cortante máxima para cada piso del sismo 6.5. Las fuerzas disminuyen considerablemente con ambos disipadores, pero la mayor reducción es con los amortiguadores friccionantes, más en el piso 3.

- **Momento flector máximo por piso.**

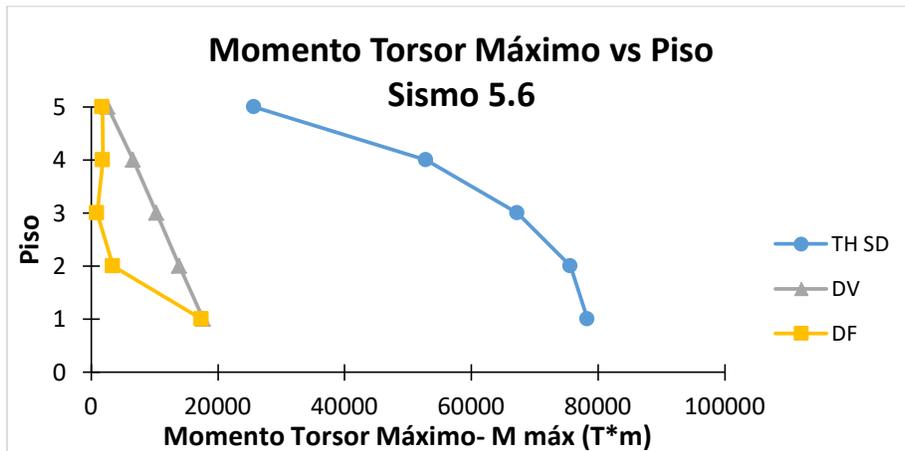


En la gráfica vemos los momentos flectores para cada piso del sismo 5.6. Los momentos se reducen con ambos disipadores, pero la mayor reducción se da con los amortiguadores viscoelásticos.

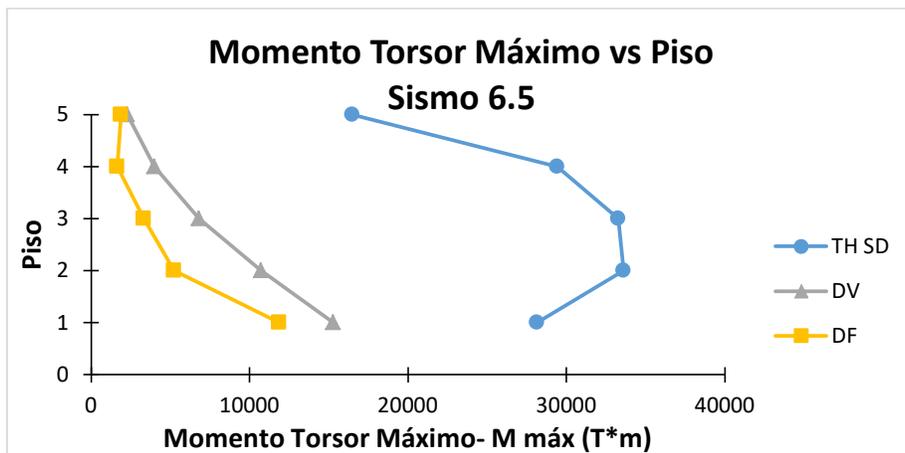


En la figura observamos los momentos flectores para cada piso del sismo 6.5. Estos momentos se reducen más con los disipadores viscoelásticos a excepción del techo. Los disipadores friccionantes disminuyen también desde el piso 3 al piso 5.

- **Momento torsor máximo por piso**



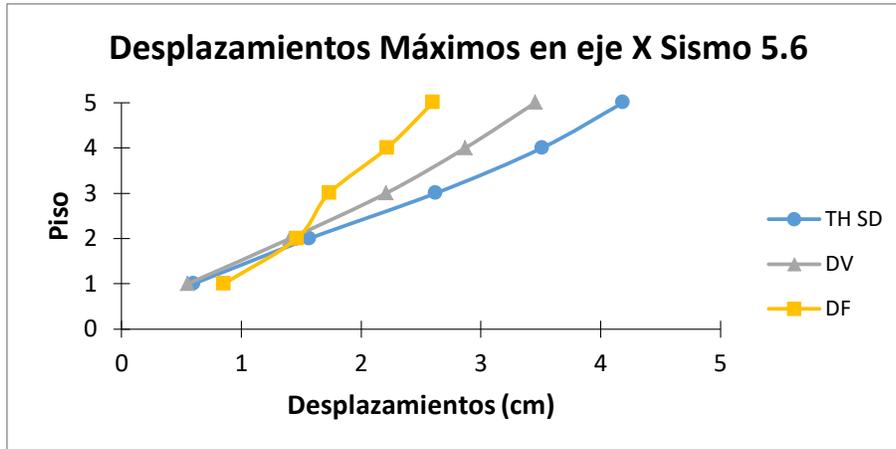
En la gráfica se muestran los momentos torsores para cada piso del sismo 5.6. Los momentos se reducen con ambos disipadores, pero la mayor disminución se da con los amortiguadores friccionantes en los pisos 3,4 y 5.



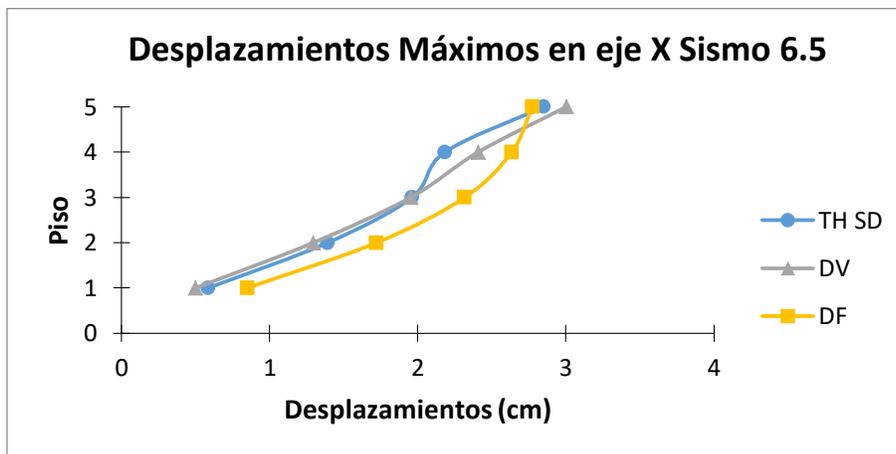
En la ilustración vemos los momentos torsores para cada piso del sismo 6.5. Estos momentos disminuyen considerablemente con ambos disipadores, principalmente con los amortiguadores friccionantes.

B.1 Escalera central

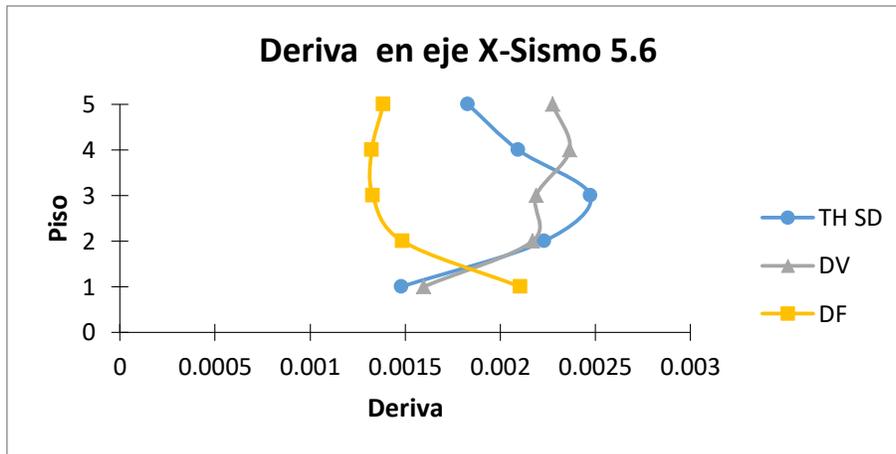
- Desplazamientos y derivas máximas



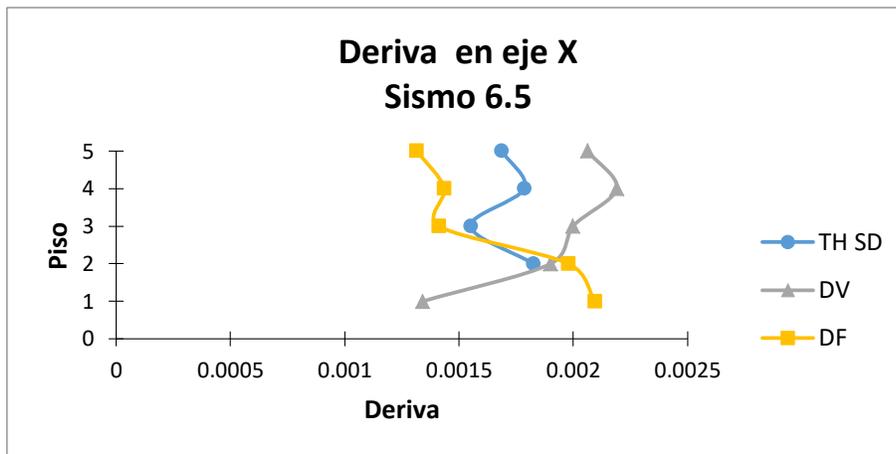
En la gráfica podemos observar los desplazamientos máximos de la Escalera Central del sismo 5.6. Los desplazamientos disminuyen con los disipadores viscoelásticos en los pisos 4,5 y el techo. Los friccionantes reducen los desplazamientos en los pisos 3, 4,5 y el techo y presenta un leve aumento en el segundo piso.



En la figura vemos los desplazamientos máximos para el sismo 6.5. Los desplazamientos disminuyen con los disipadores viscoelásticos en los pisos 2,3 y 4 y aumentan en el piso 5 y el techo. Con los disipadores friccionantes aumentan en todos los pisos menos en el techo.

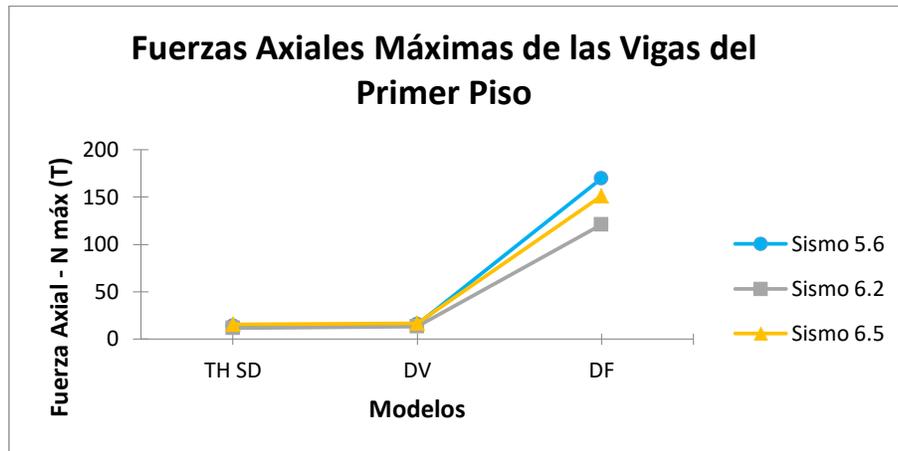


En la ilustración se muestran las derivas para el sismo 5.6. Las distorsiones aumentan con los amortiguadores viscoelásticos en el entrepiso 5 y el techo, y se reducen en el entrepiso 3 y 4, el piso 2 presenta un leve aumento. Con los disipadores friccionantes las distorsiones disminuyen en todos los pisos a excepción del segundo.

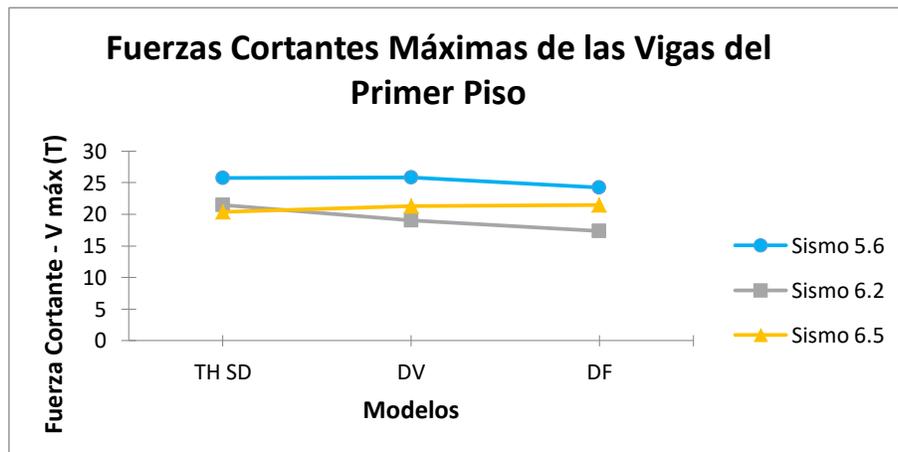


En la ilustración observamos las derivas en X para el sismo 6.5. Las distorsiones incrementan en todos los pisos con los disipadores viscoelásticos menos en el segundo. Los amortiguadores friccionantes disminuyen las distorsiones solamente en los entrepisos 4,5 y el techo; y las aumenta en los pisos 2 y 3.

- **Fuerzas axiales y cortantes de vigas del primer piso**

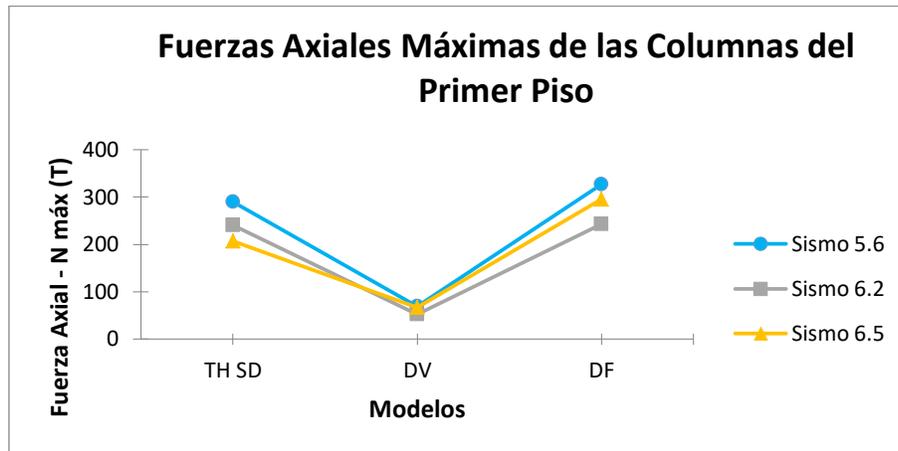


En la gráfica observamos las fuerzas cortantes de las vigas para cada caso de sismo. Las fuerzas presentan una leve disminución con los disipadores viscoelásticos y se observa un considerable incremento con los friccionantes.

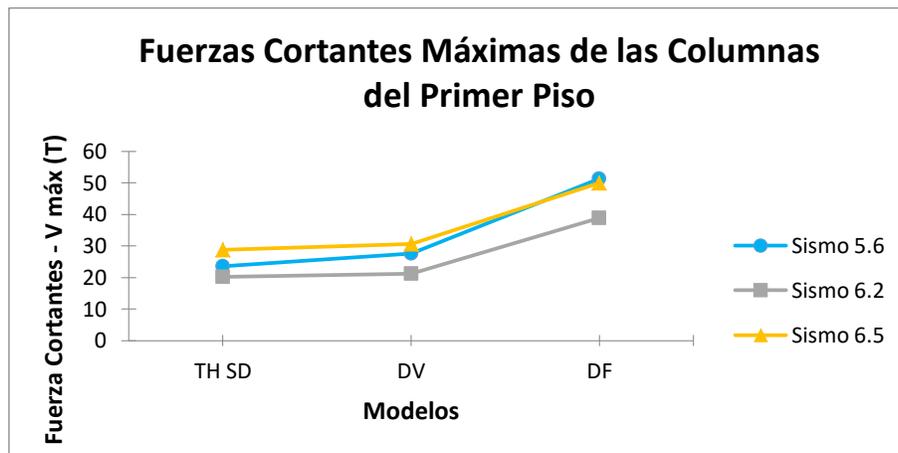


En la figura se muestra el análisis de fuerzas cortantes de vigas para cada caso de sismo. Las fuerzas cortantes disminuyen con ambos disipadores para el sismo 5.6. Con el sismo 6.5 estas fuerzas se incrementan con ambos disipadores. Para el sismo 6.2, las fuerzas cortantes se reducen con los disipadores viscoelásticos, pero la mayor reducción se da con los friccionantes.

- **Fuerzas axiales y cortantes de columnas del primer piso**

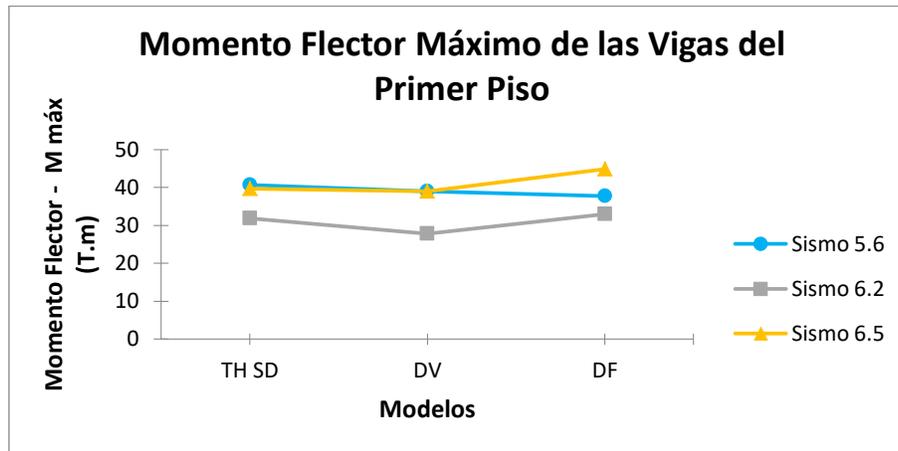


En la gráfica podemos observar las fuerzas axiales de las columnas del primer piso para cada caso de sismo. La disminución de estas fuerzas se logra con los disipadores viscoelásticos e incrementan con los fricciantes. Para el sismo 6.2 los disipadores fricciantes presentan una leve reducción en las fuerzas.

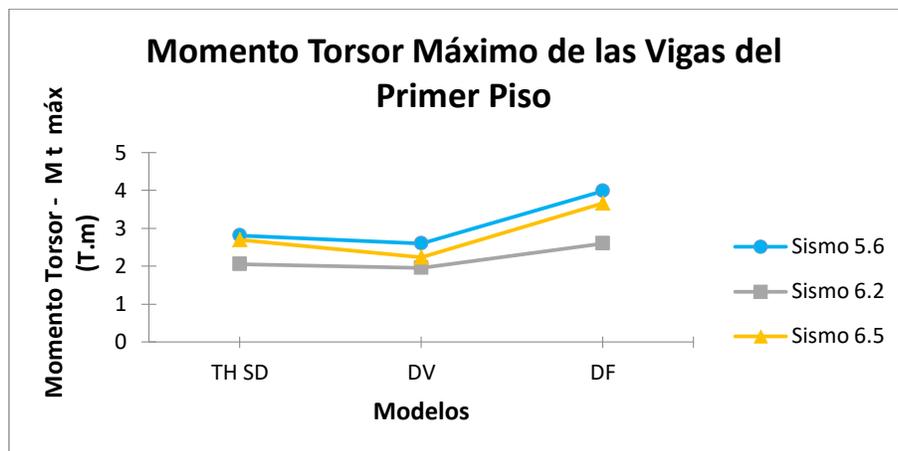


En la figura se muestran las fuerzas cortantes de las columnas para cada caso de sismo. Para el sismo 5.6, las fuerzas incrementan con ambos disipadores pero el máximo aumento es con los fricciantes. En el caso de os sismo 6.2 y 6.5, el aumento es mínimo con los viscoelásticos y con los fricciantes es casi del 50%.

- **Momento flector y torsor de las vigas del primer piso**

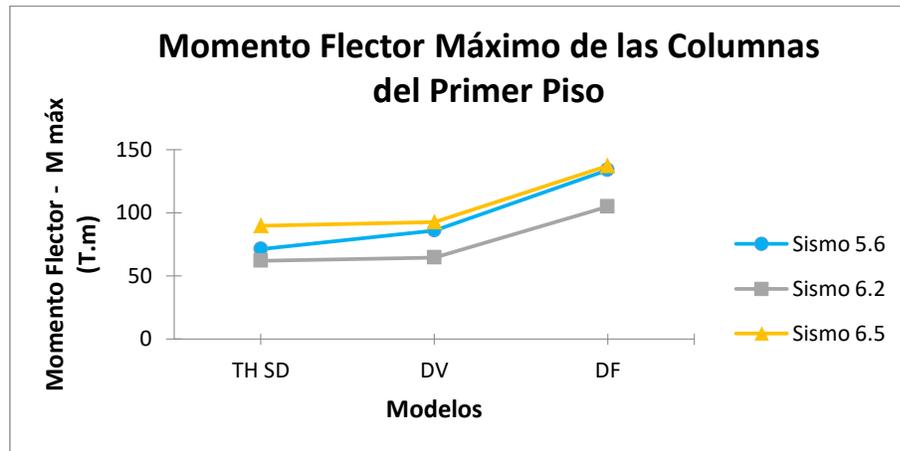


En la ilustración se observan los momentos flectores máximos de las vigas para cada caso de sismo. Para el sismo 5.6 los momentos se reducen con ambos disipadores, la disminución más notoria se da con los friccionantes. Para el sismo 6.2, los amortiguadores friccionantes no aumentan ni disminuyen la magnitud de los momentos flectores, en cambio los viscoelásticos los reducen. Con el sismo 6.5 los momentos se observa una leve disminución con los viscoelásticos y un aumento considerable con los disipadores friccionantes.

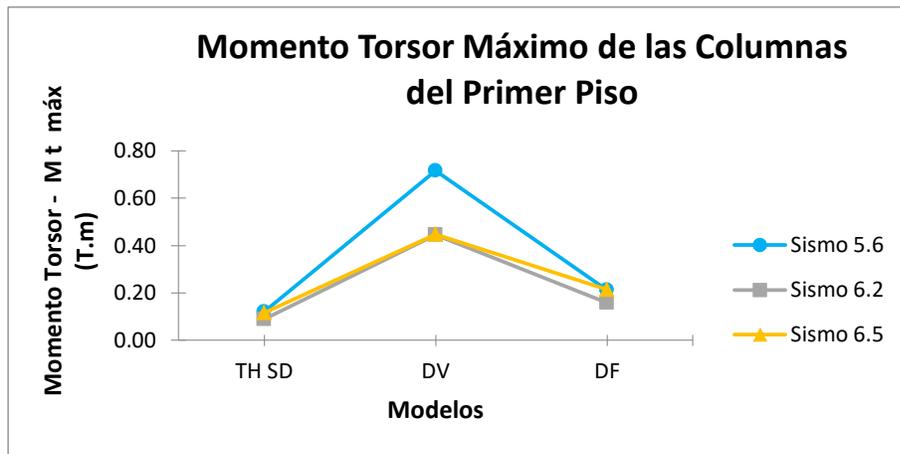


En la figura se presentan los momentos torsores de las vigas para cada sismo. Para el sismo 5.6 los momentos presentan una leve reducción con los amortiguadores viscoelásticos y aumentan con los friccionantes. Para el sismo 6.2 y 6.5, los disipadores friccionantes incrementan considerablemente los momentos torsores casi hasta un 20%.

- **Momento flector y torsor de las columnas del primer piso**

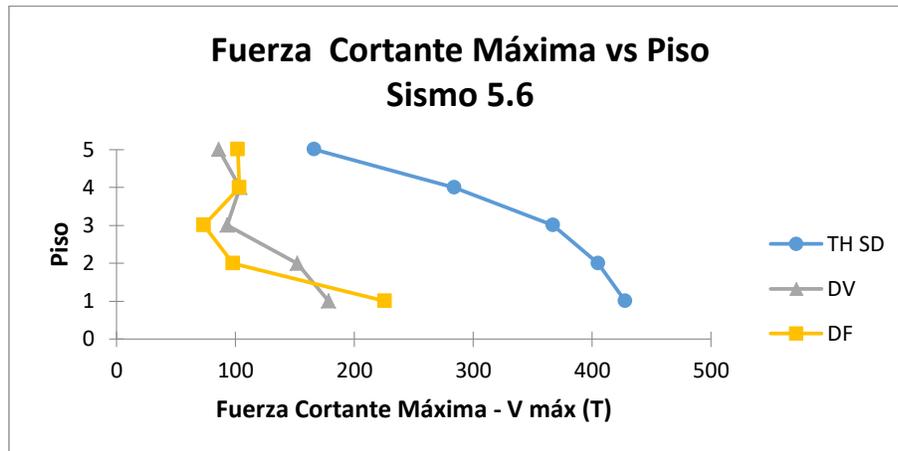


En la gráfica podemos observar el momento flector máximo de las columnas para cada sismo. Para el sismo 5.6 los momentos flectores presentan un incremento con ambos disipadores, el mayor aumento se da con los friccionantes. Con el sismo 6.2 y 6.5, los momentos tienen un leve incremento con los viscoelásticos y con los friccionantes el aumento es bastante considerable.

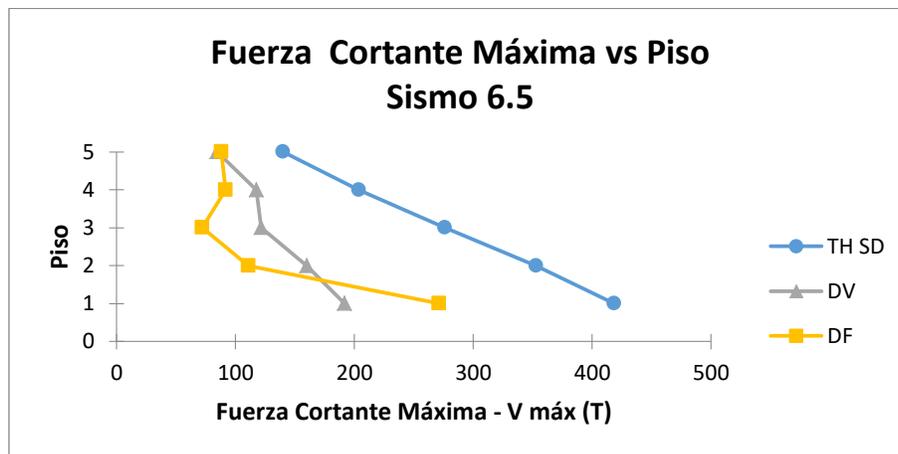


En la ilustración se muestran los momentos torsores máximos de columnas para cada sismo. Para cada sismo se presenta un leve incremento con los amortiguadores friccionantes, el mayor incremento de los momentos se da con los viscoelásticos, principalmente con la magnitud del sismo 5.6.

- Fuerza cortante máxima por piso

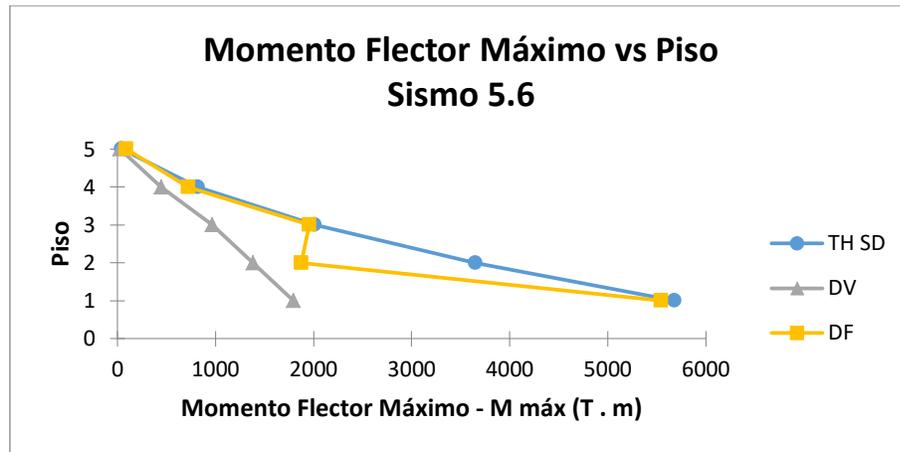


En la figura se muestran las fuerzas cortantes por piso para el sismo 5.6. Estas fuerzas se reducen con ambos disipadores, la mayor reducción se logra con los friccionantes en comparación de los viscoelásticos a excepción del segundo piso.

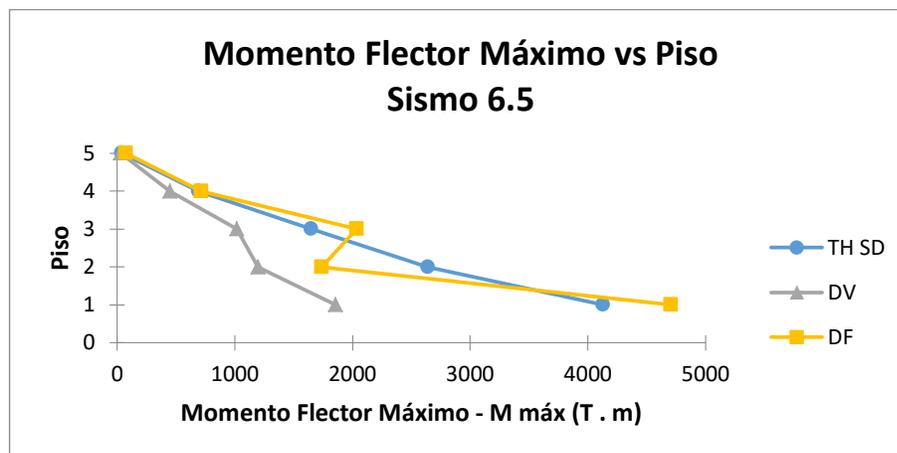


En la gráfica observamos las fuerzas cortantes máximas de cada piso para el sismo 6.5. Las fuerzas disminuyen con ambos amortiguadores, la mayor reducción se da con los friccionantes, a excepción del segundo piso en comparación con los viscoelásticos.

- **Momento flector máximo por piso**

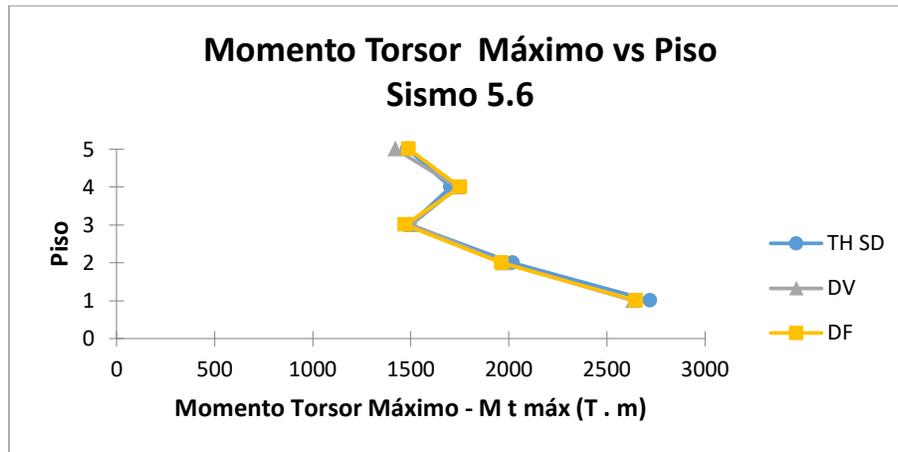


En la figura podemos se presenta el momento flector máximo para cada piso del sismo 5.6. El momento flector se reduce con los amortiguadores viscoelásticos en todos los pisos. Con los friccionantes la disminución solo se aprecia en el tercer piso de la estructura.

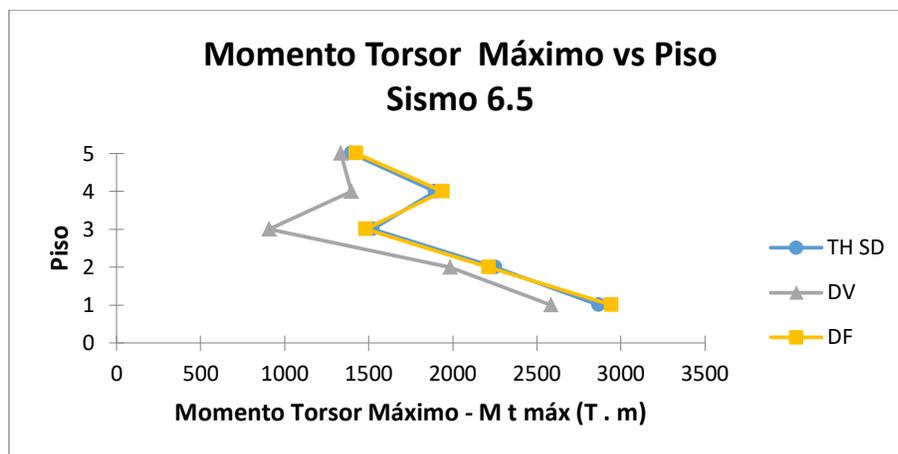


En la ilustración vemos los momentos flectores para cada piso con el sismo 6.5. Los momentos se reducen con los disipadores viscoelásticos en todos los pisos, a excepción de los friccionantes donde la disminución se da en el tercer piso.

- **Momento torsor máximo por piso**



En la gráfica se muestra el momento torsor máximo para el sismo 5.6. Estos momentos presenta una leve reducción con ambos disipadores en comparación a la estructura sin disipadores.



En la figura podemos observar el momento torsor máximo para cada piso del sismo 6.5. Los momentos disminuyen con los amortiguadores viscoelásticos, la reducción más notoria se da en el cuarto piso. Los disipadores friccionantes presentan un pequeño aumento en comparación a la estructura sin disipadores.

ANEXO C:

DESPLAZAMIENTOS LATERALES Y COLINDANCIAS SISMO 5.6 Y 6.2

- **Revisión de Desplazamientos Laterales.**
- **Revisión de Colindancia.**

ANEXO C: DESPLAZAMIENTOS LATERALES Y COLINDANCIAS SISMO 5.6 Y 6.2.

C.1 Revisión de desplazamientos laterales.

C.1.1 Ala Norte y Sur

Revisión de Estado Límite de Servicio y Colapso - Ala Norte y Sur (Sismo 5.6)												
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento (cm)		ΔH	0.002 ΔH	Δx	Δy	Estado Límite de Servicio ($\Delta \leq 0.002 \Delta H$)		Estado Límite de Colapso ($\Delta / \Delta h \leq 0.015$)	
			Xmax	Ymax					X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia sin Disipadores.	TECHO	5.193	5.494	442	0.884	0.978	1.074	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		5	4.215	4.42	442	0.884	1.224	1.37	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		4	2.991	3.05	442	0.884	1.229	1.319	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.762	1.731	442	0.884	1.063	1.046	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.699	0.685	405	0.81	0.699	0.685	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	TECHO	5.726	5.397	442	0.884	0.492	0.302	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	5.234	5.095	442	0.884	1.015	0.851	No Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	4.219	4.244	442	0.884	1.472	1.41	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		3	2.747	2.834	442	0.884	1.467	1.549	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		2	1.28	1.285	405	0.81	1.28	1.285	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	1.988	2.235	442	0.884	0.216	0.373	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	1.772	1.862	442	0.884	0.219	0.369	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.554	1.493	442	0.884	0.152	0.241	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.402	1.252	442	0.884	0.138	0.239	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	1.264	1.013	405	0.81	1.264	1.013	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa

Revisión de Estado Límite de Servicio y Colapso - Ala Norte y Sur (Sismo 6.5)												
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento (cm)		ΔH	0.002 ΔH	Δx	Δy	Estado Límite de Servicio ($\Delta \leq 0.002 \Delta H$)		Estado Límite de Colapso ($\Delta / \Delta h \leq 0.015$)	
			Xmax	Ymax					X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia sin Disipadores.	TECHO	2.651	2.743	442	0.884	0.579	0.615	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.072	2.128	442	0.884	0.708	0.753	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.364	1.375	442	0.884	0.632	0.664	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	0.732	0.711	442	0.884	0.41	0.403	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.322	0.308	405	0.81	0.322	0.308	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	TECHO	4.737	3.83	442	0.884	0.101	0.126	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	4.636	3.704	442	0.884	0.565	0.497	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	4.071	3.207	442	0.884	1.307	0.874	No Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	2.764	2.333	442	0.884	1.435	1.22	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		2	1.329	1.113	405	0.81	1.329	1.113	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	1.342	1.794	442	0.884	0.175	0.338	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	1.167	1.457	442	0.884	0.183	0.348	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	0.985	1.109	442	0.884	0.13	0.244	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	0.855	0.865	442	0.884	0.108	0.197	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.746	0.668	405	0.81	0.746	0.668	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa

C.1.2 Escalera Central

Revisión de Estado Límite de Servicio y Colapso – Escalera Central (Sismo 5.6)												
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento (cm)		ΔH	0.002 ΔH	Δx	Δy	Estado Límite de Servicio ($\Delta \leq 0.002 \Delta H$)		Estado Límite de Colapso ($\Delta / \Delta h \leq 0.015$)	
			Xmax	Ymax					X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia sin Disipadores.	TECHO	4.186	4.188	470	0.94	0.677	0.68	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	3.509	3.508	442	0.884	0.888	0.889	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		4	2.621	2.619	442	0.884	1.055	1.056	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.566	1.563	442	0.884	0.967	0.965	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.599	0.598	405	0.81	0.599	0.598	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	TECHO	3.454	3.451	470	0.94	0.585	0.586	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.869	2.865	442	0.884	0.661	0.66	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	2.208	2.205	442	0.884	0.803	0.804	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.405	1.401	442	0.884	0.853	0.849	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.552	0.552	405	0.81	0.552	0.552	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	2.598	2.599	470	0.94	0.381	0.384	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.217	2.215	442	0.884	0.484	0.484	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.733	1.731	442	0.884	0.271	0.27	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.462	1.461	442	0.884	0.61	0.612	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.852	0.849	405	0.81	0.852	0.849	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa

Revisión de Estado Límite de Servicio y Colapso – Escalera Central (Sismo 6.5)												
N°	Estructura	Piso	Desplazamiento (cm)		ΔH	0.002 ΔH	Δx	Δy	Estado Límite de Servicio ($\Delta \leq 0.002 \Delta H$)		Estado Límite de Colapso ($\Delta / \Delta h \leq 0.015$)	
			Xmax	Ymax					X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia Sin Disipadores.	TECHO	2.849	2.845	470	0.94	0.666	0.665	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.183	2.18	442	0.884	0.223	0.223	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.96	1.957	442	0.884	0.568	0.567	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.392	1.39	442	0.884	0.807	0.805	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.585	0.585	405	0.81	0.322	0.308	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	TECHO	3.002	2.059	470	0.94	0.594	0.361	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.408	1.698	442	0.884	0.456	0.162	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	1.952	1.536	442	0.884	0.658	0.306	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.294	1.23	442	0.884	0.795	0.676	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.499	0.554	405	0.81	0.499	0.554	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	2.773	2.772	470	0.94	0.139	0.14	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		5	2.634	2.632	442	0.884	0.317	0.316	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		4	2.317	2.316	442	0.884	0.595	0.595	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		3	1.722	1.721	442	0.884	0.874	0.875	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
		2	0.848	0.846	405	0.81	0.848	0.846	No Pasa	No Pasa	Pasa	Pasa

C.2 Revisión de Colindancia

Colindancia y separación permisible - Sismo 5.6										
N°	Estructura	Piso	Dimensión de Juntas				Separación			
			Ala norte y Sur		Escalera		Separación Máxima		Separación Permisible	
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia sin Disipadores	TECHO	11.71	12.01	10.79	10.79	22.50	22.80	11.25	11.40
		5	9.41	9.61	8.70	8.70	18.11	18.31	9.06	9.16
		4	6.86	6.92	6.49	6.49	13.35	13.40	6.67	6.70
		3	4.30	4.27	4.11	4.10	8.41	8.38	4.21	4.19
		2	1.91	1.90	1.81	1.81	3.73	3.71	1.86	1.86
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	TECHO	12.25	11.92	10.06	10.05	22.30	21.97	11.15	10.99
		5	10.43	10.29	8.06	8.06	18.49	18.35	9.24	9.17
		4	8.09	8.11	6.08	6.07	14.16	14.18	7.08	7.09
		3	5.29	5.38	3.95	3.94	9.23	9.32	4.62	4.66
		2	2.50	2.50	1.77	1.77	4.26	4.27	2.13	2.13
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	8.51	8.75	9.20	9.20	17.71	17.96	8.85	8.98
		5	6.97	7.06	7.41	7.41	14.38	14.46	7.19	7.23
		4	5.42	5.36	5.60	5.60	11.02	10.96	5.51	5.48
		3	3.94	3.79	4.00	4.00	7.95	7.79	3.97	3.90
		2	2.48	2.23	2.07	2.06	4.55	4.29	2.27	2.15

Colindancia y separación permisible - Sismo 6.5										
N°	Estructura	Piso	Dimensión de Juntas				Separación			
			Ala norte y Sur		Escalera		Separación Máxima		Separación Permisible	
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	Análisis No Lineal Tiempo Historia Sin Disipadores	TECHO	9.17	9.26	9.45	9.45	18.62	18.71	9.31	9.36
		5	7.27	7.32	7.38	7.37	14.64	14.69	7.32	7.35
		4	5.23	5.24	5.83	5.82	11.06	11.07	5.53	5.53
		3	3.27	3.25	3.93	3.93	7.21	7.18	3.60	3.59
		2	1.54	1.52	1.80	1.80	3.34	3.32	1.67	1.66
2	Análisis No lineal TH con Disipadores Viscoelásticos	TECHO	11.26	10.35	9.61	8.66	20.86	19.01	10.43	9.51
		5	9.83	8.90	7.60	6.89	17.43	15.79	8.72	7.89
		4	7.94	7.07	5.82	5.40	13.76	12.48	6.88	6.24
		3	5.31	4.87	3.84	3.77	9.14	8.65	4.57	4.32
		2	2.54	2.33	1.71	1.77	4.26	4.10	2.13	2.05
3	Análisis No lineal TH con Disipadores Friccionantes	TECHO	7.86	8.31	9.38	9.38	17.24	17.69	8.62	8.84
		5	6.36	6.65	7.83	7.83	14.19	14.47	7.09	7.24
		4	4.85	4.98	6.18	6.18	11.04	11.16	5.52	5.58
		3	3.40	3.41	4.26	4.26	7.66	7.67	3.83	3.83
		2	1.96	1.88	2.06	2.06	4.02	3.94	2.01	1.97

ANEXO D:

PLANOS

- **Planta estructural de entrepisos típica 2° y 3°.**
- **Planta estructural de entrepisos típica 4° y 5°.**
- **Planta estructural de Techos.**
- **Elevaciones de Arriostres.**
- **Estructura de techos escalera central y detalles de entrepisos y techo de escalera central**
- **Distribución de carga viva y carga muerta**