



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DIVISIÓN DE POSGRADO DE INGENIERIA CIVIL

MAESTRIA EN INGENIERIA EN EL ÁREA DE ESTRUCTURAS

*“CONTROL DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE UN EDIFICIO MEDIANTE
AMORTIGUADORES VISCOSOS”*

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

PRESENTA:

ING. FRANCISCO JOSÉ LUNA RODRÍGUEZ

ASESOR:

DR. JOSÉ DE JESÚS ALVAREZ SERENO

MORELIA, MICHOACAN, ENERO 2009

RESUMÉN

Esta tesis presenta los resultados de un estudio analítico, el cual tiene como objetivo principal estudiar la reducción de la respuesta sísmica de un edificio de diez niveles ubicado en la zona del lago de Texcoco en la ciudad de México, y como parte de ello, la reducción de las fuerzas en la cimentación y la semejanza en reducción de desplazamientos, comparando un sistema con amortiguadores viscosos contra un sistema de contraventeo convencional y un sistema sin disipadores de energía.

ABSTRACT

This thesis presents the results of an analytical study, which aims mainly to study the reduction of seismic response of a building of ten levels located in the area of Lago de Texcoco in Mexico City, as part of this, reduction of forces in the foundation and the similarity in reducing displacements, comparing a system with viscous dampers against a conventional braces system and a system without dissipating energy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios me haya brindado tiempo para terminar este trabajo y me haya dado confianza para seguir adelante.

Antes que nada quiero agradecer a mi familia, gran soporte en mi vida apoyándome siempre para que alcance mis metas y sueños. Entre ellos a mi madre y hermanos que siempre me han animado a ser mejor profesionista y persona. A mi esposa que me impulso a tomar la decisión de estudiar la maestría.

En segundo pero no menos importante a todos mis profesores que tomaron su tiempo para transmitir sus conocimientos. Agradezco especialmente al Dr. José de Jesús Álvarez Sereno quien me brindo su cooperación para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis a mi esposa, mi hija y mis hermanos que sigan adelante en todo lo que se propongan sin importar las dificultades que se presenten y nunca se desanimen.

ÍNDICE TEMÁTICO

Resumen.....	i
Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice Temático.....	iv
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tablas.....	xiii
Tema	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos y Alcance	1
1.3. Organización de la Tesis	2
2. SISTEMAS DE CONTROL PASIVO	3
2.1. Disipadores de Energía	3
2.2. Amortiguadores Viscosos	8
3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO	11
3.1. Descripción del edificio	11
3.2. Modelo analítico	11
3.3. Registros en suelo blando	15
4. RESPUESTA DEL MODELO SIN DISIPADORES	16
4.1. Respuesta ante carga vertical	16
4.2. Propiedades dinámicas	17
4.3. Respuesta sísmica	19
4.4. Configuración de contravientos tradicionales	23
4.5. Respuesta del modelo con contravientos comunes	26
5. RESPUESTA DEL MODELO CON AMORTIGUADORES VISCOSOS	32
5.1. Configuración estructural (ubicación de amortiguadores).....	32
5.2. Propiedades de los amortiguadores	35

5.3. Modelación de amortiguadores utilizando SAP10.0	36
5.4. Respuesta sísmica	38
6. COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA	81
6.1. Periodos y Frecuencias	81
6.2. Fuerzas en los amortiguadores	82
6.3. Reacciones en el apoyo	85
6.4. Desplazamientos máximos	88
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
7.1. Conclusiones	90
7.2. Recomendaciones	91
APÉNDICE A.	92
REFERENCIAS	

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Disipador ADAS a la izquierda y ejemplo de aplicación a la derecha	3
Figura 2.2.-Disipador TADAS	4
Figura 2.3.-Disipador Honey Comb	4
Figura 2.4.-A la izquierda amortiguadores restringidos contra pandeo y a la derecha colocación en un edificio del contraviento	4
Figura 2.5.-Comportamiento histerético de contravientos, a) Restringido contra Pandeo (Black et al 2002) b) Tradicional (Bruneau et al 1998)	5
Figura 2.6.- Componentes Típicos de un Contraviento Restringido Contra Pandeo	5
Figura 2.7.- Zonas del núcleo de un contraviento restringido contra pandeo	6
Figura 2.8.-Conexión SBC	6
Figura 2.9.-Sistema PALL.....	7
Figura 2.10.-Dispositivo EDR (Fluor-Daniel)	7
Figura 2.11.-Esquema típico de un amortiguador viscoso	7
Figura 2.12.-Amortiguador viscoelástico	8
Figura 2.13.-Componentes típicos de un amortiguador viscoso	8
Figura 2.14.-Ciclos histeréticos del comportamiento de tres diferentes amortiguadores sometidos a movimiento armónico	9
Figura 2.15.-Fuerza para diferentes valores de exponente de amortiguamiento con $C_n=1$	9

CAPÍTULO 3

Figura.3.1.- Secciones que componen los marcos principales	11
Figura.3.2.- Isométrico de la Estructura	12
Figura.3.3.- Estructuración de los marcos en plano XZ	12
Figura.3.4.- Estructuración de los marcos en plano YZ	12
Figura 3.5.- Dirección de columnas dentro de los marcos	13
Figura 3.6.- Elementos considerados para losa de azotea	13
Figura 3.7.- Elementos considerados para losa de entrepiso	14

CAPÍTULO 4

Figura 4.1.- Cargas muertas y vivas máximas aplicadas al modelo	16
---	----

Figura 4.2.- Determinación de marco crítico bajo cargas gravitacionales	17
Figura 4.3.- Primer y segundo modo de vibrar de la estructura	18
Figura 4.4.- Tercer y cuarto modo de vibrar de la estructura	18
Figura 4.5.- Espectro de Respuesta Terreno Tipo III Zona A ($c=0.4$, $a_0=0.10$, $T_a=0.53$, $T_b=1.8$)	19
Figura 4.6.- Determinación de marco crítico bajo cargas gravitacionales más sísmicas (Debidas al espectro de respuesta terreno Tipo II Zona A)	20
Figura 4.7.- Respuesta ante los acelerogramas del edificio sin contravientos	22
Figura 4.8.- Vista en planta primer nivel de la estructura con posición de marcos tipos con contravientos	23
Figura 4.9.- Marcos con contravientos 1	24
Figura 4.10.- Marcos con contravientos 2	25
Figura 4.11.- Marco Tridimensional contraventeado	25
Figura 4.12.- Secciones de los contravientos	26
Figura 4.13.- Primer y segundo modo de vibrar de la estructura	27
Figura 4.14.- Tercer y cuarto modo de vibrar de la estructura	27
Figura 4.15.- Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio contraventeado	29
Figura 4.16.- Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio contraventeado	29
Figura 4.17.- Fuerzas verticales máximas en dirección Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio contraventeado	30
Figura 4.18.- Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio contraventeado	30
Figura 4.19.- Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio contraventeado	31
Figura 4.20.- Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio contraventeado	31
Figura 4.21.- respuesta ante los acelerogramas del edificio con contravientos comunes	32

CAPÍTULO 5

Figura 5.1.- Vista en planta primer nivel de la estructura con posición de marcos tipos con amortiguadores	33
Figura 5.2.- Configuraciones de marcos con amortiguadores. A la derecha marco correspondiente a elipse azul y a la izquierda marco en color negro en Figura 5.1	34
Figura 5.3.- Configuración de marco con amortiguadores. Marco correspondiente a elipse roja en Figura 5.1. A la derecha marco con nombres de las secciones y a la izquierda marco con una vista más clara de los elementos	35
Figura 5.4.- Configuración del modelo de amortiguador: a la derecha caso lineal y a la izquierda caso no lineal	36

Figura 5.5.- Propiedades pedidas por el SAP para modelación de un amortiguador	37
Figura 5.6.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador1.0).	38
Figura 5.7 Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores1.0	39
Figura5.8.- Selección de Amortiguador con la carga axial mayor	40
Figura 5.9.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.0).	40
Figura 5.10.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.0).	41
Figura 5.11.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.0).	41
Figura 5.12.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.	43
Figura 5.13.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.	43
Figura 5.14.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.	44
Figura 5.15.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0	44
Figura 5.16.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0	45
Figura 5.17.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.	45
Figura 5.18.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador1.5).	46
Figura 5.19.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.5).	47
Figura 5.20.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.5).	47
Figura 5.21.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.5).	47
Figura 5.22 Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores1.5	48
Figura 5.23.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5	50
Figura 5.24.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.	50
Figura 5.25.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5	51

Figura 5.26.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.	51
Figura 5.27.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.	52
Figura 5.28.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.....	52
Figura 5.29.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador1.1).	53
Figura 5.30.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.1)	54
Figura 5.31.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.1)	54
Figura 5.32.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.1)	54
Figura 5.33.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores1.1	55
Figura 5.34.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1.	57
Figura 5.34.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1.	57
Figura 5.36.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1	58
Figura 5.37.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1.	58
Figura 5.38.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1	59
Figura 5.39.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1.	59
Figura 5.40.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador5.0)	60
Figura 5.41.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.0)	61
Figura 5.42.-A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.0)	61
Figura 5.43.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.0)	61
Figura 5.44.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores5.0.....	62
Figura 5.45.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.	64

Figura 5.46.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.	64
Figura 5.47.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.	65
Figura 5.47.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.	65
Figura 5.49.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.	66
Figura 5.50.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.	66
Figura 5.51.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador5.5)	67
Figura 5.52.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.5)	68
Figura 5.53.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.5)	68
Figura 5.54.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.5)	68
Figura 5.55.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores5.5	69
Figura 5.56.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5	71
Figura 5.57.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5	71
Figura 5.58.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5	72
Figura 5.59.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5	72
Figura 5.60.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5	73
Figura 5.61.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5.	73
Figura 5.62.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador5.1)	74
Figura 5.63.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.1)	75
Figura 5.64.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.1)	75
Figura 5.65.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.1)	75

Figura 5.66.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores5.1	76
Figura 5.67.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.	78
Figura 5.68.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.	78
Figura 5.69.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1	79
Figura 5.70.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1	79
Figura 5.71.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.....	80
Figura 5.72.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.	80

CAPÍTULO 6

Figura 6.1.- A la derecha curva Tiempo contra Fuerza bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (contraviento A)	83
Figura 6 .2.- A la derecha curva Tiempo contra Fuerza bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (contraviento A)	83
Figura 6.3.- A la derecha curva Tiempo contra Fuerza bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (contraviento A)	83
Figura 6.4.- Grafica de fuerzas máximas en el nudo 373 tomado como base	86
Figura 6.5.- Grafica de momentos máximos en el nudo 373 tomado como base	86
Figura 6.6.- Grafica de fuerzas mínimas en el nudo 373 tomado como base	87
Figura 6.7.- Grafica de momentos mínimos en el nudo 373 tomado como base.....	87
Figura 6.8.- Desplazamientos promedio máximos del edificio para los diferentes casos de análisis.....	89
Figura 6.9- Desplazamientos promedio máximos normalizados del edificio para los diferentes casos de análisis	89

ANEXO A

Figura A.1.- Acelerogramas Originales Para Alameda, C.U. Juarez	92
Figura A.2.- Acelerogramas CUPJ, Xochipilli y Tlatelolco	92
Figura A.3.- Acelerogramas V. Gomez, P. Elias Calles y Villa del Mar.....	93
Figura A.4.- Acelerogramas Jamaica, UCIMSS y Balderas	93
Figura A.5.- Acelerogramas Rodolfo M., S.Simon y Tlatelolco	94

Figura A.6.- Acelerogramas Cordoba, Liverpool y Candelaria	94
Figura A.7.- Acelerogramas Garibaldi y Roma	95
Figura A.8.- Acelerogramas Roma C y SCT	95
Figura A.9.- Acelerogramas Escalados Para Alameda, C.U. Juarez	96
Figura A.10.- Acelerogramas Escalados CUPJ, Xochipilli y Tlatelolco	96
Figura A.11.- Acelerogramas Escalados V. Gomez, P. Elias Calles y V. Mar	97
Figura A.12.- Acelerogramas Escalados Jamaica, U.C. IMSS y Balderas	97
Figura A.13.- Acelerogramas Escalados Rodolfo M., S. Simon y Tlatelolco	98
Figura A.14.- Acelerogramas Escalados Cordoba, Liverpool y Candelaria	98
Figura A.15.- Acelerogramas Escalados Garibaldi y Roma	99
Figura A.16.-Acelerogramas Escalados Roma y SCT	99

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1.-Cargas sobre losa de azotea Nivel 10	13
Tabla 3.2.- Cargas sobre losa de entrepiso Niveles 1-9	14
Tabla 3.3.-.Sismos Registrados en la Ciudad de México Usados en este Estudio.	15

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1.- Tabla de frecuencias y periodos de la estructura	17
Tabla 4.2.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio sin Contravientos)	21
Tabla 4.3.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio sin Contravientos)	21
Tabla 4.4.- Tabla de frecuencias y periodos de la estructura con contravientos	26
Tabla 4.5.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Contravientos).....	28
Tabla 4.6.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Contravientos).....	28

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1.- Propiedades de los Amortiguadores	35
Tabla 5.2.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=1MN/(m/s)$, $n=1.0$..	38
Tabla 5.3.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.0) ..	42
Tabla 5.4.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.0) ..	42
Tabla 5.5.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=1MN/(m/s)$, $n=0.5$..	46
Tabla 5.6.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.5) ..	49
Tabla 5.7.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.5) ..	49
Tabla 5.8.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=1MN/(m/s)$, $n=0.1$..	53
Tabla 5.9.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.1) ..	56
Tabla 5.10.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.1) ..	56
Tabla 5.11.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=5MN/(m/s)$, $n=1.0$..	60
Tabla 5.12.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores5.0) ..	63
Tabla 5.13.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores5.0) ..	63
Tabla 5.14.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=5MN/(m/s)$, $n=0.5$..	67
Tabla 5.15.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 5.5)..	70

Tabla 5.16.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 5.5)	..70
Tabla 5.17.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=5MN/(m/s)$, $n=0.1$..74
Tabla 5.18.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 5.1)	..77
Tabla 5.19.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 5.1)	..77

CAPÍTULO 6

Tabla 6.1.- Relación de tablas de periodos y frecuencias para los diferentes casos82
Tabla 6.2.- Fuerzas máximas en Amortiguadores resultantes de los ciclos de histeréticos usados para verificar comportamiento84
Tabla 6.3.- Fuerzas máximas en Amortiguadores resultantes normalizadas respecto a los casos lineales	..84
Tabla 6.4.- Fuerzas máximas en Amortiguadores resultantes normalizadas respecto Amortiguador 1.0, 1.5 y 1.185
Tabla 6.5.-Reacciones máximas promedio en apoyo 37385
Tabla 6.6.-Reacciones mínimas promedio en apoyo 37385
Tabla 6.7.-Porcentajes de reducción de reacciones máximas promedio en apoyo 37388
Tabla 6.8.-Porcentajes de reducción de reacciones mínimas promedio en apoyo 37388

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

Uno de los sistemas utilizados para reducir los daños sísmicos en edificios es el de contravientos convencionales los cuales como ya es conocido producen fuerzas grandes en la cimentación, menores a las del marco sin contravientos pero aun así fuerzas considerables lo que provoca cimentaciones costosas.

En el presente trabajo se demostrará de forma analítica que al usar amortiguadores las fuerzas transmitidas a la cimentación pueden ser reducidas en gran medida, lo que genera un ahorro en el costo de la cimentación. Además de que la reparación de edificios con amortiguadores ante sismos de gran magnitud es más rápida, debido a que solo es necesario cambiar los amortiguadores que funcionan como fusibles.

El análisis será realizado con un modelo en SAP2000 v10.0. El programa SAP2000 fue seleccionado por ser un programa comercial fácil de utilizar y por contar con las herramientas necesarias para realizar este estudio.

1.2. Objetivos y Alcances

El trabajo aquí presentado tiene como objetivo principal estudiar la reducción de la respuesta sísmica, y como parte de ello, la reducción de las fuerzas en la cimentación y la semejanza en reducción de desplazamientos, comparando contra un sistema de contraventeo convencional.

- En el presente trabajo se realizarán las siguientes acciones:
- ✓ Descripción del modelo de Edificio a ser utilizado.
 - ✓ Selección de sismos bajo los cuales será analizado el edificio.
 - ✓ Analizar modelo de Edificio de diez niveles sin ningún sistema de disipación de energía.
 - ✓ Seleccionar elementos críticos para marco sismo resistente.
 - ✓ Descripción de configuración de contravientos
 - ✓ Análisis de edificio con contravientos.
 - ✓ Descripción de configuración de edificio con amortiguadores.
 - ✓ Análisis de edificio con amortiguadores.
 - ✓ Recopilación de resultados.
 - ✓ Conclusiones.

1.3. Organización de la Tesis

En esta tesis se realizó un estudio analítico de un edificio de diez niveles con la finalidad de comparar la respuesta del edificio para las tres opciones siguientes: Edificio sin sistema de disipación de energía, Edificio con Contravientos y Edificio con Amortiguadores Viscosos. Se decidió ordenar los capítulos de la siguiente manera para tener un mejor entendimiento del problema a analizar.

En el **Capítulo 2.-** se mencionan algunos de los dispositivos de disipación de energía de tipo pasivo utilizados actualmente. Se profundiza además un poco el comportamiento de los amortiguadores viscosos utilizados más adelante.

En el **Capítulo 3.-** en este capítulo se describe el edificio brevemente, así como también los datos sobre el modelo analítico utilizado y los acelerogramas a ser usados para este estudio.

En el **Capítulo 4.-** se muestra el análisis del edificio para las dos primeras condiciones de interés, como son el edificio sin dispositivos de disipación y del edificio con contravientos convencionales. También se presentan los resultados obtenidos mediante graficas y figuras.

En el **Capítulo 5.-** se presenta la modelación del edificio con amortiguadores, su configuración y los resultados mediante graficas y tablas del Edificio con este sistema de disipación de energía.

En el **Capítulo 6.-** se hace un resumen de los resultados obtenidos en los capítulos 4 y 5.

En el **Capítulo 7.-** se incluyen las conclusiones a las que se llegó después de realizar la comparación de resultados.

2. SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

2.1. Disipadores de Energía

Los disipadores de energía son dispositivos colocados en las estructuras para disminuir la respuesta y daño de éstas ante cargas accidentales (viento, sismo, oleaje, entre otros). Lo anterior se logra aumentando la rigidez, el amortiguamiento o capacidad de disipar energía mediante elementos adicionales a la estructura principal.

Los sistemas o grupos en que se pueden dividir son: sistemas pasivos, semi-activos y activos.

Los sistemas pasivos son aquellos en los que a partir de un espectro de diseño se diseñan los dispositivos de refuerzo para reducir la respuesta de la estructura a cierto límite, en el caso de que las acciones aplicadas sean mayores a las del espectro de diseño se producirán efectos no contemplados en el diseño. En este tipo de sistemas no se puede garantizar que la estructura quedará en su estado original, ya que por lo general se producen desplazamientos residuales.

En el caso de los sistemas activos, mediante el uso de un sistema de cómputo asociado a una serie de dispositivos se puede controlar la respuesta (por ejemplo. puede variar la rigidez de los elementos) dependiendo de la acción que se aplique a la estructura. Con lo anterior se logra reducir desplazamientos y daños al mínimo. La gran desventaja de estos sistemas es el alto costo.

Los sistemas semi-activos son un punto intermedio entre los pasivos y los activos, dado que en este caso se tiene el control de algunos elementos de manera manual.

A continuación se muestran algunos de los dispositivos pasivos usados actualmente así como la forma en que trabajan:

-DISIPADORES METÁLICOS: este tipo de dispositivos se comportan de manera dúctil y son independientes de la velocidad de deformación.

--Disipador **ADAS:** disipador conectado en la parte superior de contravientos, este dispositivo funciona mediante fluencia del metal base. Al alcanzar cierto nivel de deformación el dispositivo fluye en su parte central disipando energía.



Figura 2.1 Disipador ADAS a la izquierda y ejemplo de aplicación a la derecha

--Disipador **TADAS**: Básicamente este disipador trabaja igual que el ADAS simplemente tiene una forma diferente



Figura 2.2.-Disipador TADAS

--Disipador Honey-Comb: este dispositivo es también similar al ADAS con la diferencia que trabaja en su plano.



Figura 2.3.-Disipador Honey Comb

--Disipador Restringido Contra Pandeo: este dispositivo disipa la energía mediante fluencia del metal.



Figura 2.4.-A la izquierda amortiguadores restringidos contra pandeo y a la derecha colocación en un edificio del contraviento.

Este dispositivo trabaja de forma similar a los contravientos tradicionales con la gran diferencia de su comportamiento a compresión. Los contravientos tradicionales trabajan bien a tensión pero al ser aplicada una carga de compresión más grande que el límite por pandeo tienden a mostrar nula o poca resistencia a compresión y comienza la degradación de la resistencia a tensión. En cambio en el caso de los contravientos restringidos contra pandeo la resistencia a compresión es incluso mayor a la resistencia a la tensión y no pandean. En la **Figura 2.5** aparecen los ciclos histeréticos de los dos sistemas. A la derecha el ciclo histerético de un contraviento tradicional y a la izquierda el de un contraviento restringido contra pandeo.

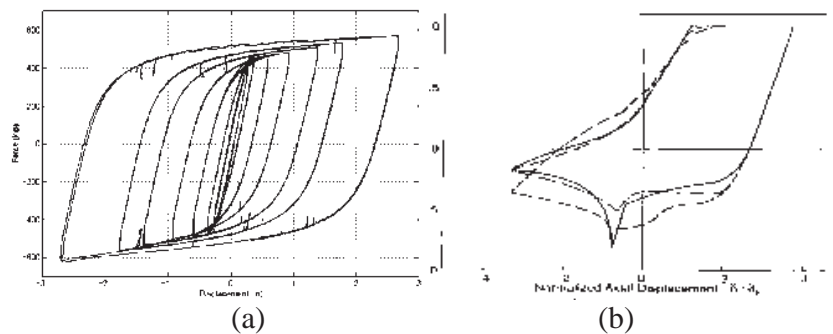


Figura 2.5.-Comportamiento histerético de contravientos, a) Restringido contra Pandeo (Black et al 2002) b) Tradicional (Bruneau et al 1998)

Los contravientos restringidos contra pandeo están formados comúnmente por cuatro elementos (Véase **Figura 2.6**):

1. El núcleo formado por una placa de acero con un límite de fluencia bajo para permitir la disipación de energía por fluencia del metal, esta placa puede ser simple o en forma de cruz.
2. La capa desadherente formada por alguna espuma o plástico cuya finalidad es evitar la transferencia excesiva de esfuerzos entre el metal de fluencia y el material de relleno.
3. La camisa de acero y el relleno de concreto, los cuales tienen la finalidad de confinar el núcleo evitando de esta forma el pandeo.

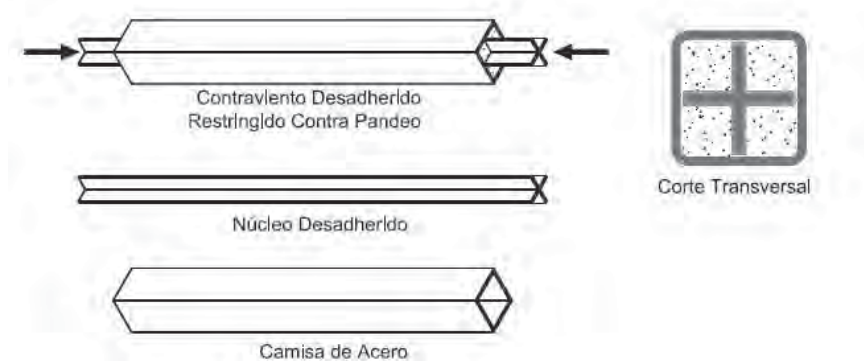


Figura 2.6.- Componentes Típicos de un Contraviento Restringido Contra Pandeo

El núcleo de un contraviento restringido contra pandeo está formado por tres zonas (Véase **Figura 2.7**):

- 1) Zona de Fluencia: zona confinada por la camisa de acero y el concreto en donde se producirá la fluencia del metal.
- 2) Zona de No fluencia soportada: esta zona tiene una sección mayor a la zona fluencia para evitar que fluya además también está confinada por la camisa y el concreto.
- 3) Zona de No fluencia sin soportar: esta zona tiene una sección transversal mucho mayor a la del punto 2), sirve para conectar el núcleo a los elementos del marco. En esta zona el metal no está confinado, es por eso que la sección transversal es mucho mayor para evitar la fluencia.

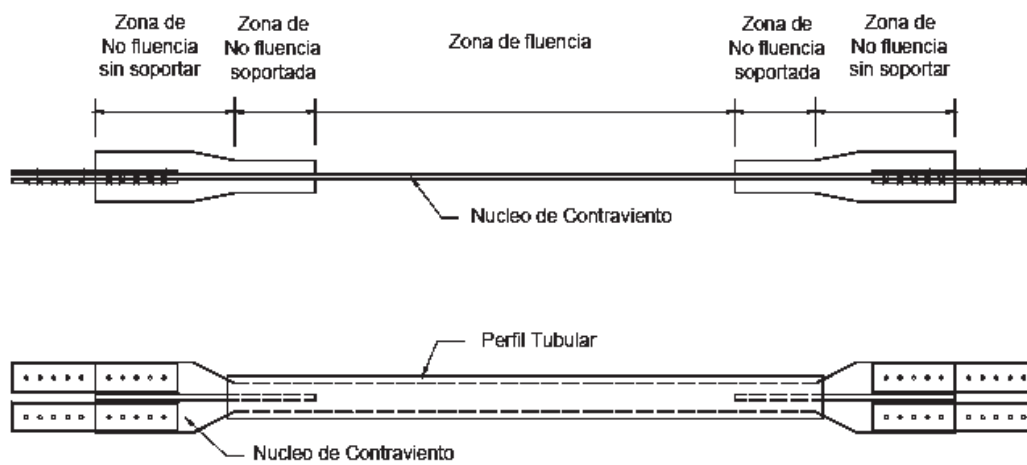


Figura 2.7.- Zonas del núcleo de un contraviento restringido contra pandeo.

-DISIPADORES FRICCIONANTES: Los dispositivos friccionantes como su nombre lo dice utilizan la fricción entre dos elementos, generalmente metálicos, para disipar energía mediante ciclos histeréticos provocados por fricción. Estos dispositivos en ocasiones son simplemente una conexión capaz de disipar energía por fricción.

--Conexión SCB (Slotted Bolted Connection): Esta consiste en una conexión de dos placas de acero conectadas entre sí mediante una placa de otro material y pernos. Al producirse movimiento las placas se friccionan entre ellas disipando de esta forma energía.

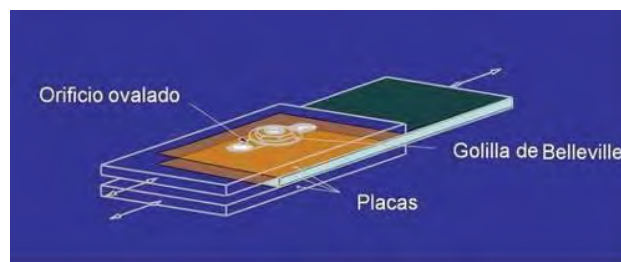


Figura 2.8.-Conexión SBC

-**Sistema PALL**: Utiliza la deformación de entre piso y del elemento central para disipar energía.



Figura 2.9.-Sistema PALL

-**Sistema EDR (Energy Dissipating Restraint)**: Dispositivo que utiliza resortes pretensados y topes para obtener un comportamiento con gran disipación.

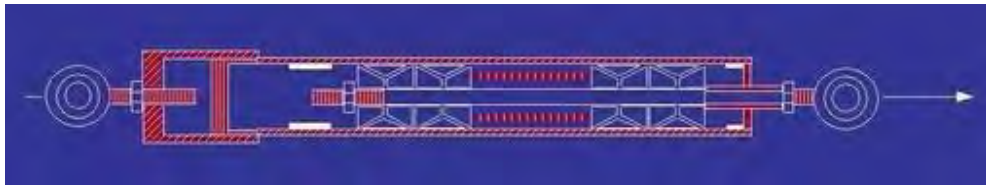


Figura 2.10.-Dispositivo EDR (Fluor-Daniel)

-**DISIPADORES VISCOSES**: Dispositivos metálicos rellenos de un fluido viscoso que disipan energía mediante el movimiento del fluido a través de un orificio (más adelante se hablara más de estos dispositivos).

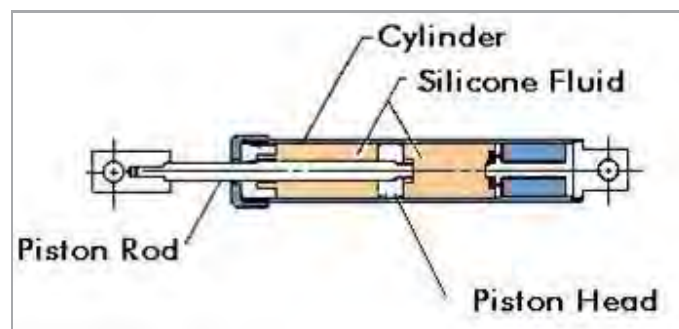


Figura 2.11.-Esquema típico de un amortiguador viscoso

-**DISIPADORES VISCOELASTICOS**: Dispositivos que consisten en mover un objeto metálico dentro de un fluido viscoso con el fin de generar un comportamiento visco-elástico.

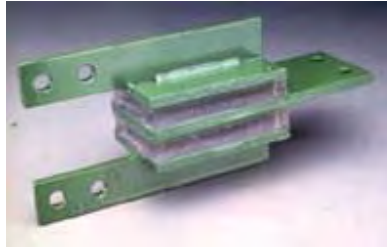


Figura 2.12.-Amortiguador viscoelástico

2.2. Amortiguadores viscosos

Los amortiguadores viscosos son elementos disipadores de energía. Están compuestos generalmente por los elementos que se muestran en la **Figura 2.13**.

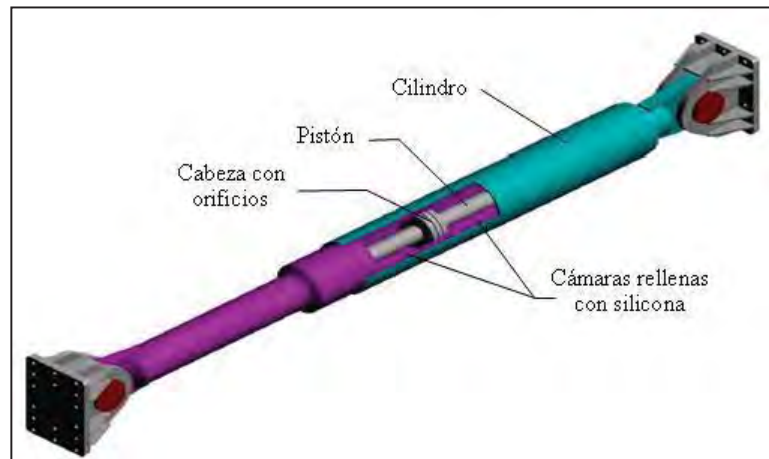


Figura 2.13.-Componentes típicos de un amortiguador viscoso

Los amortiguadores viscosos obedecen a una ley exponencial que relaciona la fuerza en el amortiguador con la velocidad (ver **Ecuación 2.1**)

$$F = C_n \operatorname{sgn}(V) |V|^n \quad 2.1$$

En la ecuación anterior, F es la fuerza en el amortiguador, C_n es el coeficiente de amortiguamiento en unidades de fuerza sobre velocidad, n es el coeficiente real y positivo al cual se eleva la velocidad, V es la función que representa la velocidad. $\operatorname{sgn}(\cdot)$ es el signo de la velocidad.

En la ecuación el coeficiente de amortiguamiento C_n y el exponente n son dos variables independientes entre sí, a partir de los cuales se puede variar el comportamiento del amortiguador. C_n es una medida de la cantidad de energía que es capaz de disipar el dispositivo. n representa el comportamiento lineal o no lineal del dispositivo; para el diseño sísmico se recomiendan valores de n entre 0.35 y 1 (Constantinou). En caso de utilizar un valor de $n=0$ la ecuación nos queda como $F=C_n \operatorname{sgn}(V)$ lo cual nos representa un

amortiguador puramente friccionante, en el caso de $n=1$ tenemos $F= C_n \text{sgn}(V)|V|$ lo cual nos representa un amortiguador lineal puramente viscoso (Lin y Chopra, 2002).

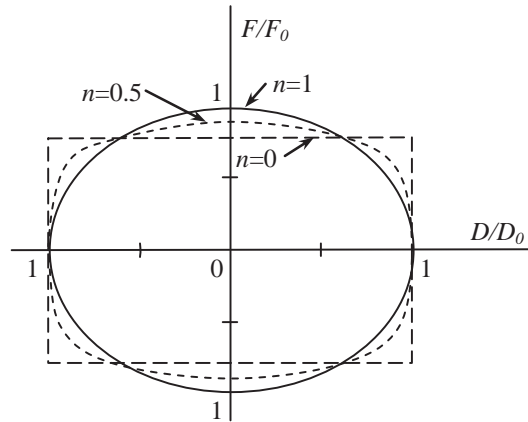


Figura 2.14.-Ciclos histeréticos del comportamiento de tres diferentes amortiguadores sometidos a movimiento armónico.

En la **Figura 2.14** se muestran los ciclos histeréticos de tres amortiguadores sometidos a un movimiento armónico $D=D_0 \sin \omega t$ normalizados en relación al caso lineal ($n=1$). Los amortiguadores tienen valores del coeficiente $n=0, 0.5$ y 1.0 . Los ciclos fueron calibrados para disipar la misma cantidad de energía por ciclo de movimiento (Lin y Chopra, 2002). Como puede observarse no obstante que los tres ciclos histeréticos disipan la misma cantidad de energía cada uno tiene una forma diferente. El ciclo para $n=1.0$ es una elipse con un comportamiento lineal puramente viscoso, para el ciclo con $n=0$ observamos un ciclo histerético correspondiente a un dispositivo friccionante. En el intervalo $0 < n < 1.0$ tenemos un ciclo representativo de un amortiguador viscoso no lineal. Tomado de (Lin y Chopra, 2000) sabemos que la energía normalizada para $n=0.5$ es de 0.9 , para $n=0$ es de $\pi/4$ (0.78 aprox.), podemos concluir entonces si disminuimos el valor n reducimos la fuerza en el amortiguador, pero conservamos la máxima deformación del sistema.

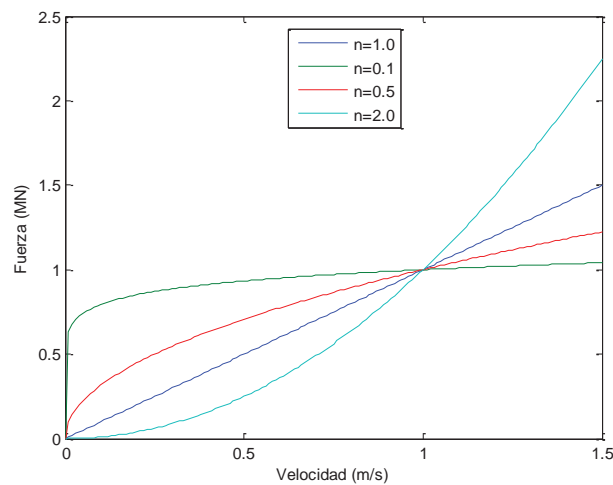


Figura 2.15.-Fuerza para diferentes valores de exponente de amortiguamiento con $C_n=1$

En la **Figura 2.15** graficamos la **Ecuación 2.1** tomando un valor de $C_n=1$ MN/(m/s), valores positivos de la velocidad y diferentes valores de $n= 0.1,0.5,1.0,2.0$. Observamos que a bajas velocidades, para valores de n menores a la unidad, las variaciones de la curva fuerza-velocidad son grandes y al incrementarse la velocidad, la variación de la curva fuerza-velocidad disminuye. El caso contrario ocurre para valores de n mayores a la unidad. Por lo anterior para aplicaciones sísmicas se usan valores de n menores a la unidad, evitando de esta forma esfuerzos demasiados grandes en la estructura y en los amortiguadores.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

3.1. Descripción del edificio

El edificio utilizado en esta tesis corresponde a un edificio de estructura metálica con un sistema de piso a base de losacero. El sistema de piso es soportado por vigas secundarias que se apoyan sobre los marcos principales formadas por columnas y traves de acero. Las secciones de las columnas van cambiando con la altura.

El Edificio es de 10 niveles y está ubicado en la zona del lago de Texcoco (Delegación Nezahualcóyotl) en el Distrito Federal. El uso del edificio es para Hospital por lo que estamos hablando de una estructura tipo A. Debido al uso, el edificio debe permanecer sin daños no estructurales (o muy leves) y completamente en funcionamiento después de la ocurrencia del temblor de diseño.

El Edificio fue diseñado según las NTC-DF-2004 para un espectro de respuesta de la zona IIIa utilizando un $Q=2$ reducido por irregularidad a $Q=1.8$. El coeficiente sísmico se multiplica por 1.5 debido a que es una estructura tipo A. El diseño final del edificio es contemplando contravientos.

3.2. Modelo analítico

El edificio está estructurado mediante marcos de acero resistentes a momento formados por columnas y vigas IPR. Las secciones del marco van cambiando con la altura del edificio. En los primeros tres niveles las columnas son de sección H1, los siguientes tres niveles las columnas son H2 y en los últimos cuatro niveles las columnas son H3. En cuanto a las vigas principales en los primeros tres niveles las vigas son IR838.2x175.6Kg/m (W33x118lb/ft), del nivel cuatro a seis son IR762x160.7Kg/m (W30x108lb/ft) y del nivel siete a diez son IR685.8x139.9Kg/m (W27x94lb/ft). (Ver secciones en **Figura 3.1**), (Ver Imagen del modelo y marcos en dirección X y Y en **Figuras 3.2-3.4**). Cabe mencionar, la configuración de los apoyos mediante empotramientos en todas las columnas a nivel de la base del edificio.

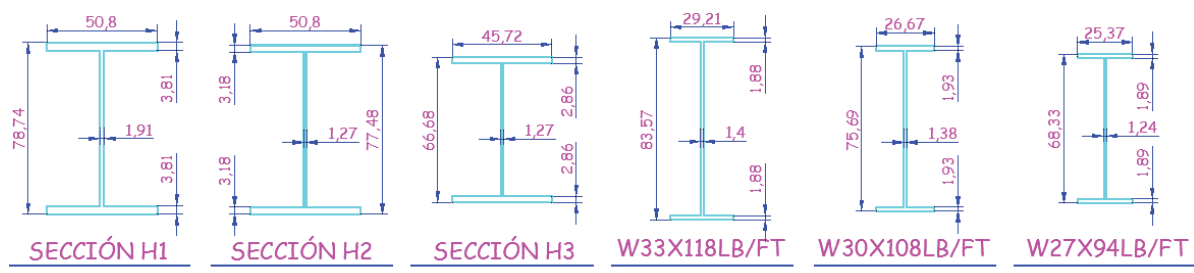


Figura.3.1.- Secciones que componen los marcos principales.

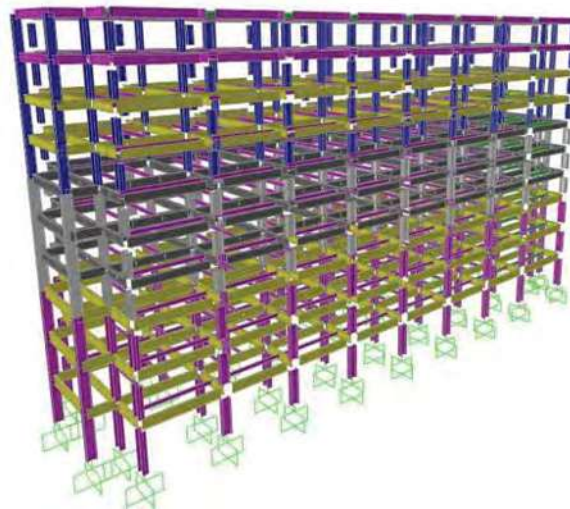


Figura.3.2.- Isométrico de la Estructura

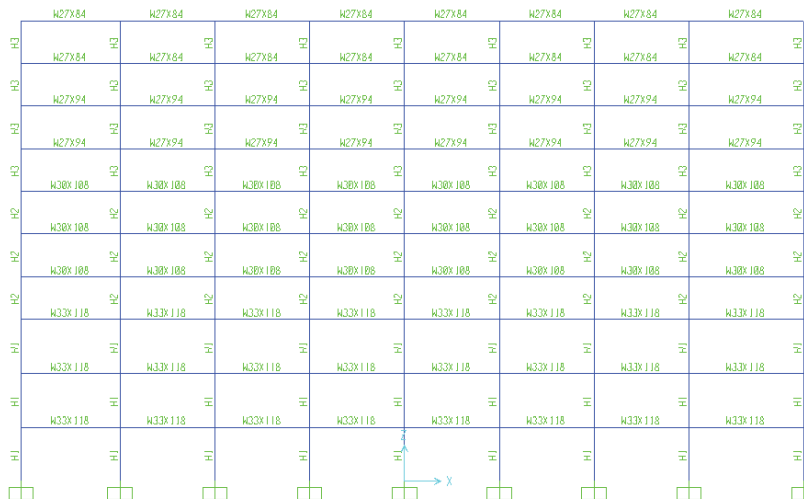


Figura.3.3.- Estructuración de los marcos en plano XZ

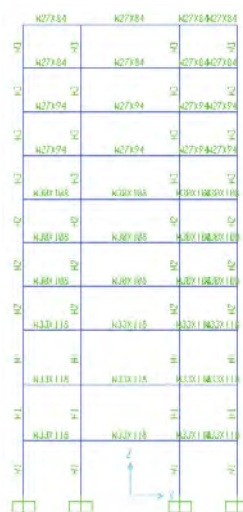


Figura.3.4.- Estructuración de los marcos en plano YZ

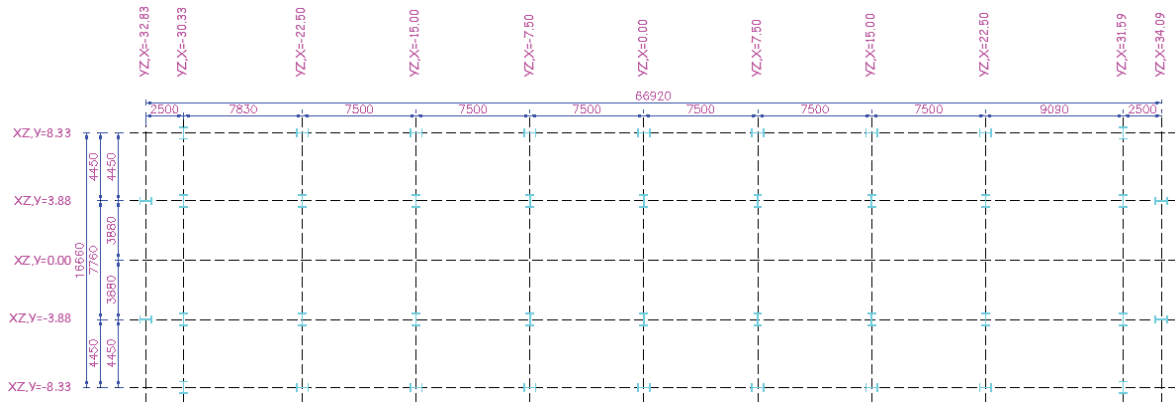


Figura 3.5.- Orientación de columnas dentro de los marcos.

En la **Figura 3.5** se muestra la orientación de las columnas en la planta baja, aplicable a todos los niveles. Esta configuración fue seleccionada para proporcionar una mejor respuesta del edificio ante cargas laterales (debidas a sismo).

El modelo de la estructura está formado por elementos barra. Los primeros tres niveles tienen una altura de 4.27 m y los restantes de 3.37 m la separación de los marcos principales en dirección X es de 7.5 m exceptuando los marcos de los extremos que están separados 7.83 y 9.09 m. Los apoyos de la estructura se tomaron empotrados para realizar una comparación más real con el diseño original.

Las cargas aplicadas al modelo estructural son las siguientes:

3.2.1. Losa de Azotea (N10):

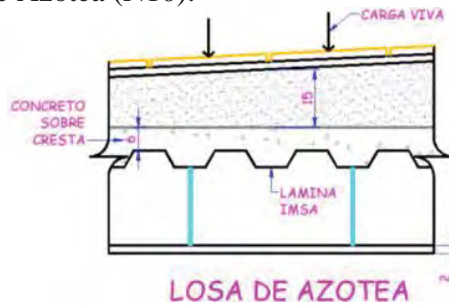


Figura 3.6.- Elementos considerados para losa de azotea

Tabla 3.1.-Cargas sobre losa de azotea Nivel 10

CONCEPTO	PV(KG/M ³)	ESPESOR(M)	W(KG/M ²)
FALSO PLAFÓN	1500	0.02	30
LOSACERO-CONCRETO	2400	0.1	240
INSTALACIONES	----	----	10
RELLENO DE TEPETATE	1600	0.15	240
ENLADRILLADO Y ENTORTADO	----	----	100
PESO MUERTO ADICIONAL	----	----	40
		TOTAL	660

CARGA MUERTA=	CM=	660	KG/M ²
CARGA VIVA=	Wm=	100	KG/M ²
	Wa=	70	KG/M ²

3.2.2. Losa de Entrepiso Consultorios (N1-N9).

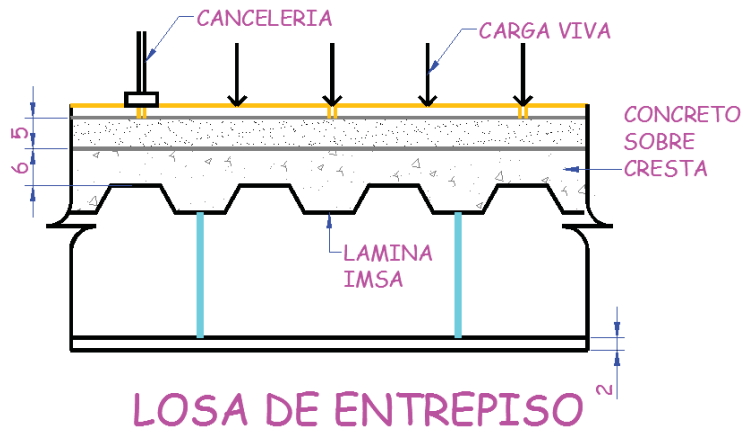


Figura 3.7.- Elementos considerados para losa de entrepiso

Tabla 3.2.- Cargas sobre losa de entrepiso Niveles 1-9

CONCEPTO	PV(KG/M ³)	ESPESOR(M)	W(KG/M ²)
FALSO PLAFÓN	1500	0.02	30
LOSACERO-CONCRETO	2400	0.1	240
INSTALACIONES	----	----	10
ENLADRILLADO Y ENTORTADO	----	----	100
MUROS DIVISORIOS	----	----	40
PESO MUERTO ADICIONAL	----	----	40
		TOTAL	460

CARGA MUERTA=	CM=	460	KG/M ²	NIVELES (N1-N9)
CARGA VIVA=	Wm=	250	KG/M ²	NIVELES (N4-N9)
	Wa=	180	KG/M ²	
CARGA VIVA=	Wm=	170	KG/M ²	NIVELES (N1-N3)
	Wa=	90	KG/M ²	

3.3. Registros en suelo blando

En este caso para la tesis se consideraron 23 registros de sismos en lugares de suelo blando (ver tabla). Debido a que los registros originales generaban desplazamientos muy pequeños al edificio, se procedió a escalarlos linealmente tomando como base el sismo con aceleración máxima (SCT, 1985).

Tabla 3.3.- Sismos Registrados en la Ciudad de México Usados en este Estudio.

Estación	Nombre de la Estación	Fecha	Magnitud (Ms)	Comp.1	PGA (cm/s ²)	Comp.2	PGA (cm/s ²)	Factor de Escala(FE)
01	Alameda	25/04/89	6.9	EW	37.4	NS	45.5	3.69
		14/09/95	7.1	EW	34.8	NS	40.8	4.12
03	C.U. Juárez	14/09/95	7.1	EW	25.9	NS	24.9	6.48
04	CUPJ	14/09/95	7.1	EW	26.8	NS	24.5	6.26
06	Xochipilli	25/04/89	6.9	EW	57.2	NS	43.3	2.93
08	Tlatelolco	14/09/95	7.1	EW	28.5	NS	26.5	5.89
09	Villa Gómez	25/04/89	6.9	EW	47.4	NS	38.6	3.54
10	P. Elías Calles	14/09/95	7.1	EW	30	NS	29.7	5.6
29	Villa del Mar	25/04/89	6.9	EW	46.5	NS	49.4	3.4
43	Jamaica	14/09/95	7.1	EW	24.3	NS	27.7	6.06
44	U. Colonia IMSS	25/04/89	6.9	EW	39.6	NS	52.3	3.21
45	Balderas	25/04/89	6.9	EW	51.4	NS	42.6	3.27
48	Rodolfo Menéndez	25/04/89	6.9	EW	47.7	NS	27.7	3.52
53	San Simón	25/04/89	6.9	EW	30.5	NS	39.7	4.22
55	Tlatelolco	14/09/95	7.1	EW	19.4	NS	29.7	5.65
56	Córdoba	14/09/95	7.1	EW	45.2	NS	44.1	3.71
58	Liverpool	25/04/89	6.9	EW	40.0	NS	40.6	4.14
59	Candelaria	25/04/89	6.9	EW	45.2	NS	28.6	3.71
62	Garibaldi	14/09/95	7.1	EW	25.8	NS	30.1	5.58
RO	Roma	25/04/89	6.9	EW	54.7	NS	45.4	3.07
		14/09/95	7.1	EW	37.4	NS	28.6	4.49
RO-C	Roma-C	14/09/95	7.1	EW	28.9	NS	31.1	5.4
SC	SCT	19/09/85	8.1	EW	167.9	NS	97.9	1

En el **Apéndice A** se muestran gráficamente los acelerogramas mencionados en la tabla superior, en la tabla anterior solo se hace mención a las aceleraciones máximas en las dos direcciones horizontales perpendiculares entre si, para el modelo se utilizaron además los acelerogramas en dirección vertical por lo cual se muestran en las figuras.

4. RESPUESTA DEL MODELO SIN DISIPADORES

4.1. Respuesta ante carga vertical

Al modelo de la estructura se aplicaron las cargas descritas en el Capítulo 3, recordándolas para la azotea carga muerta de 660 kg/m^2 y viva de 100 kg/m^2 ; de los niveles de entrepiso N1-N9 carga muerta de 460 kg/m^2 , cargas vivas niveles N1-N3 170 kg/m^2 , en los niveles N4-N9 carga viva de 250 kg/m^2 . En la **Figura 4.1** se muestran las cargas aplicadas linealmente al modelo.

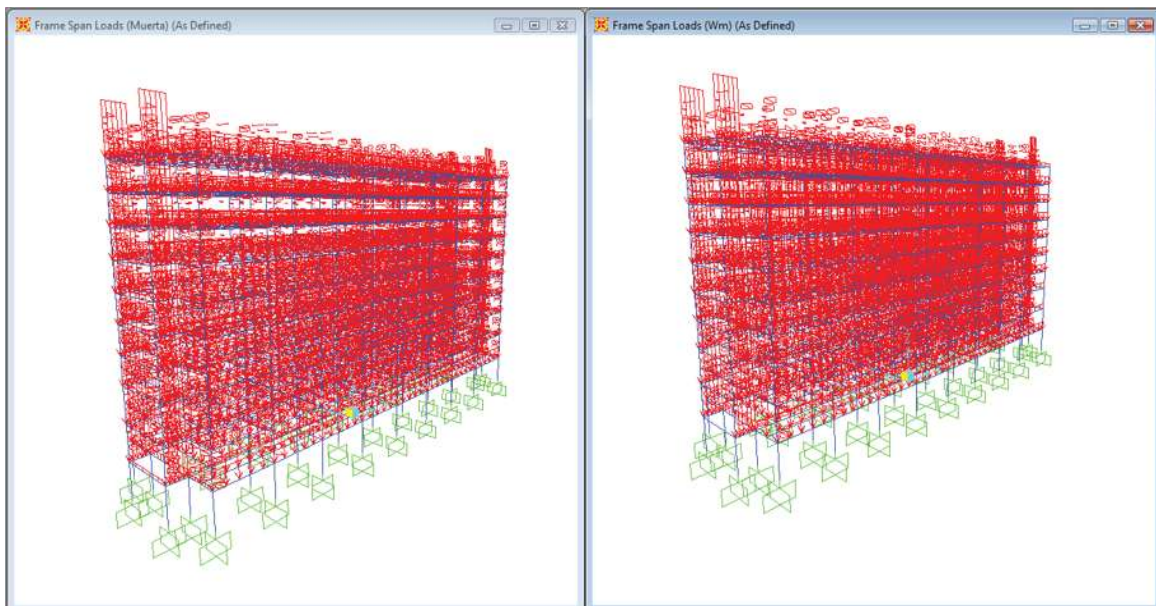


Figura 4.1.- Cargas muertas y vivas máximas aplicadas al modelo.

Una de las finalidades de este trabajo es demostrar que el uso de amortiguadores es capaz de reducir las acciones en la cimentación, así como la posibilidad de reducir las secciones del marco momento resistente. En busca de lo anterior primero es necesario determinar cuáles son las secciones más esforzadas en el modelo. Una forma sencilla de determinarlas fue diseñando los miembros de la estructura bajo cargas gravitacionales y consultando a que porcentaje de su capacidad trabajan (utilizamos como reglamento de diseño el AISC-ASD89). En la **Figura 4.2** se muestra a mano izquierda el modelo de la estructura en vista tridimensional y en esta misma imagen en color azul cielo se señaló el marco con las columnas más esforzadas, a mano derecha se muestra el marco más crítico con los porcentajes a los que trabajan sus secciones.

Por el momento se considerará el marco plano YZ con $X= 22.5 \text{ m}$ como el marco de comparación para los siguientes análisis. En la **Figura 4.2** se indicó las dos columnas mas esforzadas. Se puede ver que ambas columnas trabajan únicamente al 36.3 % de su capacidad bajo cargas gravitacionales.

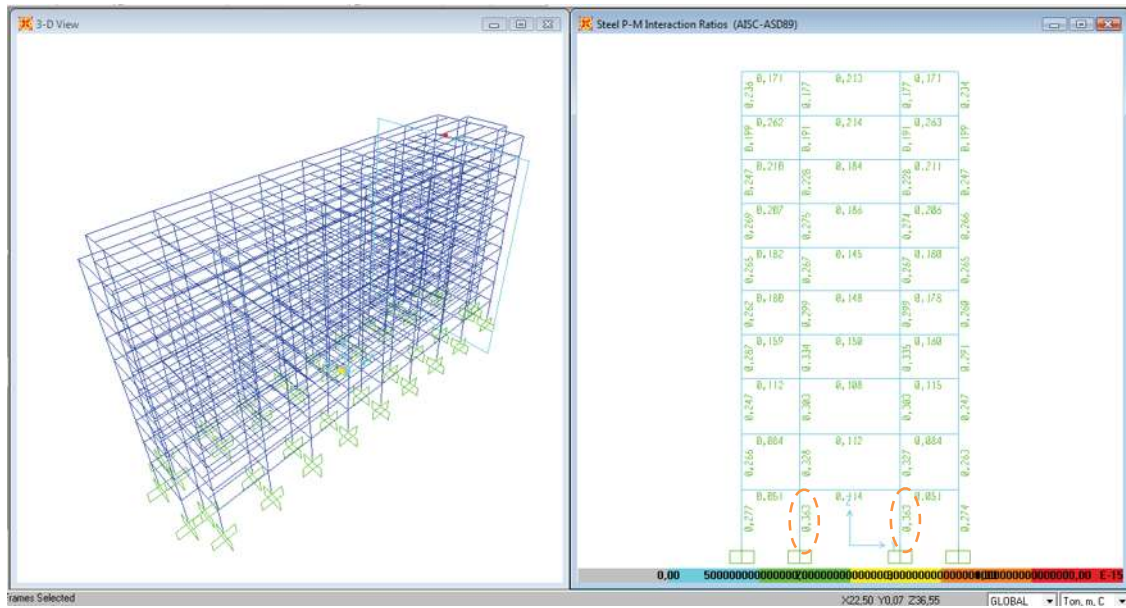


Figura 4.2.- Determinación de marco crítico bajo cargas gravitacionales.

4.2. Propiedades dinámicas

Dado a que el análisis sísmico se realizó utilizando el programa SAP 2000 v10.1. Los periodos y frecuencias fueron extraídos directamente de los resultados del programa ver **Tabla 4.1**. En este caso se utilizaron 50 modos de vibrar de la estructura, tomando en cuenta 6 grados de libertad por piso serian necesarios en realidad utilizar 60 modos de vibrar. La razón de reducir el número de modos fue la de reducir el tiempo consumido en el análisis además de cómo es sabido los primeros modos son los que influyen más en el comportamiento de la estructura.

Tabla 4.1.- Tabla de frecuencias y periodos de la estructura.

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS											
Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.
			Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec
MODAL	Mode	1	1.005534	0.9945	6.2486	MODAL	Mode	26	0.103181	9.6917	60.895
MODAL	Mode	2	0.964748	1.0365	6.5128	MODAL	Mode	27	0.101749	9.8281	61.752
MODAL	Mode	3	0.914367	1.0937	6.8716	MODAL	Mode	28	0.096666	10.345	64.999
MODAL	Mode	4	0.330138	3.029	19.032	MODAL	Mode	29	0.095037	10.522	66.113
MODAL	Mode	5	0.326442	3.0633	19.247	MODAL	Mode	30	0.094125	10.624	66.754
MODAL	Mode	6	0.303326	3.2968	20.714	MODAL	Mode	31	0.093008	10.752	67.555
MODAL	Mode	7	0.180606	5.5369	34.789	MODAL	Mode	32	0.091492	10.93	68.674
MODAL	Mode	8	0.174398	5.734	36.028	MODAL	Mode	33	0.090454	11.055	69.463
MODAL	Mode	9	0.162223	6.1643	38.732	MODAL	Mode	34	0.088987	11.238	70.608
MODAL	Mode	10	0.147685	6.7712	42.544	MODAL	Mode	35	0.088188	11.339	71.248
MODAL	Mode	11	0.143427	6.9722	43.808	MODAL	Mode	36	0.087479	11.431	71.825
MODAL	Mode	12	0.136639	7.3185	45.984	MODAL	Mode	37	0.087163	11.473	72.085
MODAL	Mode	13	0.130236	7.6784	48.245	MODAL	Mode	38	0.086631	11.543	72.528
MODAL	Mode	14	0.127438	7.8469	49.304	MODAL	Mode	39	0.085724	11.665	73.296
MODAL	Mode	15	0.127095	7.8681	49.437	MODAL	Mode	40	0.083103	12.033	75.608
MODAL	Mode	16	0.125434	7.9723	50.091	MODAL	Mode	41	0.082854	12.069	75.834
MODAL	Mode	17	0.121809	8.2095	51.582	MODAL	Mode	42	0.082746	12.085	75.933
MODAL	Mode	18	0.120642	8.289	52.081	MODAL	Mode	43	0.082279	12.154	76.364
MODAL	Mode	19	0.117639	8.5006	53.411	MODAL	Mode	44	0.081403	12.285	77.186
MODAL	Mode	20	0.114688	8.7193	54.785	MODAL	Mode	45	0.08117	12.32	77.408
MODAL	Mode	21	0.114623	8.7243	54.816	MODAL	Mode	46	0.081062	12.336	77.511
MODAL	Mode	22	0.111428	8.9744	56.388	MODAL	Mode	47	0.080438	12.432	78.112
MODAL	Mode	23	0.107266	9.3226	58.576	MODAL	Mode	48	0.079105	12.641	79.428
MODAL	Mode	24	0.107121	9.3352	58.655	MODAL	Mode	49	0.07861	12.721	79.929
MODAL	Mode	25	0.103747	9.6389	60.563	MODAL	Mode	50	0.078483	12.742	80.058

En las **Figuras 4.3** y **4.4** aparecen gráficamente los primeros cuatro modos de vibrar de la estructura. Se puede notar desplazamiento en dirección Y de todo el edificio para nuestro primer modo de vibrar, en dirección X para el segundo, torsión alrededor de Z para el tercero y en el cuarto movimiento del edificio en dirección XY (sentido negativo de X).

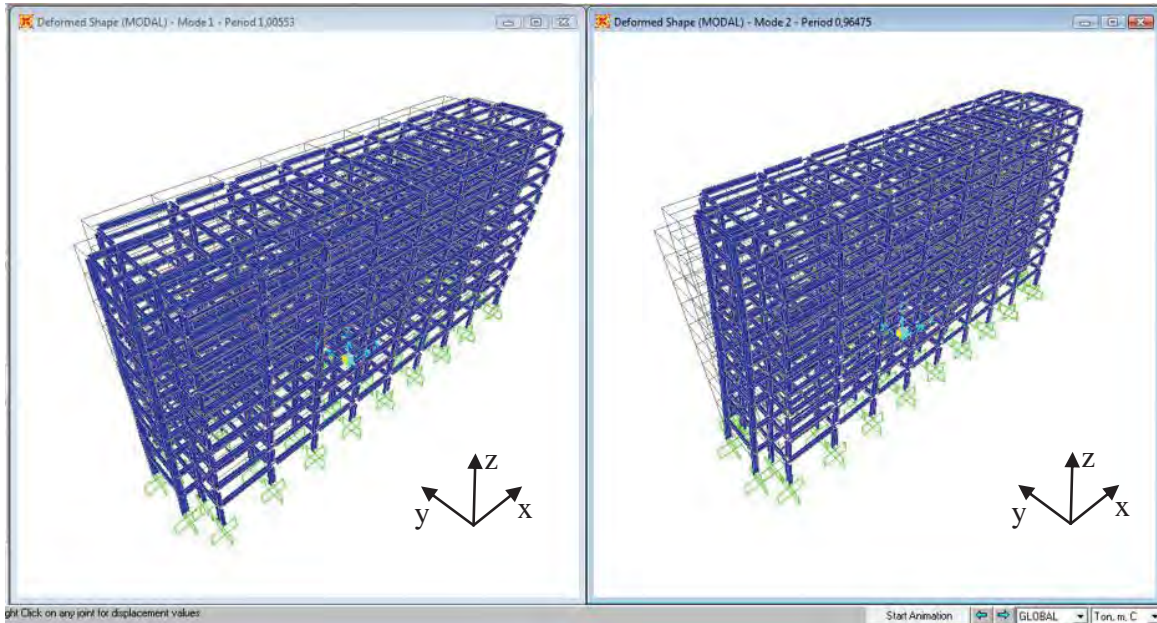


Figura 4.3.- Primer y segundo modo de vibrar de la estructura

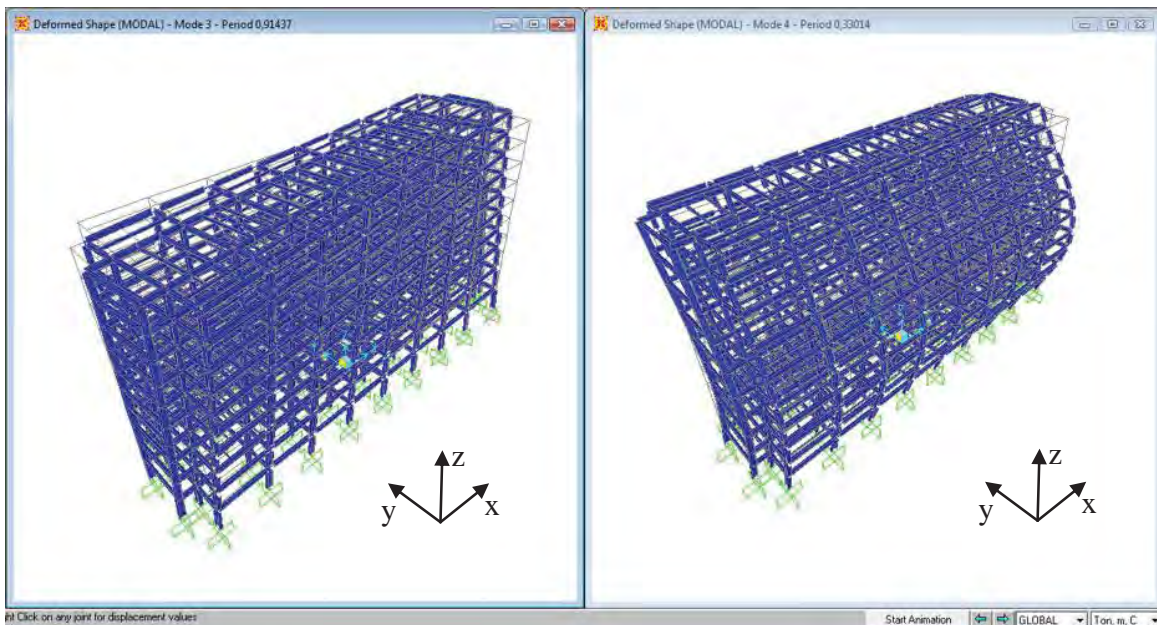


Figura 4.4.- Tercer y cuarto modo de vibrar de la estructura

4.3. Respuesta sísmica

El modelo de la estructura fue diseñado originalmente con un espectro de respuesta para Zona IIIa (Espectro proveniente de las NTC-DF 2004) tomando un Q de 1.8 y amplificando la respuesta por 1.5 por tratarse de un hospital. En la **Figura 4.5** se muestra gráficamente el espectro de respuesta utilizado. El espectro presentado ya está afectado por Q y por el factor de amplificación de 1.5.

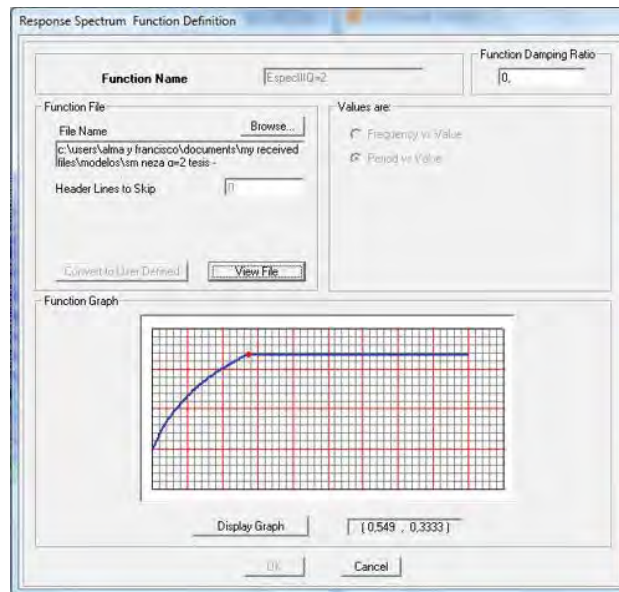


Figura 4.5.- Espectro de Respuesta Zona IIIa ($c=0.4$, $a_0=0.10$, $T_a=0.53$, $T_b=1.8$)

Se retomó el análisis con este espectro para confirmar que el marco seleccionado para realizar la comparación siguiera siendo el más crítico para la condición con sismo.

Se consideró un sismo que actúa en las dos direcciones X y Y. Dado que la dirección de análisis de interés es en dirección Y (dirección débil del edificio) se aplicó el espectro a un 100% en esa dirección y únicamente con un 33 % en dirección X, lo anterior tomado de las NTC-DF 2004.

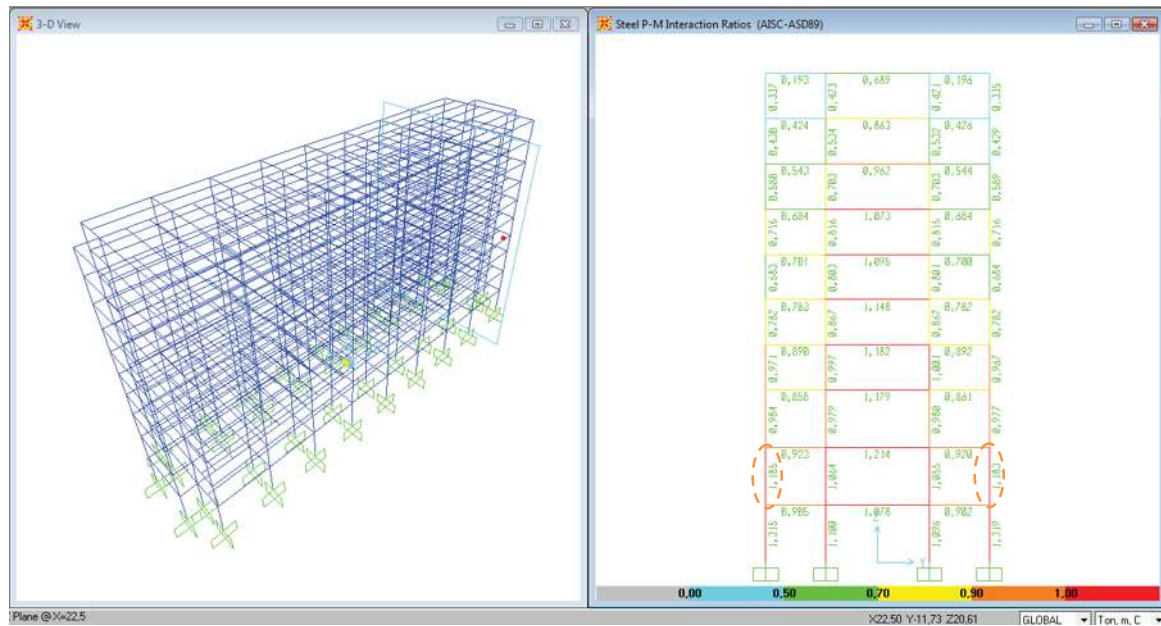


Figura 4.6.- Determinación de marco crítico bajo cargas gravitacionales más sísmicas (Debidas al espectro de respuesta terreno Tipo II Zona A).

Una vez realizado el diseño y revisando los marcos (Ver **Figura 4.6**) de la estructura se llegó a la misma conclusión el marco en el plano YZ con $X=22.5$ m es el más crítico. La diferencia entre este caso y el anterior se presenta en las columnas mas esforzadas, con el caso de cargas gravitacionales las columnas mas cargadas eran las centrales y en este caso son las exteriores trabajando casi al 132 % de su capacidad. En realidad las columnas no son capaces de trabajar a más del 100 % de su capacidad en dado caso se presentaría inicio de plastificación de la sección o parte de ella. Este paso fue realizado únicamente para determinar el marco más crítico por lo que no daremos mucha importancia al punto anterior. Cabe mencionar que el Diseño original del Edificio fue realizado contemplando el uso de contravientos por lo que es lógica la respuesta del Edificio.

De aquí en adelante para la comparación de las fuerzas producidas sobre la cimentación debidas a las acciones sísmicas se utilizarán las resultantes en el apoyo del plano eje YZ con $X= 22.5$ m intersección con el eje XZ con $Y= 8.33$ m el cual se llamará *apoyo 373*. En las **Tablas 4.2 y 4.3** aparecen las reacciones producidas en el apoyo bajo las acciones sísmicas.

Tabla 4.2.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio sin Contravientos)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Maximas									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	132.25	26.85	419.13	66.57	359.19	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	88.11	25.38	304.68	48.49	239.90	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Max	78.93	29.70	440.53	63.83	213.68	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	94.28	29.99	404.84	61.79	256.32	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	73.34	25.82	294.74	55.18	198.31	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	80.55	29.24	372.95	62.16	219.35	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	92.04	21.32	339.47	47.51	250.41	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	93.26	24.77	460.12	63.22	255.84	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	83.46	23.11	409.40	66.78	227.52	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	112.53	30.50	476.66	62.73	306.68	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	124.43	39.13	635.40	86.27	339.08	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	115.28	33.49	546.58	73.54	314.26	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	44.89	22.25	273.10	47.32	121.10	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Max	96.75	37.61	436.20	67.64	262.26	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	113.12	32.69	361.78	53.01	308.85	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	73.72	32.63	482.81	65.31	202.18	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	123.67	28.03	606.77	78.85	336.81	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	78.44	39.74	429.91	61.61	213.15	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	83.28	28.11	426.51	68.40	225.86	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Max	88.31	35.08	540.01	85.98	241.14	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Max	86.84	33.62	406.14	64.82	235.80	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	92.34	31.55	377.26	72.96	250.76	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Max	51.87	21.08	283.86	46.54	140.42	0.00
373	Promedio	Promedio	Max	91.38	29.64	422.99	63.94	248.65	0.00

Tabla 4.3.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio sin Contravientos)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Minimas									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-83.30	-31.63	-354.45	-56.46	-227.11	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-71.28	-22.99	-315.98	-53.20	-193.63	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Min	-92.16	-30.02	-437.34	-62.80	-249.39	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-73.39	-29.23	-411.78	-63.19	-199.58	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-73.91	-26.32	-299.42	-54.08	-201.36	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-81.10	-29.48	-423.72	-61.61	-221.07	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-82.36	-22.75	-329.85	-44.77	-223.81	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-113.70	-30.05	-321.12	-52.15	-308.78	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-94.21	-31.83	-351.35	-48.65	-254.78	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-111.77	-29.68	-493.61	-64.09	-304.98	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-110.30	-40.92	-555.84	-82.34	-300.29	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-119.53	-34.59	-511.12	-71.18	-325.82	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-37.29	-22.61	-261.49	-46.45	-100.68	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Min	-92.06	-32.29	-489.49	-79.13	-249.95	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-85.26	-25.12	-384.70	-68.40	-233.06	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-79.65	-30.79	-534.24	-69.22	-217.65	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-126.93	-37.34	-430.10	-59.02	-345.22	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-75.95	-29.49	-501.68	-83.42	-206.82	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-62.86	-32.61	-376.40	-58.98	-170.72	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Min	-82.40	-40.80	-462.62	-73.80	-224.15	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Min	-89.18	-30.87	-466.83	-71.04	-241.89	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-79.36	-34.68	-399.17	-66.66	-216.24	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Min	-44.43	-22.29	-274.77	-44.04	-120.01	0.00
373	Promedio	Promedio	Min	-85.32	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	0.00

La información de las **Tablas 4.2 y 4.3** esta acomodada de la siguiente manera:

- ❖ Nudo es el apoyo de la columna mas esforzada determinada anteriormente.
- ❖ Caso es el acelerograma para el que se presentan las reacciones.
- ❖ Tipo es el análisis que se realizó, para este caso análisis no lineal de historia de tiempo.
- ❖ Paso reacciones máximas o mínimas en el apoyo
- ❖ F1, F2, F3, M1, M2 y M3 son fuerzas en dirección X, Y, Z, Momento X, Y y Z respectivamente (para el caso específico de F3 cuando el signo sea positivo se tratará de compresión y negativo de tensión).
- ❖ En la última fila aparece en color rojo el promedio de los veintitrés acelerogramas.

A continuación se presenta la respuesta del marco ante los acelerogramas escalados mencionados en el capítulo 3. Cabe mencionar que los datos de desplazamientos se tomaron del marco Plano YZ, $X=31.59$ m intersección con el plano XZ, $Y=8.33$ m por ser los de mayor magnitud para la mayoría de los acelerogramas aplicados. De aquí en adelante para todos los casos los puntos utilizados serán los mismos.

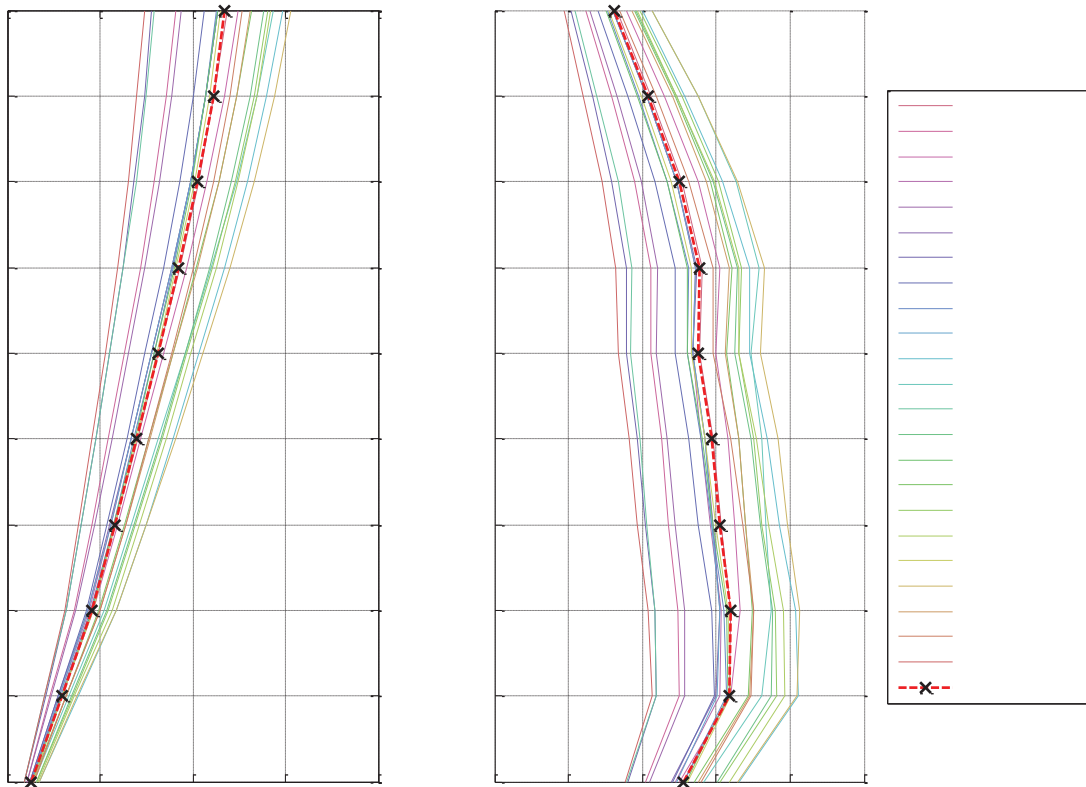


Figura 4.7.- Respuesta ante los acelerogramas del edificio sin contravientos

En la **Figura 4.7** la imagen de la izquierda muestra las gráficas de los desplazamientos máximos absolutos producidos en el edificio bajo los acelerogramas escalados, de lado derecho aparecen los desplazamientos relativos de entrepiso normalizados respecto a los desplazamientos relativos máximos de entrepiso permitidos según las NTC-DF 2004 ($IDI=0.006*H$).

Se puede observar en la **Figura 4.7** que el máximo desplazamiento ocurre en el nivel 10 y es de 15.3 cm para el acelerograma Roma 6.9, el cual produce también el máximo desplazamiento de entrepiso normalizado de 0.8274 en el segundo nivel. En la Figura también aparece el promedio de las respuestas, para este promedio el máximo desplazamiento es de 11.75 cm y el máximo desplazamiento normalizado de 0.639 para el segundo nivel. Se puede ver que los máximos desplazamientos producidos por los acelerogramas no sobrepasan en ningún caso el desplazamiento máximo de entrepiso permitido ($IDI=0.006*H$).

4.4. Configuración de contravientos tradicionales.

A continuación se presenta la propuesta de ubicación de los contravientos que arquitectónicamente resultó aceptable para resistir las fuerzas inducidas por el sismo, además de reducir los desplazamientos de entrepiso.

La razón del uso de contravientos resultó de que algunos elementos entre ellos trabes y columnas sobrepasaban su resistencia. Al utilizar los contravientos se logra que estos elementos no sobrepasen su resistencia bajo acciones menores a las producidas por el espectro de diseño.

En la **Figura 4.8** mediante elipses de diferentes colores se muestra la ubicación de los marcos con contravientos cada color indica una configuración de contravientos. En las **Figura 4.9** y **4.10** aparecen las configuraciones de contravientos con sus nombres. En la **Figura 4.9** a la izquierda se indica el marco de la elipse negra y a mano derecha el marco correspondiente a la elipse azul. En la **Figura 4.10** aparece el marco de la elipse roja.

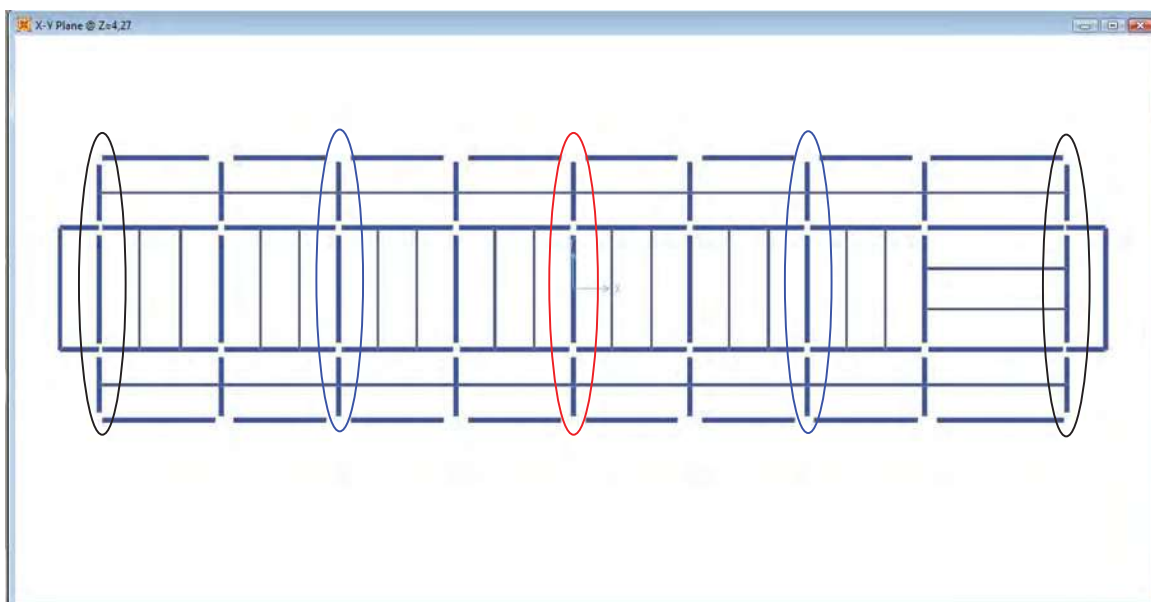


Figura 4.8.- Vista en planta primer nivel de la estructura con posición de marcos típicos con contravientos

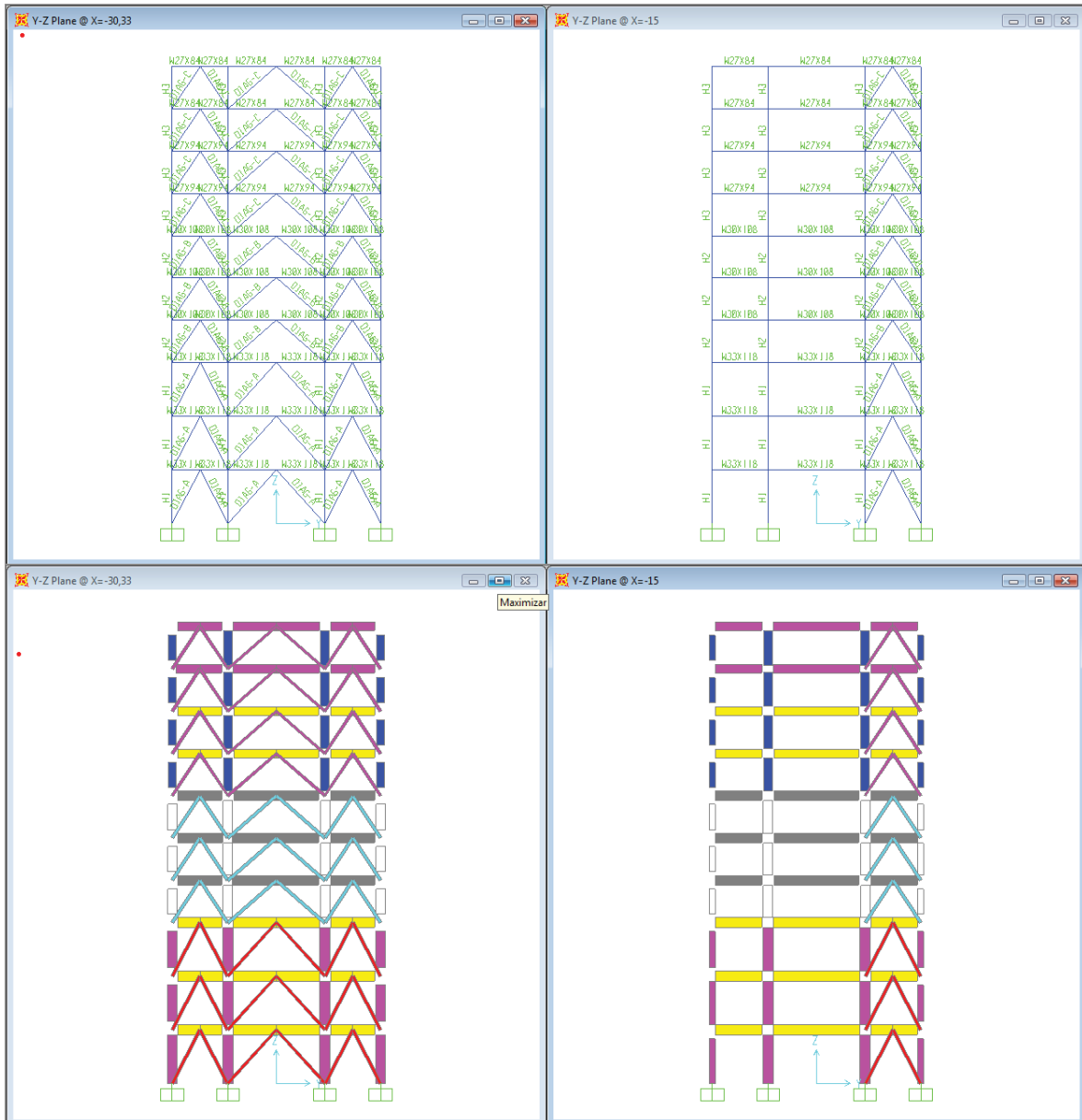


Figura 4. 9.-Marcos con contravientos 1.

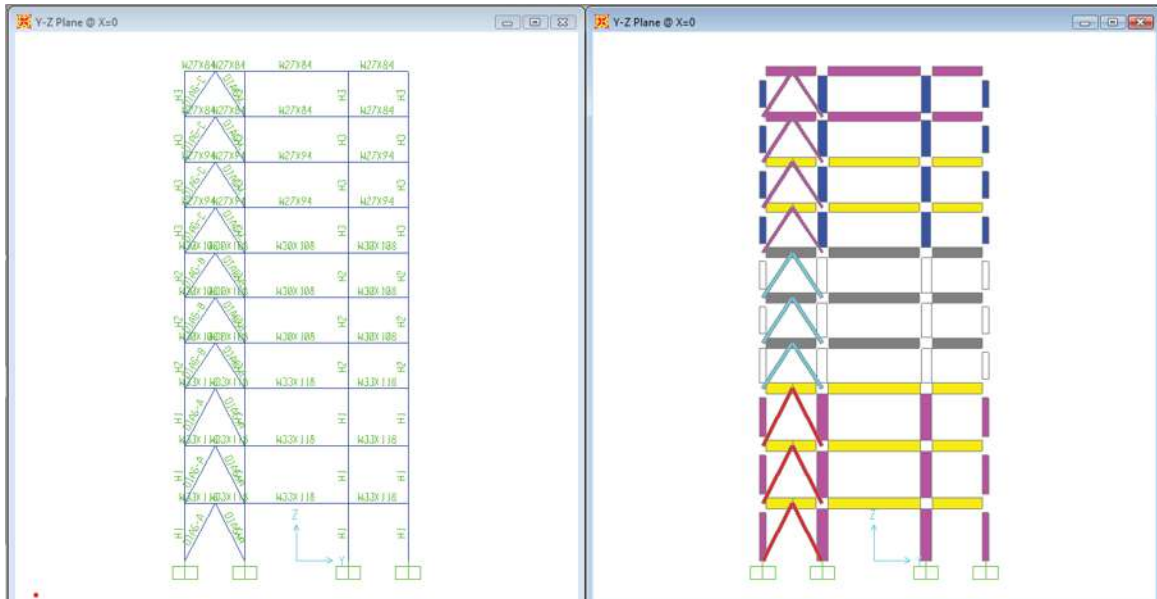


Figura 4.10.- Marcos con contravientos 2.

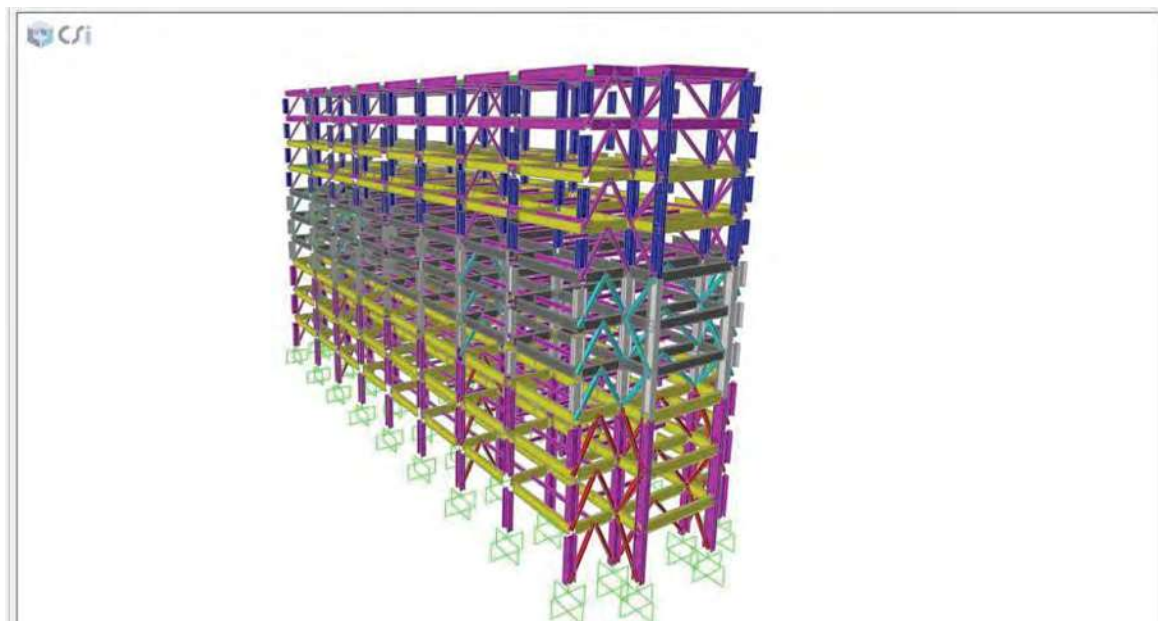


Figura 4.11.- Marco Tridimensional contraventado

De la **Figura 4.8** a la **4.11** se mostró la ubicación de los contravientos dentro de la estructura. En este caso para optimizar el uso de los contravientos se usaron tres tipos de contravientos todos de sección cuadrada hueca cuyas secciones aparecen en la **Figura 4.12**. Las secciones mostradas en la **Figura 4.12** son conocidas en México de la siguiente manera: La sección DIAG-A corresponde a un OR254x9.5 mm, la sección DIAG-B corresponde a OR254x7.9 mm, y la sección DIAG-C a una sección OR203x7.9 mm.

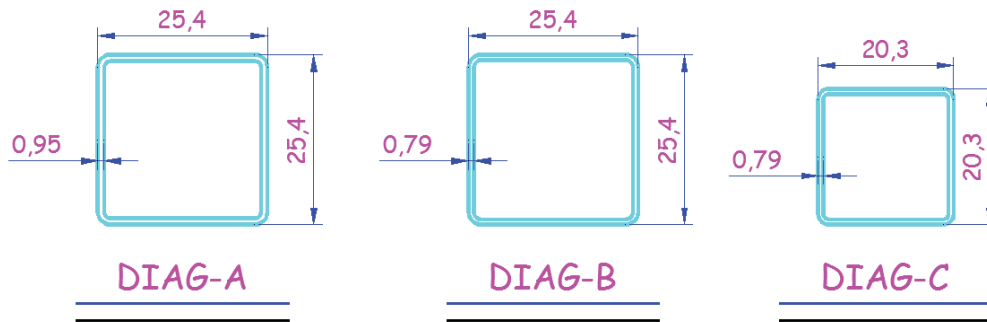


Figura 4.12.- Secciones de los contravientos.

El contraviento Diag-A fue usado en los tres primeros niveles para las tres configuraciones de marcos con contravientos, la Diag-B para los siguientes tres niveles y por último la Diag-C para los cuatro restantes.

4.5. Respuesta del modelo con contravientos comunes.

El edificio original fue diseñado para resistir el espectro de respuesta Terreno Tipo III Zona A utilizando contravientos comunes. En este caso se utilizaron tres tipos de contravientos su configuración y secciones se mencionaron en el punto anterior.

En primer lugar se sacó los periodos y frecuencias de la estructura para ver los cambios en la forma de vibrar de la estructura al adicionar contravientos (véase **Tabla 4.4**). De lo cual se observa una disminución en los periodos de la estructura, algo que era de esperarse debido al aumento de rigidez proporcionado por los contravientos.

Tabla 4.4.- Tabla de frecuencias y periodos de la estructura con contravientos.

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS											
Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.
			Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec
MODAL	Mode	1	0.933469	1.0713	6.731	MODAL	Mode	26	0.095967	10.42	65.472
MODAL	Mode	2	0.779874	1.2823	8.0567	MODAL	Mode	27	0.093485	10.697	67.211
MODAL	Mode	3	0.632281	1.5816	9.9373	MODAL	Mode	28	0.092082	10.86	68.234
MODAL	Mode	4	0.313572	3.1891	20.037	MODAL	Mode	29	0.091237	10.96	68.866
MODAL	Mode	5	0.253955	3.9377	24.741	MODAL	Mode	30	0.088631	11.283	70.892
MODAL	Mode	6	0.209214	4.7798	30.032	MODAL	Mode	31	0.087662	11.407	71.675
MODAL	Mode	7	0.17055	5.8634	36.841	MODAL	Mode	32	0.08763	11.412	71.701
MODAL	Mode	8	0.145983	6.8501	43.04	MODAL	Mode	33	0.086818	11.518	72.372
MODAL	Mode	9	0.141493	7.0675	44.406	MODAL	Mode	34	0.086703	11.534	72.468
MODAL	Mode	10	0.134884	7.4138	46.582	MODAL	Mode	35	0.085605	11.682	73.397
MODAL	Mode	11	0.131939	7.5793	47.622	MODAL	Mode	36	0.084908	11.777	74
MODAL	Mode	12	0.128584	7.777	48.864	MODAL	Mode	37	0.082641	12.1	76.029
MODAL	Mode	13	0.126304	7.9174	49.746	MODAL	Mode	38	0.082099	12.18	76.532
MODAL	Mode	14	0.125038	7.9976	50.25	MODAL	Mode	39	0.081477	12.273	77.116
MODAL	Mode	15	0.119721	8.3527	52.482	MODAL	Mode	40	0.081306	12.299	77.278
MODAL	Mode	16	0.118069	8.4696	53.216	MODAL	Mode	41	0.080966	12.351	77.602
MODAL	Mode	17	0.113668	8.7975	55.276	MODAL	Mode	42	0.080382	12.441	78.167
MODAL	Mode	18	0.113485	8.8118	55.366	MODAL	Mode	43	0.079325	12.606	79.208
MODAL	Mode	19	0.110076	9.0847	57.081	MODAL	Mode	44	0.078895	12.675	79.64
MODAL	Mode	20	0.10582	9.45	59.376	MODAL	Mode	45	0.078481	12.742	80.06
MODAL	Mode	21	0.104562	9.5637	60.09	MODAL	Mode	46	0.078412	12.753	80.13
MODAL	Mode	22	0.10405	9.6108	60.386	MODAL	Mode	47	0.077451	12.911	81.124
MODAL	Mode	23	0.103277	9.6827	60.838	MODAL	Mode	48	0.077122	12.966	81.47
MODAL	Mode	24	0.10304	9.7049	60.978	MODAL	Mode	49	0.076566	13.061	82.062
MODAL	Mode	25	0.099579	10.042	63.098	MODAL	Mode	50	0.075469	13.25	83.255

En las **Figuras 4.13** y **4.14** aparecen gráficamente los primeros cuatro modos de vibrar de la estructura. Se nota un cambio en el comportamiento al agregar los contravientos. El primer cambio de consideración se presenta en que los modos uno y dos de la configuración sin contravientos intercambian lugares. Esto es ahora el primer modo es de traslación en dirección X y el segundo de traslación en dirección Y opuesto a lo que sucedía anteriormente. Además los periodos se ven disminuidos para el desplazamiento en dirección X el periodo sin contravientos era $T=0.9647$ segundos y en este caso cambia a 0.9334 segundos esto representa una disminución de 3.24 % en relación con el primero, él periodo para desplazamiento en dirección Y disminuye en un 22.45 % al pasar de 1.0055 a 0.7798 segundos. En si todos los periodos se ven disminuidos. El tercer y cuarto modo ambos son de torsión alrededor del eje Z y de la misma forma sus periodos se ven reducidos.

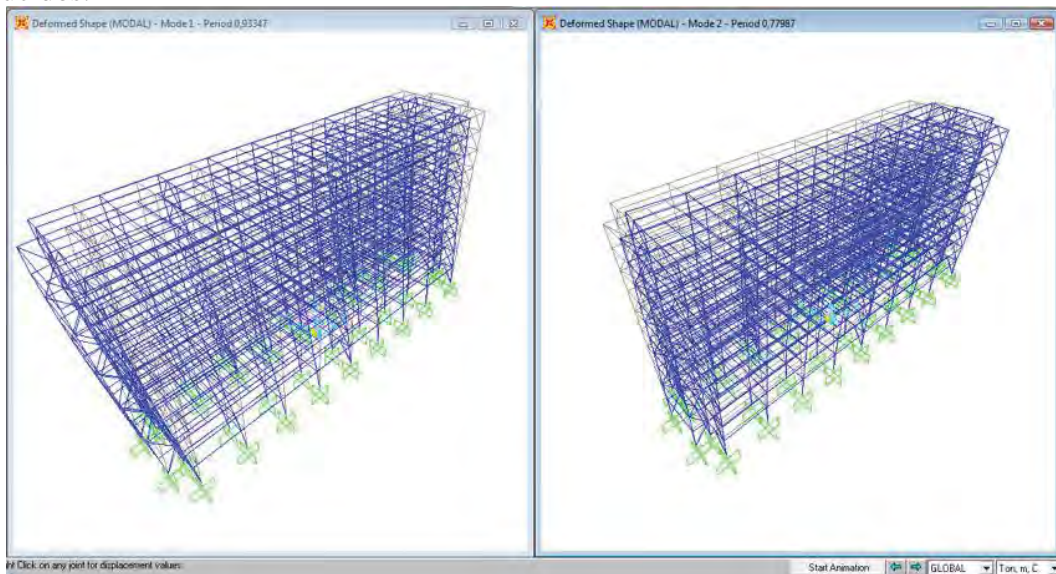


Figura 4.13.- Primer y segundo modo de vibrar de la estructura

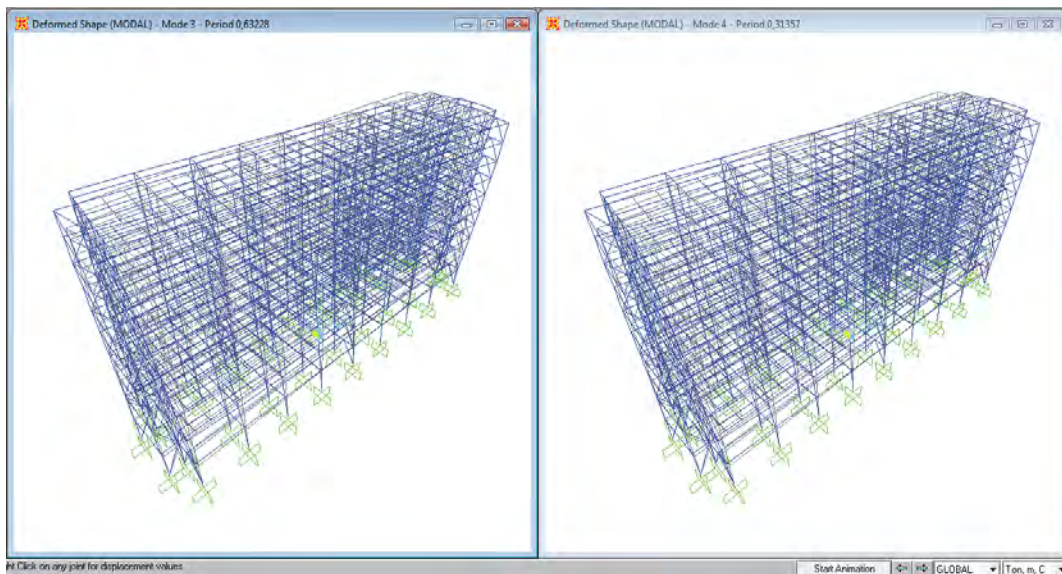


Figura 4.14.- Tercer y cuarto modo de vibrar de la estructura

Al igual que en el caso anterior se obtuvo las reacciones para el nudo 373 para realizar una comparación. Las reacciones máximas y mínimas aparecen en las **Tablas 4.5 y 4.6.** (En las **Figuras 4.15 a 4.20** se incluyen las gráficas de la **Tabla 4.5**)

Tabla 4.5.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Contravientos)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Máximas (Edificio con Contravientos)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	79.11	17.99	312.49	29.27	217.89	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	75.41	16.91	305.53	33.60	207.93	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Max	63.92	27.12	481.82	54.30	175.07	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	82.98	26.65	399.30	49.54	228.62	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	59.78	10.47	188.48	27.77	163.36	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	78.86	15.60	213.75	25.57	217.20	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	77.72	11.24	250.30	26.52	214.14	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	91.00	21.63	356.23	43.68	253.16	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	69.41	8.69	236.04	23.43	191.91	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	95.75	12.23	224.58	20.86	263.53	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	101.50	14.39	285.00	30.14	280.05	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	99.50	17.35	338.99	39.48	275.09	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	35.91	10.51	195.45	24.62	97.91	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Max	77.78	12.92	237.46	32.52	213.05	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	104.69	14.38	257.97	31.69	289.48	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	74.77	20.32	322.49	37.47	208.23	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	111.93	12.91	301.01	31.39	308.94	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	65.53	15.65	257.77	27.90	180.58	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	70.80	15.23	228.89	30.26	194.34	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Max	67.28	13.94	230.86	34.61	186.20	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Max	71.46	3.89	67.65	3.93	195.80	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	74.93	11.04	197.88	26.72	205.83	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Max	46.72	11.16	219.44	26.15	127.92	0.00
373	Promedio	Promedio	Max	77.25	14.88	265.62	30.93	212.88	0.00

Tabla 4.6.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Contravientos)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Edificio con Contravientos)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-83.35	-13.89	-297.94	-37.75	-229.35	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-68.03	-15.90	-264.29	-35.61	-187.27	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Min	-78.25	-25.49	-495.00	-57.51	-215.46	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-58.40	-23.29	-466.94	-56.69	-160.09	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-61.53	-13.30	-175.96	-21.88	-169.56	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-69.62	-12.18	-265.03	-32.75	-192.29	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-69.94	-12.59	-210.58	-23.51	-192.37	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-94.35	-20.69	-362.86	-45.63	-259.42	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-75.15	-11.23	-179.12	-18.44	-205.82	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-82.41	-9.83	-271.62	-25.87	-227.18	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-89.09	-14.32	-285.34	-30.28	-245.64	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-113.87	-18.61	-284.06	-36.64	-313.87	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-32.54	-11.79	-171.38	-22.04	-89.53	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Min	-72.53	-15.52	-174.10	-26.95	-199.26	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-76.52	-15.15	-256.16	-30.43	-212.55	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-83.79	-17.60	-303.78	-42.82	-232.22	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-115.97	-14.88	-272.89	-27.15	-320.33	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-58.56	-13.42	-246.41	-32.82	-161.62	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-55.65	-14.39	-257.72	-32.01	-153.08	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Min	-61.77	-16.52	-197.08	-29.11	-170.06	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Min	-68.91	-1.81	-92.06	-8.19	-189.03	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-64.40	-12.62	-192.26	-23.28	-176.48	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Min	-36.54	-12.37	-183.98	-23.31	-99.67	0.00
373	Promedio	Promedio	Min	-72.66	-14.67	-256.81	-31.33	-200.09	0.00

A continuación se muestra gráficamente los resultados de la **Tabla 4.5** para las reacciones máximas.

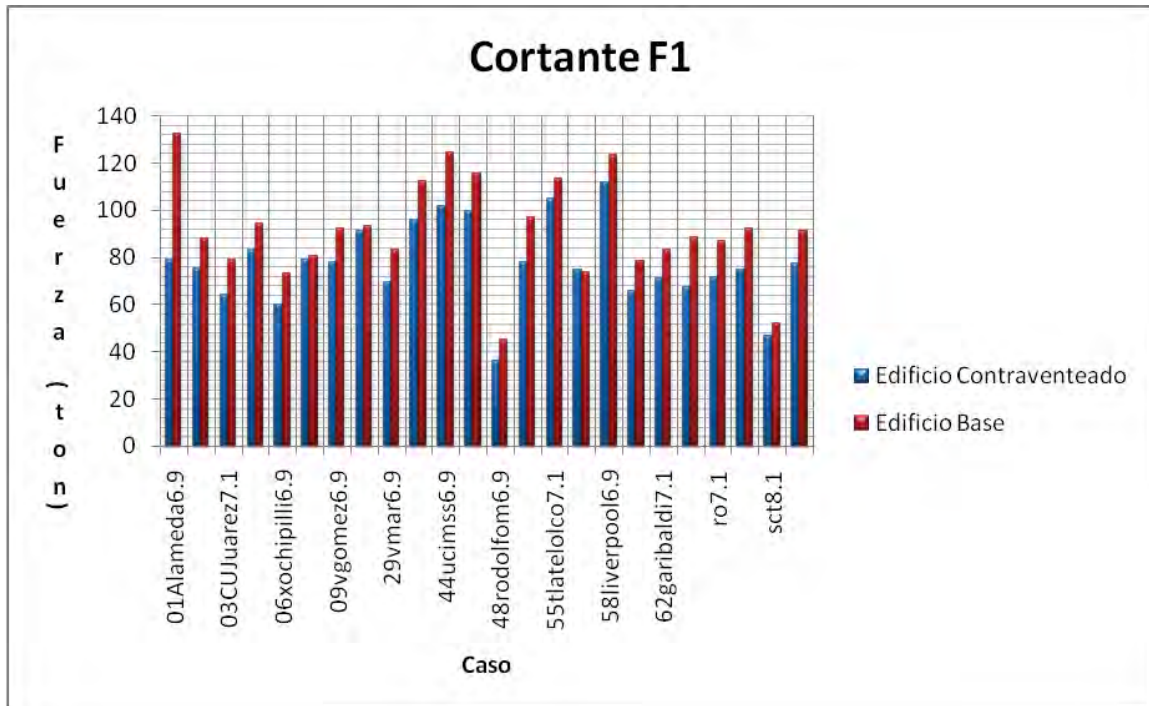


Figura 4.15.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio contraventado.

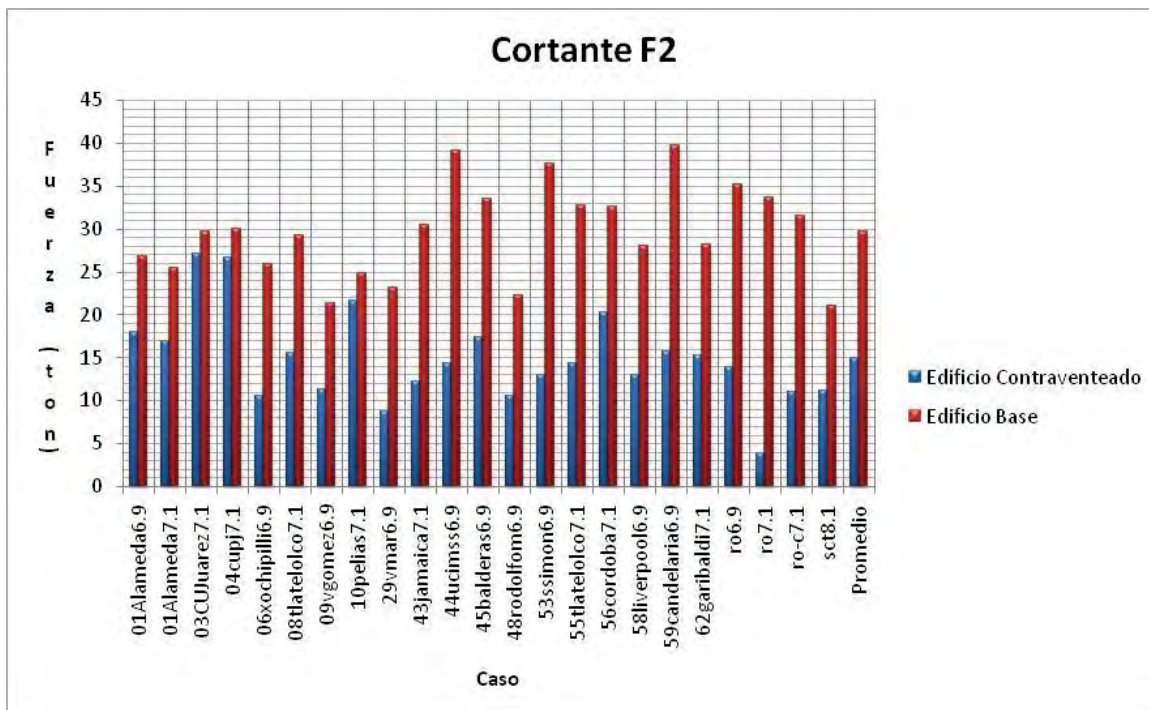


Figura 4.16.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio contraventado.

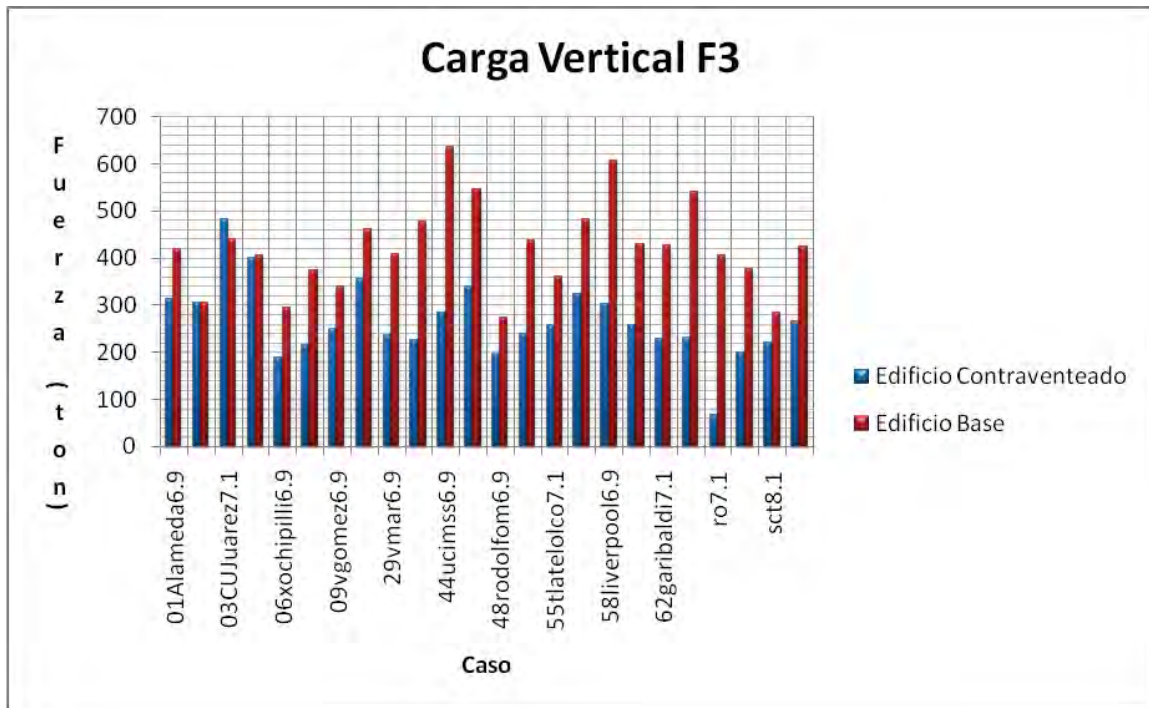


Figura 4.17.-Fuerzas verticales máximas en dirección Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio contraventado.

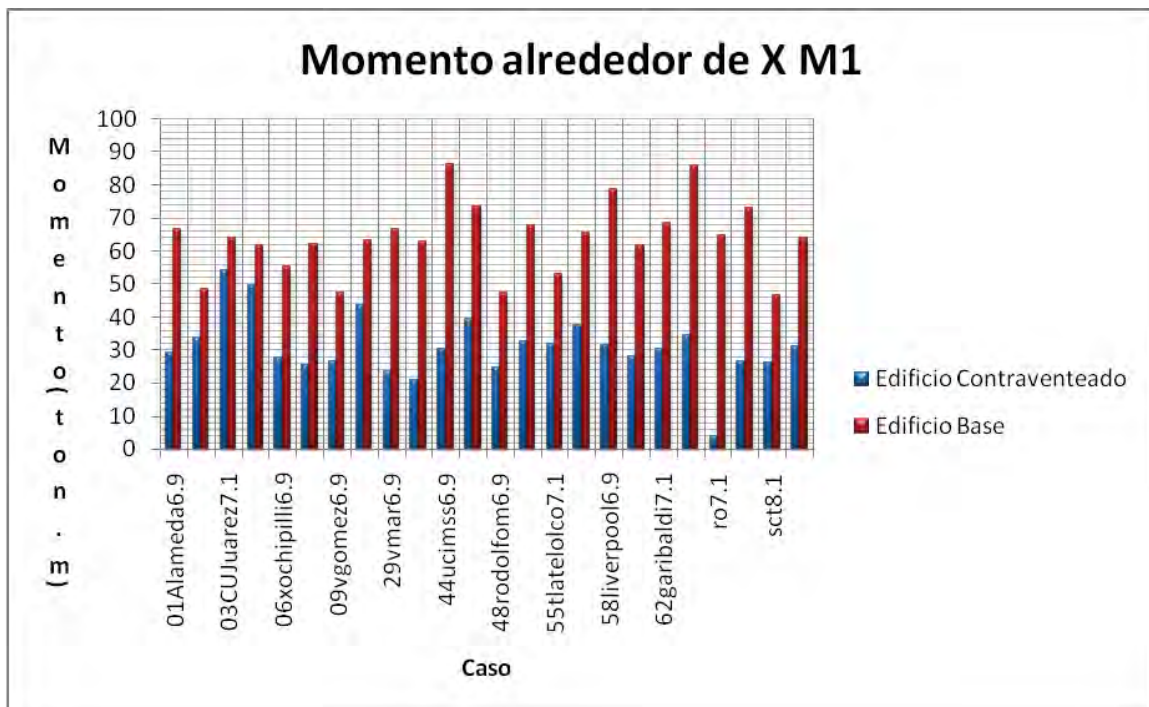


Figura 4.18.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio contraventado.

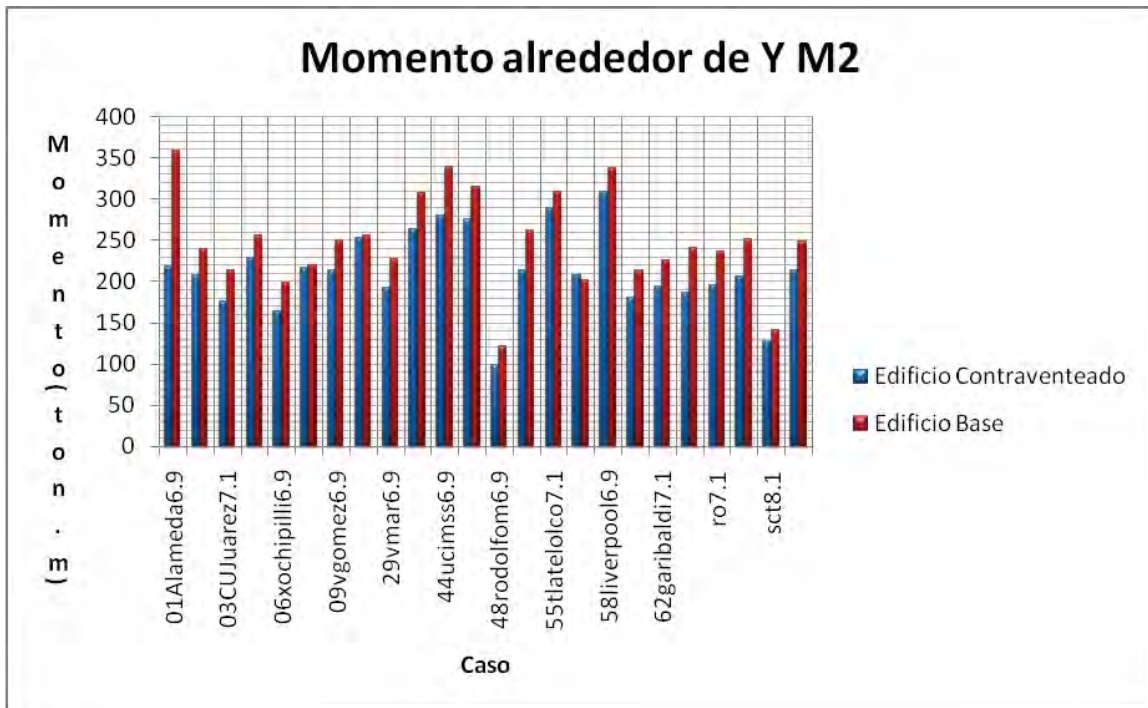


Figura 4.19.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio contraventado.

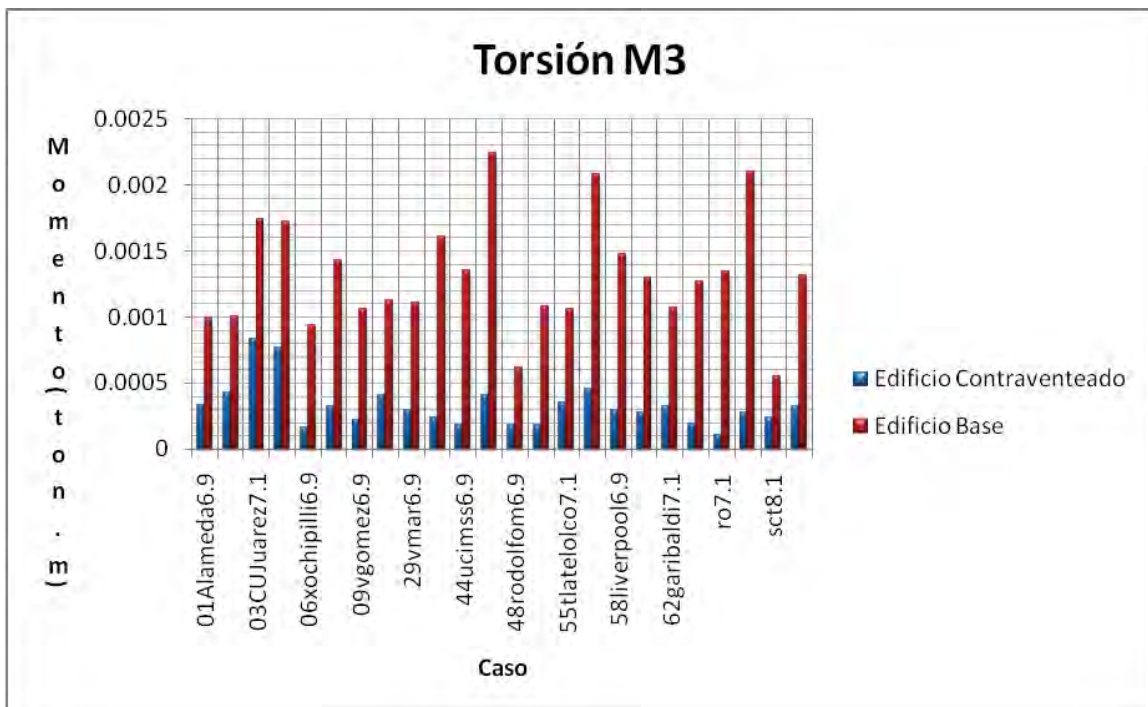


Figura 4.20.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio contraventado.

Comparando la carga vertical de los promedios (F3) únicamente se observa una disminución del 37.2% para los máximos y de 37.1% para los mínimos.

En las **Figuras 4.15 a 4.20** se observa de manera más sencilla la variación de fuerzas y momentos máximos en el apoyo ante cada uno de los acelerogramas aplicados, con lo que se ve que los contravientos reducen las reacciones para cada caso.

En este caso solo se revisan los desplazamientos en el edificio con contravientos debidos a los acelerogramas mencionados anteriormente (**Tabla 3.3**)

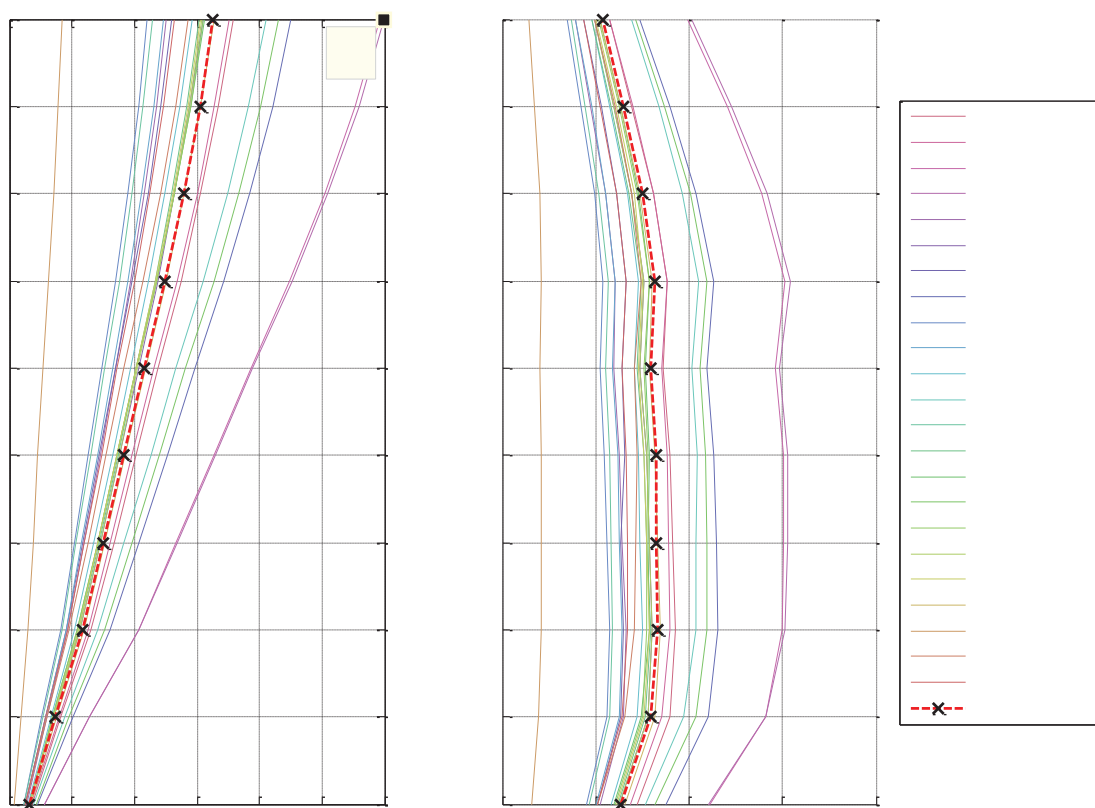


Figura4.21.- respuesta ante los acelerogramas del edificio con contravientos comunes.

En la Figura se puede observar un desplazamiento máximo de 12 cm nivel 10 producido por el acelerograma 04cpj 7.1, y también desplazamientos máximos normalizados ligeramente mayores a 0.6 de los niveles 3 al 7. Mientras el desplazamiento máximo promedio en nivel 10 es 6.52 cm y el desplazamiento normalizado máximo ronda el valor de 0.33 en los niveles 3 al 7.

5. RESPUESTA DEL MODELO CON AMORTIGUADORES VISCOSOS

5.1. Configuración estructural (ubicación de amortiguadores)

En este punto se presenta la configuración utilizada para el edificio con amortiguadores viscosos. Como la finalidad es comparar el cambio de un sistema de control pasivo por otro, se utilizó la misma configuración del edificio con contravientos convencionales. Utilizando la **Figura 5.1** se muestra en planta la ubicación de marcos con contravientos (ubicación de marcos con amortiguadores viscosos) mediante elipses de diferentes colores, cada color representa un marco con diferente configuración.

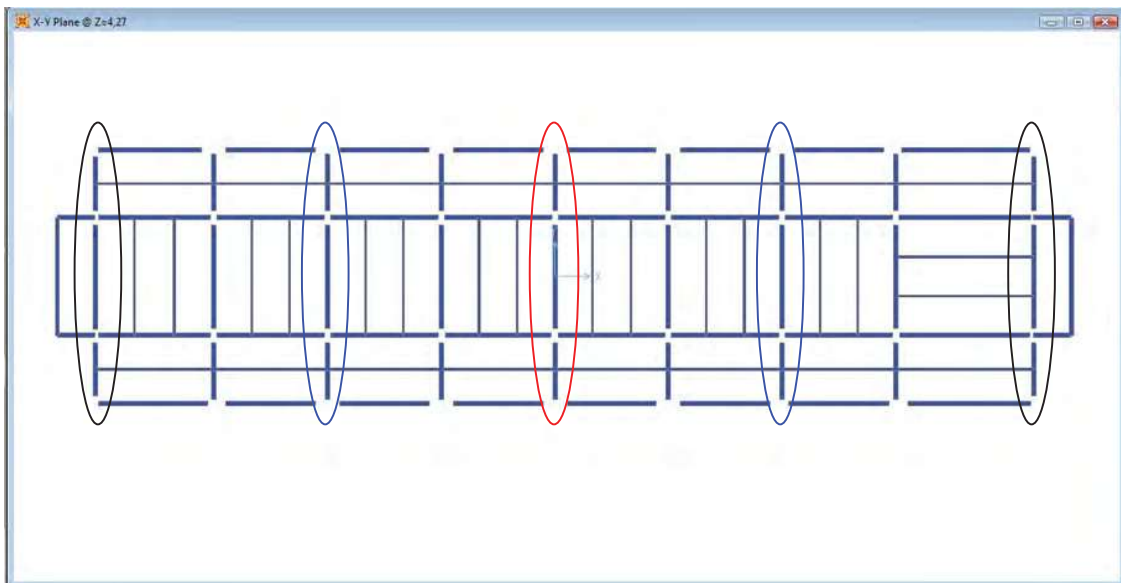


Figura 5.1.- Vista en planta primer nivel de la estructura con posición de marcos tipos con amortiguadores.

En la **Figura 5.1** se indicaron elipses de tres diferentes colores correspondientes a las configuraciones de marcos con amortiguadores. En las **Figuras 5.2 a 5.3** se muestra gráficamente las configuraciones para cada color de elipse.

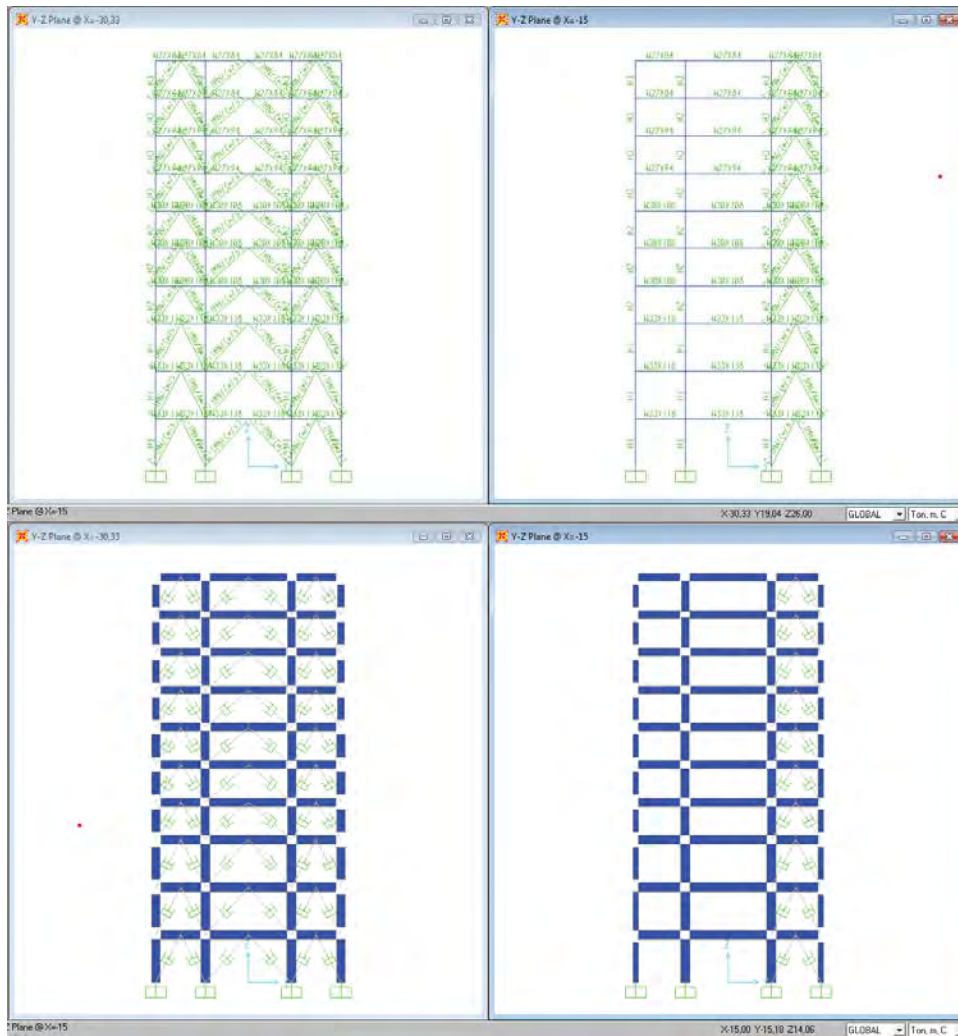


Figura 5.2.- Configuraciones de marcos con amortiguadores. A la derecha marco correspondiente a elipse azul y a la izquierda marco en color negro en Figura 5.1.

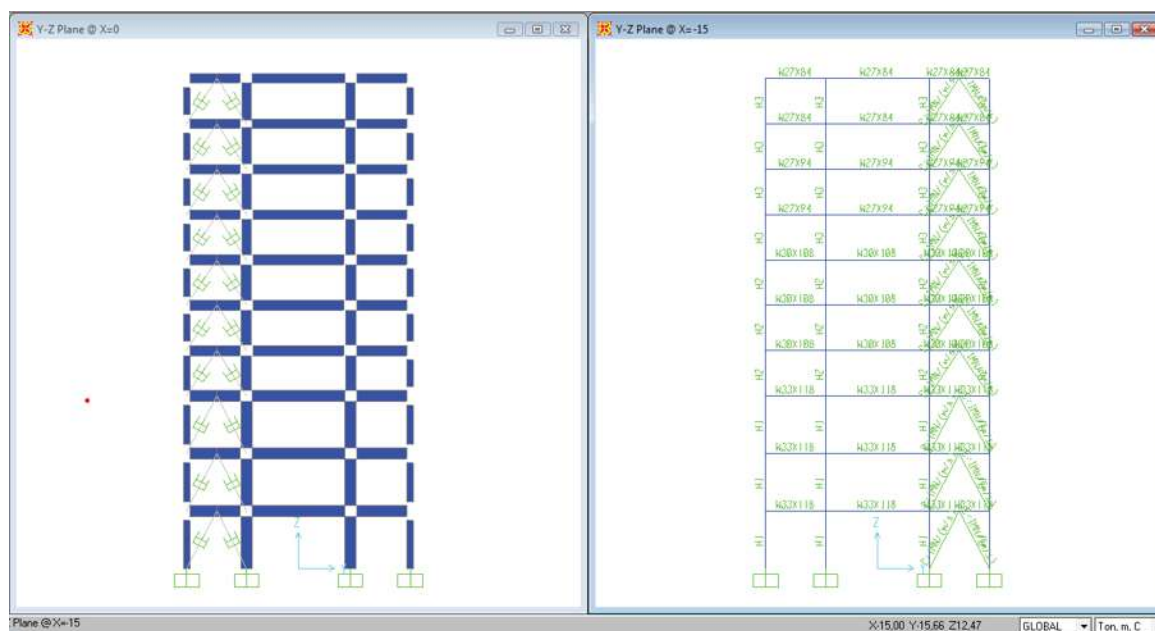


Figura 5.3.- Configuración de marco con amortiguadores. Marco correspondiente a elipse roja en Figura 5.1. A la derecha marco con nombres de las secciones y a la izquierda marco con una vista más clara de los elementos.

Por facilidad todos los amortiguadores tienen las mismas propiedades, en el caso de desear optimizar el uso de amortiguadores pueden usarse amortiguadores con diferentes propiedades como en el caso de los contravientos tradicionales.

5.2. Propiedades de los amortiguadores

Actualmente los fabricantes de amortiguadores viscosos ofrecen dar el comportamiento que se pida específicamente para cada caso en particular. Esto da la libertad de proponer amortiguadores con diferentes valores de C_n y n y sustituirlos en la **Ecuación 2.1**. Para este estudio se utilizó los amortiguadores con las siguientes propiedades ver **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1.- Propiedades de los Amortiguadores

Amortiguador	Valor de C_n (MN/(m/s))	n (adimensional)
Amortiguador 1.0	1	1
Amortiguador 1.5	1	0.5
Amortiguador 1.1	1	0.1
Amortiguador 5.0	5	1
Amortiguador 5.5	5	0.5
Amortiguador 5.1	5	0.1

5.3. Modelación de Amortiguadores Utilizando SAP10.0

En este caso la herramienta de cálculo seleccionada para modelar la estructura es el programa comercial SAP2000 v.10.1 como se mencionó anteriormente, debido a la facilidad para modelar que presenta el programa además de incluir herramientas necesarias para cada uno de los análisis llevados a cabo.

En la modelación de los amortiguadores se utilizó elementos llamados nlink. Estos elementos vienen en el SAP para modelar amortiguadores, articulaciones plásticas, elementos que sólo trabajan ya sea a tensión o compresión, aisladores de base entre otros.

Una característica de los amortiguadores que utiliza el SAP radica en un comportamiento diferente cuando se hace un análisis lineal y uno no lineal. En la **Figura 5.4** aparece la configuración de las propiedades del amortiguador para el caso lineal y no lineal.

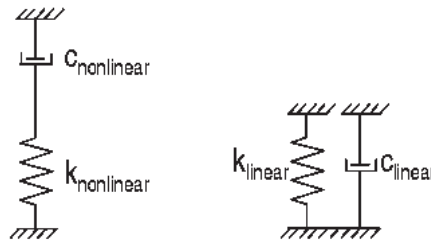


Figura 5.4.- Configuración del modelo de amortiguador: a la derecha caso lineal y a la izquierda caso no lineal.

De la **Figura 5.4** se observa en el caso lineal un sistema de resorte y amortiguador trabajando en paralelo, y en el caso del sistema no lineal un resorte y un amortiguador en serie. Es importante entender la diferencia debido a que de la elección correcta de la rigidez del resorte y del coeficiente de amortiguamiento dependerá la correcta modelación del amortiguador.

En este trabajo los amortiguadores utilizados son viscosos, por lo que se deberá lograr un comportamiento puramente viscoso.

En la **Figura 5.5** se muestran las variables necesarias para modelar un amortiguador en el SAP.

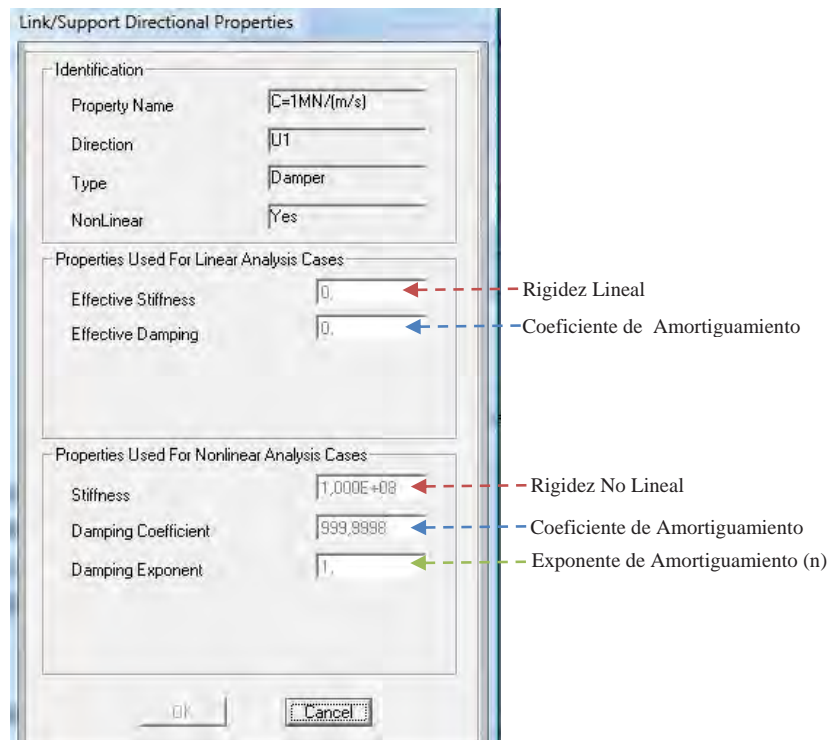


Figura 5.5.- Propiedades pedidas por el SAP para modelación de un amortiguador

Partiendo de la configuración del caso lineal (**Figura 5.4**) se sabe que para lograr modelar un amortiguador puramente viscoso con casos de análisis lineal debemos introducir una rigidez lineal de 0 y en el coeficiente de amortiguamiento el valor de amortiguamiento deseado (caso con $n=1$).

Si se desea modelar el mismo amortiguador con comportamiento viscoso puramente lineal para un análisis no lineal se tendría que introducir el valor de coeficiente de amortiguamiento deseado, un exponente de amortiguamiento de 1 y para la rigidez del resorte se recomienda usar un valor tal que $c/k \ll t$ (tomando c =coeficiente de amortiguamiento, k =rigidez del resorte no lineal y t = incremento de carga). Como ejemplo si se tiene un coeficiente de amortiguamiento de 1 y un cambio de carga de 0.01 la rigidez del resorte tiene que ser $c/t \ll k$, $1/0.01=100 \ll k$, esto es k tendrá una rigidez mayor a 100 para conseguir un amortiguador viscoso. Artículos incluidos en el SAP recomiendan usar al menos una rigidez entre 1,000 y 10,000 veces el valor de c para lograr un comportamiento viscoso. Además recomienda que c/k sea mínimo dos lugares decimales menor a t , es decir si $t=0.01$ entonces $c/k=0.0001$.

Lo anterior fueron las consideraciones para modelar un amortiguador viscoso en el SAP como ya sabemos para dar la no linealidad al amortiguador bastará con reducir el valor del exponente de amortiguamiento (n).

5.4. Respuesta sísmica

AMORTIGUADOR $C_n=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=1.0$

El primer caso de amortiguadores viscosos utilizado es un amortiguador con un coeficiente de amortiguamiento de $1 \text{ MN}/(\text{m/s})$ con un $n=1.0$, lo anterior corresponde a un amortiguador con comportamiento lineal puramente viscoso. Como primer paso se obtuvo los periodos y frecuencias del edificio. (Ver **Tabla 5.2**). Es importante mencionar que se utilizó una rigidez no lineal de $10,000 \text{ MN/m}$ para lograr el comportamiento de amortiguador lineal puramente viscoso.

Tabla 5.2.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=1\text{MN}/(\text{m/s})$, $n=1.0$

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS Amortiguador (1MN/(m/s))											
Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.
			Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec
MODAL	Mode	1	1.005537	0.99449	6.2486	MODAL	Mode	26	0.103181	9.6917	60.895
MODAL	Mode	2	0.964742	1.0365	6.5128	MODAL	Mode	27	0.101746	9.8284	61.753
MODAL	Mode	3	0.914323	1.0937	6.872	MODAL	Mode	28	0.096665	10.345	64.999
MODAL	Mode	4	0.330139	3.029	19.032	MODAL	Mode	29	0.095037	10.522	66.113
MODAL	Mode	5	0.326424	3.0635	19.249	MODAL	Mode	30	0.094114	10.625	66.762
MODAL	Mode	6	0.303307	3.297	20.716	MODAL	Mode	31	0.092993	10.754	67.566
MODAL	Mode	7	0.180586	5.5375	34.793	MODAL	Mode	32	0.091491	10.93	68.675
MODAL	Mode	8	0.174398	5.734	36.028	MODAL	Mode	33	0.090454	11.055	69.463
MODAL	Mode	9	0.162215	6.1647	38.734	MODAL	Mode	34	0.088979	11.239	70.614
MODAL	Mode	10	0.147685	6.7711	42.544	MODAL	Mode	35	0.088183	11.34	71.252
MODAL	Mode	11	0.143428	6.9721	43.807	MODAL	Mode	36	0.087476	11.432	71.828
MODAL	Mode	12	0.136641	7.3185	45.983	MODAL	Mode	37	0.087163	11.473	72.085
MODAL	Mode	13	0.130237	7.6783	48.244	MODAL	Mode	38	0.086628	11.544	72.53
MODAL	Mode	14	0.127436	7.8471	49.304	MODAL	Mode	39	0.085722	11.666	73.297
MODAL	Mode	15	0.127097	7.868	49.436	MODAL	Mode	40	0.083097	12.034	75.613
MODAL	Mode	16	0.125418	7.9733	50.098	MODAL	Mode	41	0.082845	12.071	75.842
MODAL	Mode	17	0.121811	8.2094	51.581	MODAL	Mode	42	0.082745	12.085	75.934
MODAL	Mode	18	0.120642	8.289	52.081	MODAL	Mode	43	0.082277	12.154	76.366
MODAL	Mode	19	0.117638	8.5006	53.411	MODAL	Mode	44	0.081403	12.285	77.186
MODAL	Mode	20	0.114689	8.7192	54.785	MODAL	Mode	45	0.08117	12.32	77.407
MODAL	Mode	21	0.114622	8.7243	54.816	MODAL	Mode	46	0.081057	12.337	77.515
MODAL	Mode	22	0.111423	8.9748	56.391	MODAL	Mode	47	0.080439	12.432	78.112
MODAL	Mode	23	0.107261	9.323	58.578	MODAL	Mode	48	0.079106	12.641	79.428
MODAL	Mode	24	0.10712	9.3353	58.656	MODAL	Mode	49	0.07861	12.721	79.929
MODAL	Mode	25	0.103745	9.639	60.564	MODAL	Mode	50	0.078483	12.742	80.058

En la **Figura 5.6** aparecen gráficamente los primeros modos de vibrar de la estructura, para poder realizar una comparación con los modos de vibrar del edificio sin sistema de disipación de energía.

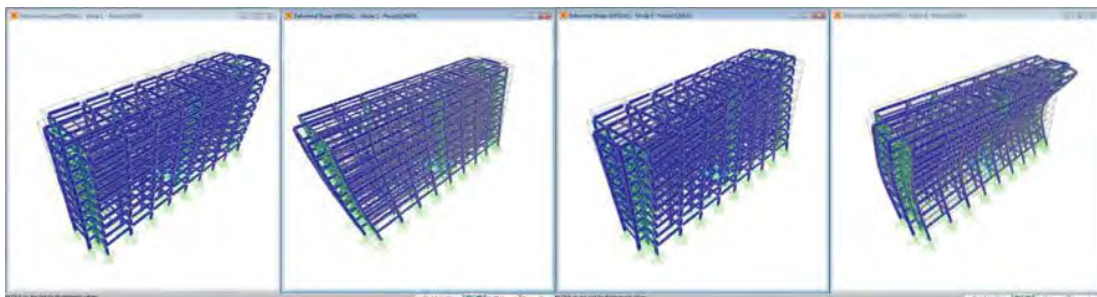


Figura 5.6.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador1.0)

Se puede observar que los primeros cuatro modos son similares para la estructura sin contravientos y para la estructura con amortiguadores viscosos. En el caso de la estructura sin contravientos los primeros cuatro periodos son 1.0055, 0.9647, 0.9143 y

0.3301 segundos coincidiendo con la estructura con amortiguadores. Se Observa ausencia de cambios en la forma de vibrar de la estructura al menos para los primeros cuatro periodos. Lo anterior era de esperarse debido a las propiedades de los amortiguadores viscosos.

Enseguida se obtuvo los desplazamientos máximos producidos en la estructura con amortiguadores (Amortiguador 1.0) debido a la acción de los acelerogramas de estudio. En la **Figura 5.7** aparecen graficados los desplazamientos máximos de entrepiso, así como también los desplazamientos máximos normalizados para nuestro caso.

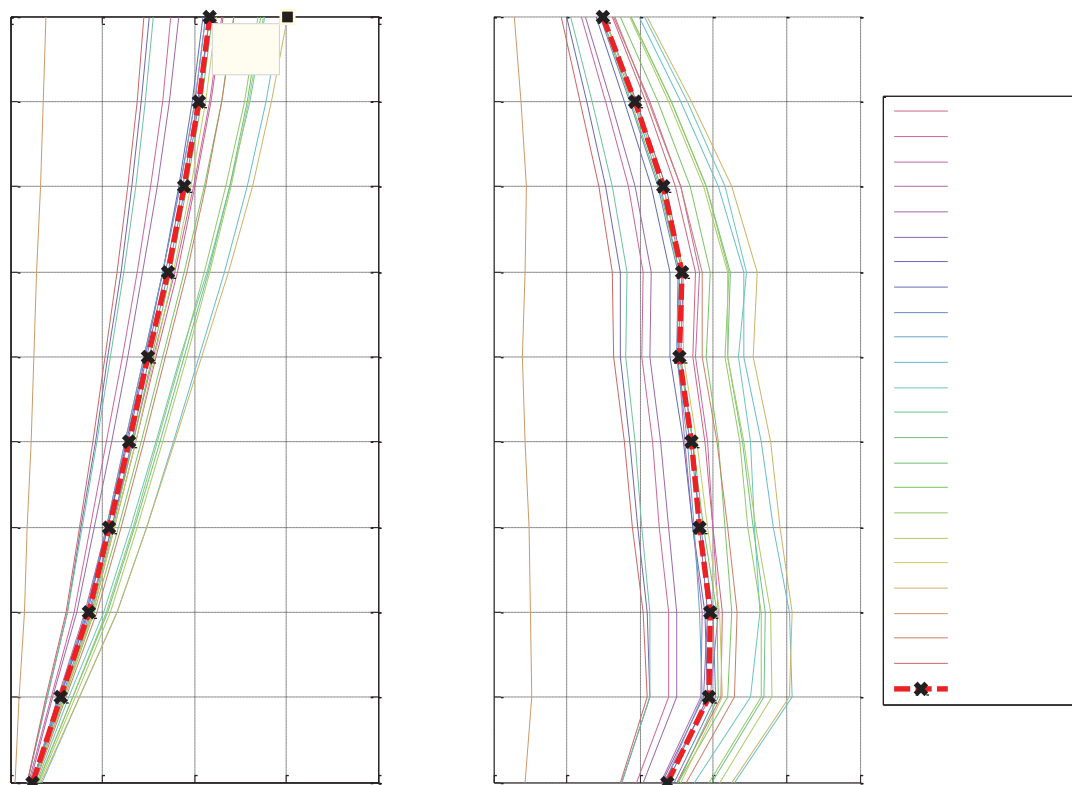


Figura 5.7 Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores1.0

De la Figura anterior podemos observar un desplazamiento promedio máximo en el decimo nivel de 10.8 cm y un desplazamiento normalizado máximo de aproximadamente 0.6 en los niveles 2 y 3.

Antes de tomar los resultados como correctos es necesario comprobar el comportamiento del amortiguador. Se Selecció seis de los acelerogramas para este efecto, los cuales son: 01Alameda6.9, 06Xochipilli6.9, 43Jamaica7.1, 55Tlatelolco7.1, RORoma6.9 y SCST8.1. Debido a que el número de amortiguadores dentro del modelo es grande se seleccionó gráficamente uno de los que presentan una fuerza mayor y que se encuentra dentro del marco YZ, $X=31.59$ m de donde se tomaron los desplazamientos para la grafica; en este caso se tomó el amortiguador 51 (Véase **Figura 5.8**). Para los siguientes

casos se utilizará el mismo amortiguador para realizar la comparación, así como los mismos acelerogramas.

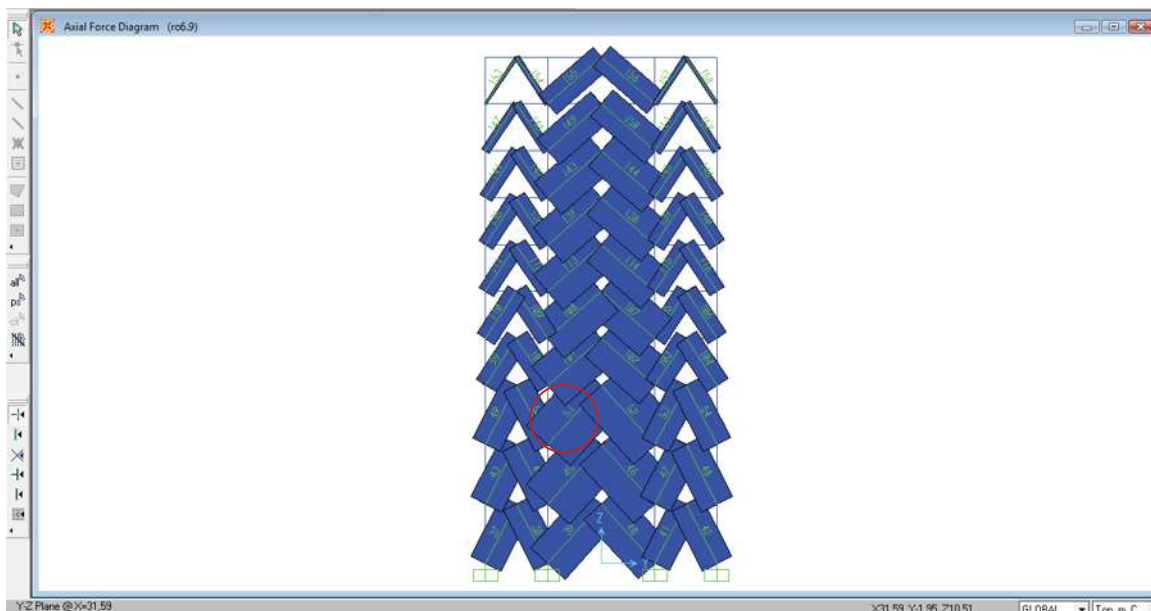


Figura 5.8.- Selección de Amortiguador con la carga axial mayor.

De la **Figura 5.9** a la **Figura 5.11** se muestran los ciclos de histéresis del amortiguador 51 ante los acelerogramas indicados. En el eje horizontal se grafican las deformaciones axiales en el amortiguador y en el vertical las fuerzas producidas en el amortiguador. En todas las graficas de ciclos histeréticos se utiliza el mismo acomodo de ejes que en este caso.

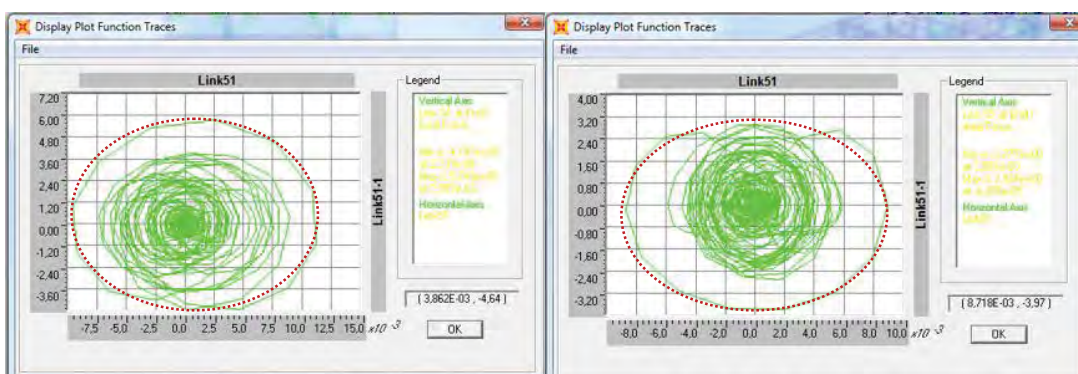


Figura 5.9.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.0).

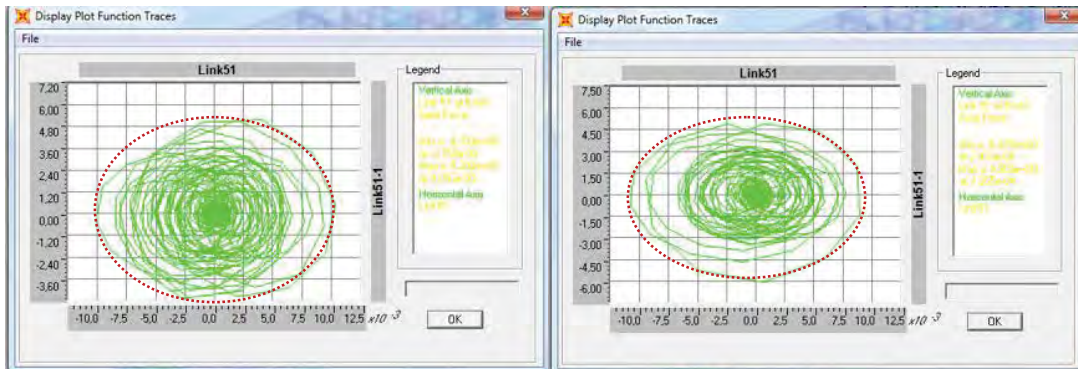


Figura 5.10.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.0).

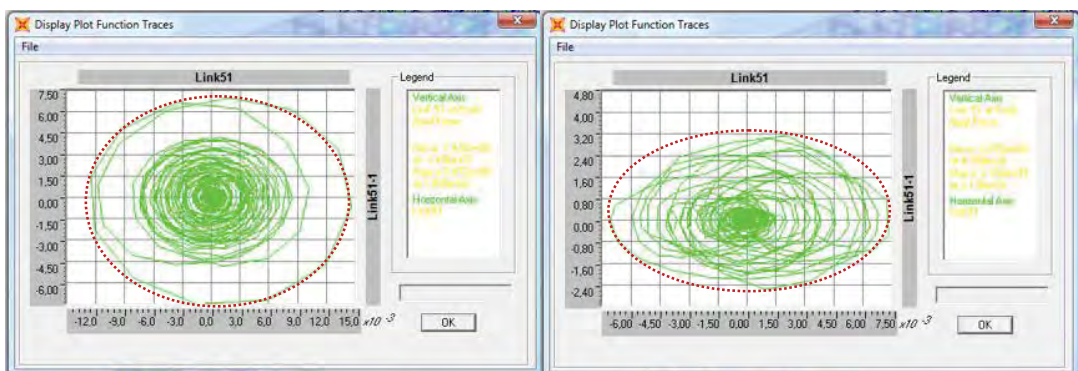


Figura 5.11.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.0).

En las Figuras anteriores se muestra mediante una línea punteada de color rojo la envolvente de los ciclos de histéresis para los seis acelerogramas seleccionados. Como se vio en los capítulos anteriores la envolvente de un amortiguador con comportamiento lineal puramente viscoso debe ser una elipse horizontal, similar a la obtenida en los ciclos de histéresis anteriores, por lo cual se toman los resultados como correctos.

Una vez comprobado el correcto comportamiento de los amortiguadores se obtuvieron las reacciones en el apoyo más crítico resultante del marco sin sistema de disipación de energía (Edificio base), a continuación en las **Tablas 5.3** y **5.4** aparecen las reacciones máximas y mínimas en el nudo 373 utilizado para la comparación. (La ubicación del **nudo 373** aparece en el **Capítulo 4 inciso 4.3**).

Tabla 5.3.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.0)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Máximas (Edificio con Amortiguadores1.0)										
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3	
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m	
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	132.18	26.42	410.85	65.20	358.98	0.00	
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	87.75	24.49	293.84	47.12	238.91	0.00	
373	03CUjarez7.1	NonModHist	Max	78.63	27.95	411.18	59.17	212.86	0.00	
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	94.07	28.08	376.38	57.01	255.74	0.00	
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	73.33	25.00	286.50	53.88	198.28	0.00	
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	80.00	28.57	355.45	59.71	217.84	0.00	
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	91.69	20.60	336.50	46.24	249.46	0.00	
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	92.98	24.63	454.75	62.08	255.06	0.00	
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	82.83	22.25	396.29	64.59	225.79	0.00	
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	112.11	28.98	450.28	59.03	305.53	0.00	
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	123.74	38.63	629.85	85.55	337.17	0.00	
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	114.30	31.78	530.13	71.34	311.56	0.00	
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	44.75	21.95	267.04	46.34	120.75	0.00	
373	53ssimon6.9	NonModHist	Max	96.86	37.15	435.21	67.21	262.55	0.00	
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	112.36	31.79	351.39	50.30	306.74	0.00	
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	73.42	30.54	463.83	62.44	201.36	0.00	
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	123.15	26.21	585.95	75.79	335.42	0.00	
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	78.22	38.51	416.88	60.23	212.54	0.00	
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	83.08	26.97	416.36	67.04	225.30	0.00	
373	ro6.9	NonModHist	Max	87.69	34.27	532.26	85.02	239.43	0.00	
373	ro7.1	NonModHist	Max	87.91	5.69	81.09	3.62	238.26	0.00	
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	92.12	29.37	357.46	69.05	250.98	0.00	
373	sct8.1	NonModHist	Max	51.76	21.35	279.72	45.71	140.13	0.00	
373	Promedio	Promedio	Max	91.08	27.44	396.49	59.29	247.85	0.00	
373	Edificio Base	Promedio	Max	91.379	29.64	422.99	63.936	248.65	0.0013	
		Diferencia %	Max		0.3	7.4	6.3	7.3	0.3	16.5

Tabla 5.4.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores1.0)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Edificio con Amortiguadores1.0)										
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3	
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m	
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-82.88	-30.98	-344.81	-55.58	-225.96	0.00	
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-71.15	-22.44	-307.10	-51.30	-193.26	0.00	
373	03CUjarez7.1	NonModHist	Min	-91.84	-27.82	-430.13	-58.91	-248.52	0.00	
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-72.92	-26.97	-387.87	-59.15	-198.28	0.00	
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-73.30	-25.71	-288.07	-52.35	-199.69	0.00	
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-80.47	-28.33	-413.12	-60.19	-219.35	0.00	
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-81.65	-22.15	-313.99	-43.24	-221.87	0.00	
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-113.11	-29.51	-318.28	-51.84	-307.16	0.00	
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-94.14	-30.79	-334.09	-46.83	-254.60	0.00	
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-110.65	-27.94	-473.31	-60.90	-301.92	0.00	
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-109.78	-40.58	-548.24	-81.30	-298.85	0.00	
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-118.72	-33.55	-485.10	-67.53	-323.58	0.00	
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-37.07	-22.14	-257.77	-45.82	-100.09	0.00	
373	53ssimon6.9	NonModHist	Min	-91.94	-32.09	-481.25	-78.13	-249.64	0.00	
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-84.39	-23.85	-374.40	-66.51	-230.68	0.00	
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-79.54	-29.43	-501.42	-64.79	-217.35	0.00	
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-126.00	-35.89	-412.77	-55.16	-342.68	0.00	
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-75.63	-28.84	-485.42	-80.81	-205.95	0.00	
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-62.62	-31.97	-364.20	-56.56	-170.06	0.00	
373	ro6.9	NonModHist	Min	-81.71	-40.35	-451.92	-72.20	-222.27	0.00	
373	ro7.1	NonModHist	Min	-89.43	-1.66	-131.26	-11.75	-242.54	0.00	
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-78.93	-32.82	-372.48	-62.05	-215.06	0.00	
373	sct8.1	NonModHist	Min	-44.35	-21.90	-278.59	-44.61	-119.81	0.00	
373	Promedio	Promedio	Min	-84.88	-28.16	-380.68	-57.72	-230.83	0.00	
373	Edificio Base	Promedio	Min	-85.321	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	-0.001	
		Diferencia %	Min		0.5	7.3	6.7	7.5	0.5	16.5

Comparando el promedio de las reacciones de los 23 acelerogramas del edificio con amortiguadores (Amortiguador 1.0) y sin amortiguadores (Edificio Base), se observa una disminución de las cargas transmitidas a la cimentación. El cortante (F2) en este caso cortante en dirección Y (Dirección de interés) se ve reducido en un 7 %, la carga vertical (F3) es reducida en un 6 % y el momento M1 (alrededor de X) se reduce en un 7 %.

A continuación se muestran las graficas de la **Tabla 5.3** para dar una mejor idea de la disminución de las reacciones.

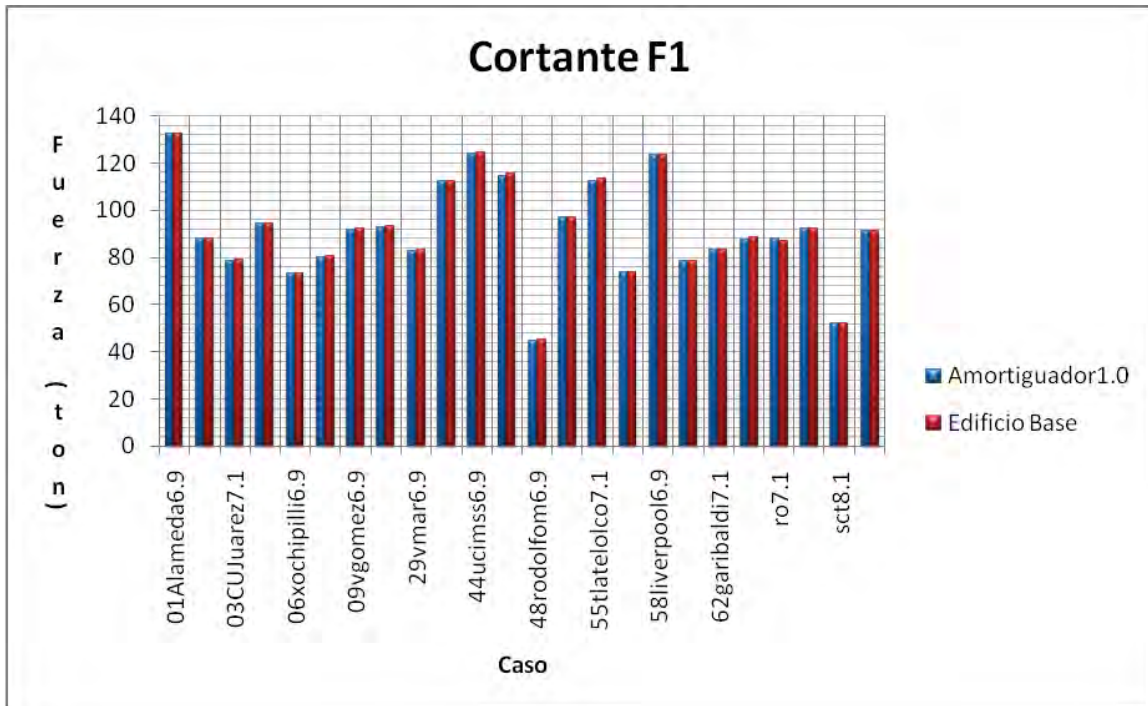


Figura 5.12.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.

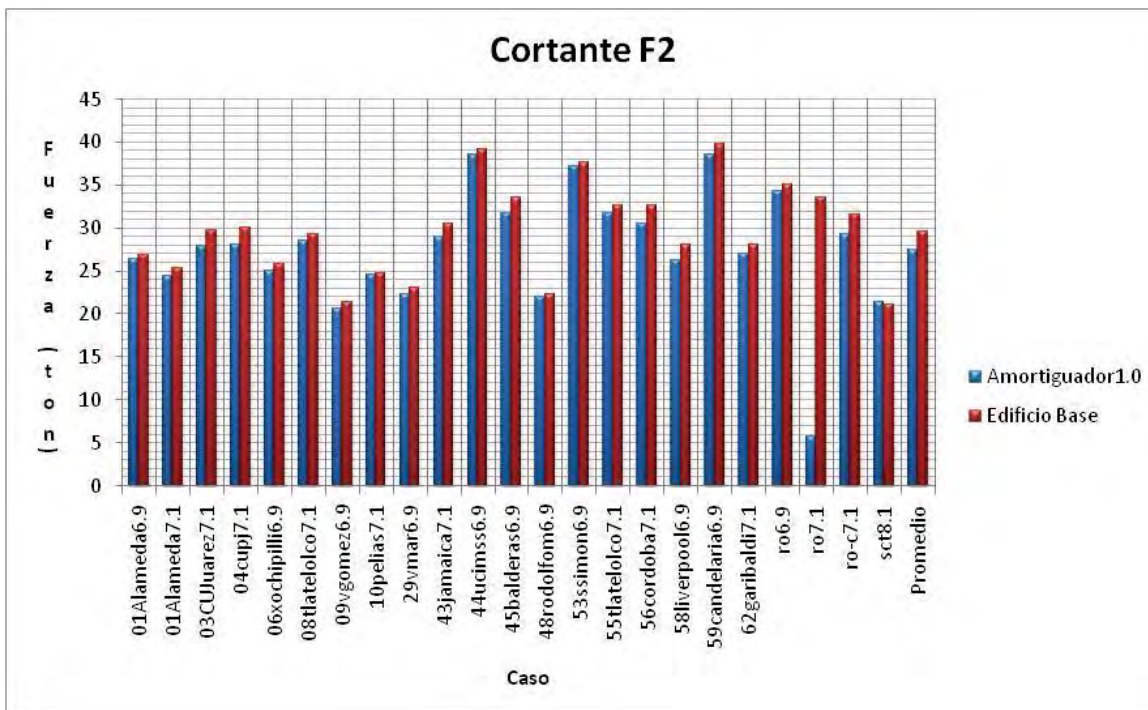


Figura 5.13.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.

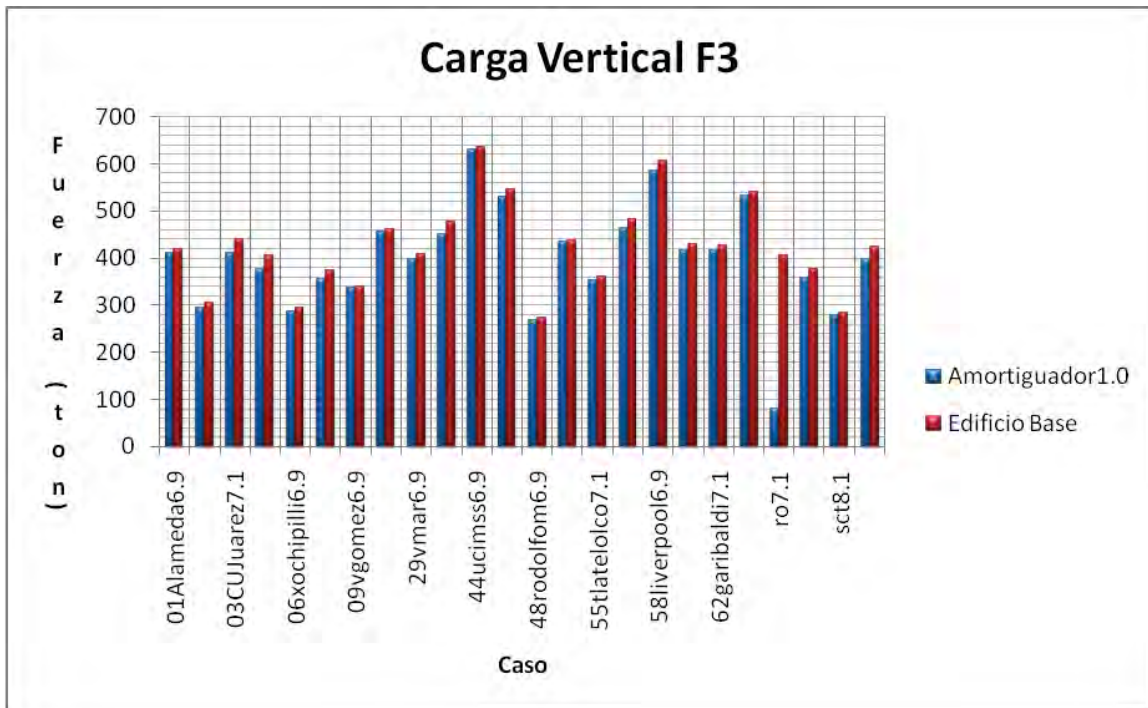


Figura 5.14.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.

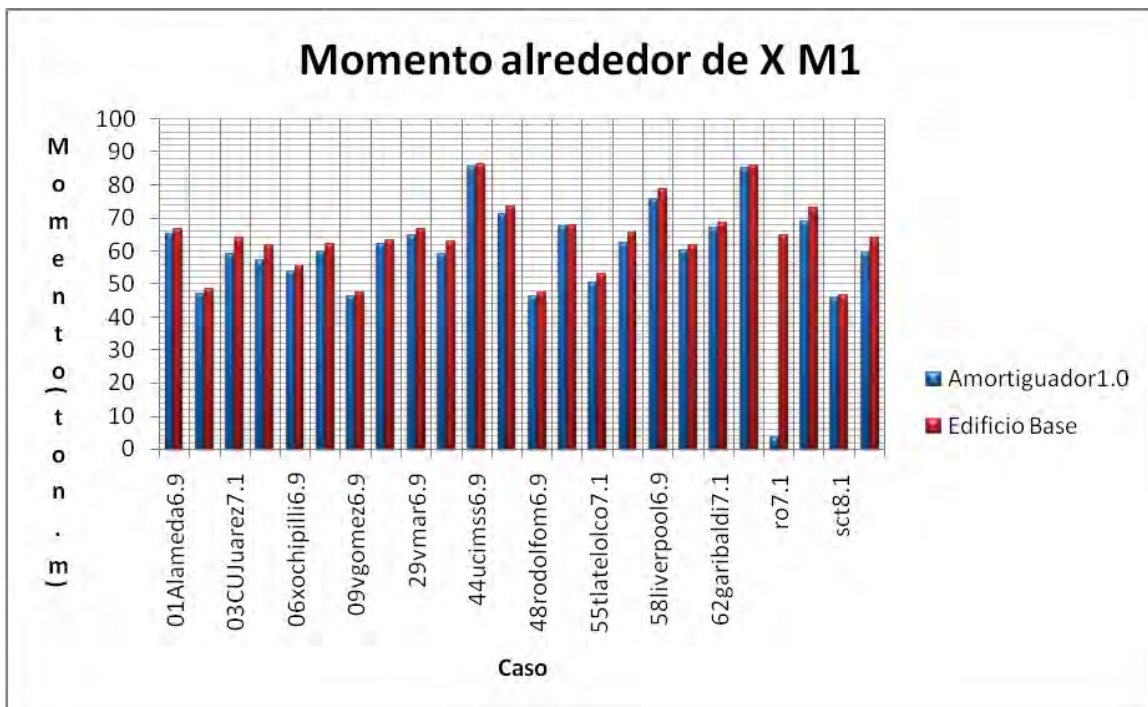


Figura 5.15.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.

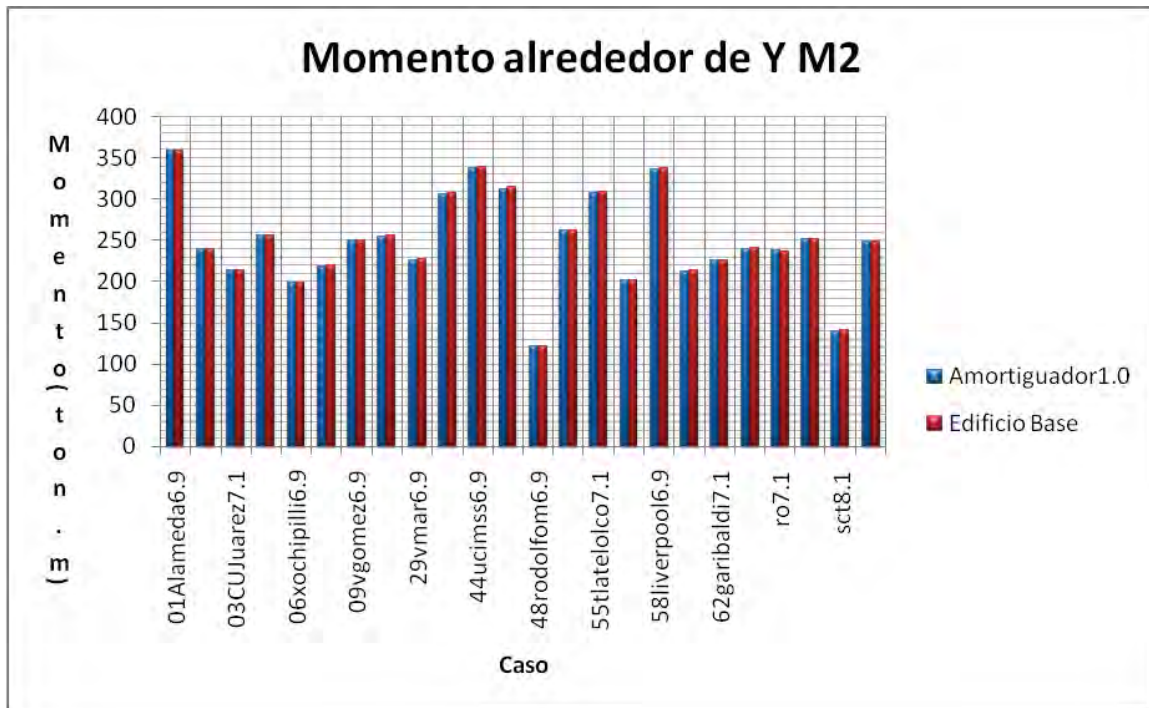


Figura 5.16.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.

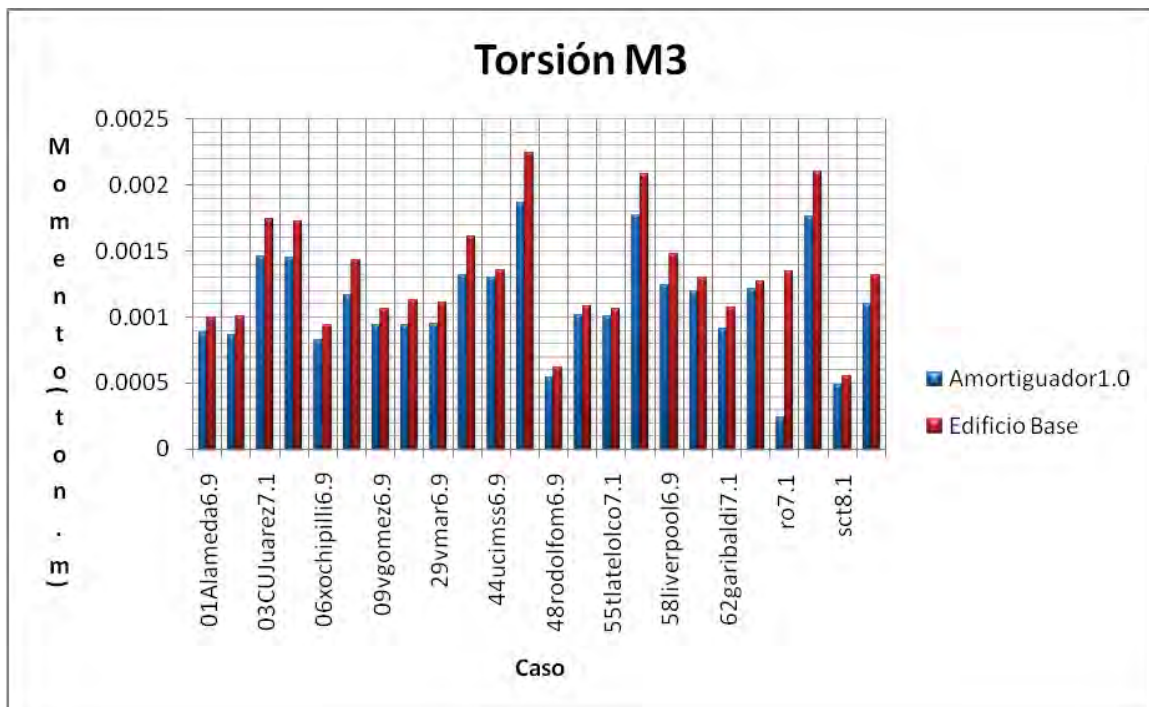


Figura 5.17.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.0.

En las **Figuras 5.12 a 5.17** se apreció una disminución de las reacciones de poca importancia, solo en el caso de ro7.1 se observó una disminución bastante grande para las reacciones en dirección Y y en dirección vertical, así como también en el momento alrededor de X.

AMORTIGUADOR $C_n=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=0.5$

Una vez realizado el análisis lineal se procedió al caso no lineal, esto se logró reduciendo el exponente de amortiguamiento (n) de 1.0 a 0.5, y conservando el mismo valor de coeficiente de amortiguamiento $C=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$, así como la misma rigidez no lineal de $10,000 \text{ MN}/(\text{m/s})$. Como primer paso se obtuvo los periodos y las frecuencias del edificio con amortiguadores (Amortiguador 1.5) presentados en la **Tabla 5.5**.

Tabla 5.5.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=0.5$

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS Amortiguador ($C_n=1\text{MN}/(\text{m/s})$, $n=0.5$)												
Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	
			Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec	
MODAL	Mode	1	1.005537	0.99449	6.2486	MODAL	Mode	26	0.103181	9.6917	60.895	
MODAL	Mode	2	0.964742	1.0365	6.5128	MODAL	Mode	27	0.101746	9.8284	61.753	
MODAL	Mode	3	0.914323	1.0937	6.872	MODAL	Mode	28	0.096665	10.345	64.999	
MODAL	Mode	4	0.330139	3.029	19.032	MODAL	Mode	29	0.095037	10.522	66.113	
MODAL	Mode	5	0.326424	3.0635	19.249	MODAL	Mode	30	0.094114	10.625	66.762	
MODAL	Mode	6	0.303307	3.297	20.716	MODAL	Mode	31	0.092993	10.754	67.566	
MODAL	Mode	7	0.180586	5.5375	34.793	MODAL	Mode	32	0.091491	10.93	68.675	
MODAL	Mode	8	0.174398	5.734	36.028	MODAL	Mode	33	0.090454	11.055	69.463	
MODAL	Mode	9	0.162215	6.1647	38.734	MODAL	Mode	34	0.088979	11.239	70.614	
MODAL	Mode	10	0.147685	6.7711	42.544	MODAL	Mode	35	0.088183	11.34	71.252	
MODAL	Mode	11	0.143428	6.9721	43.807	MODAL	Mode	36	0.087476	11.432	71.828	
MODAL	Mode	12	0.136641	7.3185	45.983	MODAL	Mode	37	0.087163	11.473	72.085	
MODAL	Mode	13	0.130237	7.6783	48.244	MODAL	Mode	38	0.086628	11.544	72.53	
MODAL	Mode	14	0.127436	7.8471	49.304	MODAL	Mode	39	0.085722	11.666	73.297	
MODAL	Mode	15	0.127097	7.868	49.436	MODAL	Mode	40	0.083097	12.034	75.613	
MODAL	Mode	16	0.125418	7.9733	50.098	MODAL	Mode	41	0.082845	12.071	75.842	
MODAL	Mode	17	0.121811	8.2094	51.581	MODAL	Mode	42	0.082745	12.085	75.934	
MODAL	Mode	18	0.120642	8.289	52.081	MODAL	Mode	43	0.082277	12.154	76.366	
MODAL	Mode	19	0.117638	8.5006	53.411	MODAL	Mode	44	0.081403	12.285	77.186	
MODAL	Mode	20	0.114689	8.7192	54.785	MODAL	Mode	45	0.08117	12.32	77.407	
MODAL	Mode	21	0.114622	8.7243	54.816	MODAL	Mode	46	0.081057	12.337	77.515	
MODAL	Mode	22	0.111423	8.9748	56.391	MODAL	Mode	47	0.080439	12.432	78.112	
MODAL	Mode	23	0.107261	9.323	58.578	MODAL	Mode	48	0.079106	12.641	79.428	
MODAL	Mode	24	0.10712	9.3353	58.656	MODAL	Mode	49	0.07861	12.721	79.929	
MODAL	Mode	25	0.103745	9.639	60.564	MODAL	Mode	50	0.078483	12.742	80.058	

Además de la tabla anterior se obtuvo gráficamente los primeros cuatro periodos del edificio para poder hacer la comparación con el Edificio Base. En la **Figura 5.9** aparecen gráficamente los resultados.

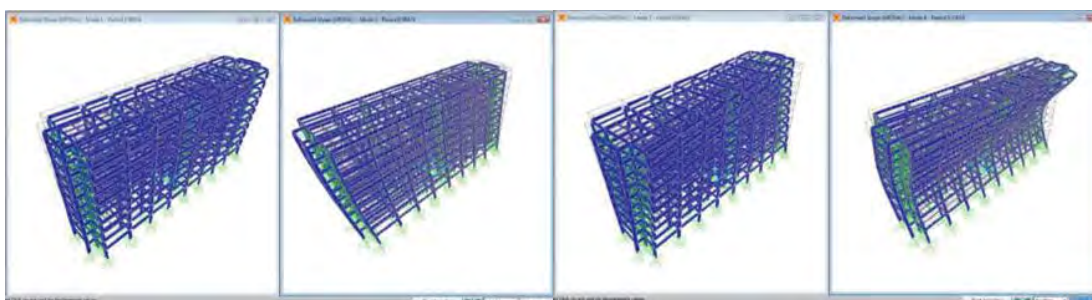


Figura 5.18.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador 1.5)

De la **Figura 5.18** se observó que los primeros cuatro periodos son en las mismas direcciones que para el Edificio Base, y de la comparación de las **Tablas 5.5** y **4.1** se concluyó que no hay cambio en los periodos de la estructura al agregar los amortiguadores (Amortiguador 1.5), lo cual era de esperarse (ver **Capítulo 6** inciso **6.1**).

Una vez revisada la ausencia de cambios en los periodos de la estructura es también necesario verificar el comportamiento de los amortiguadores. Para lo anterior se utilizó el amortiguador 51 del modelo bajo la acción de los seis acelerogramas mencionados en el caso anterior. Los ciclos de histéresis obtenidos se muestran en las **Figuras 5.19 a 5.21**.

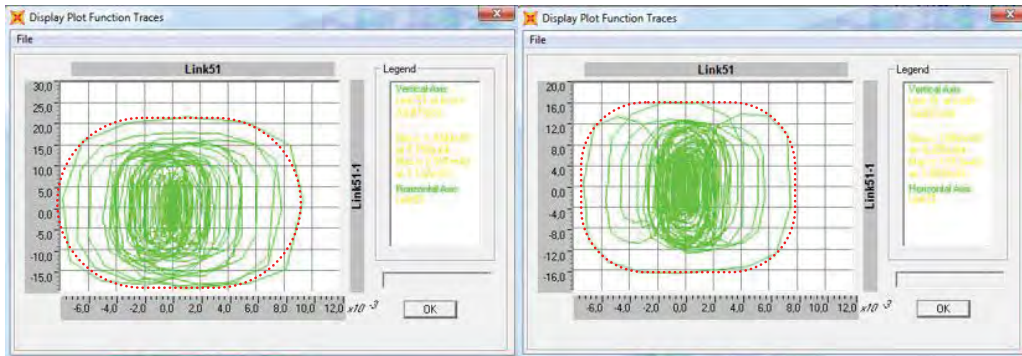


Figura 5.19.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.5).

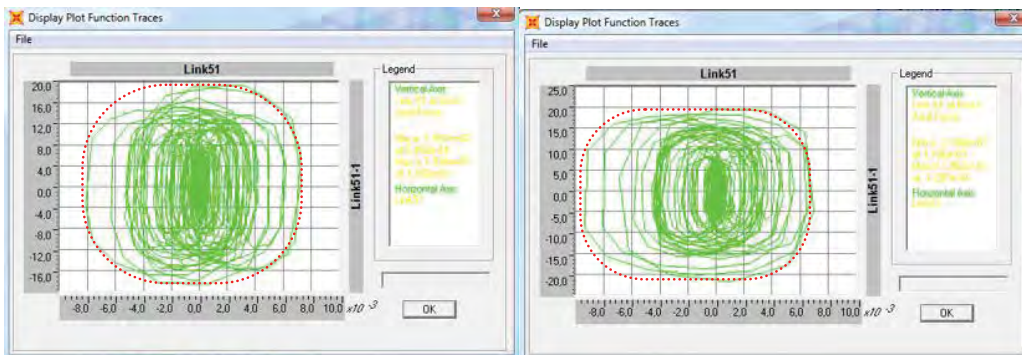


Figura 5.20.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.5).

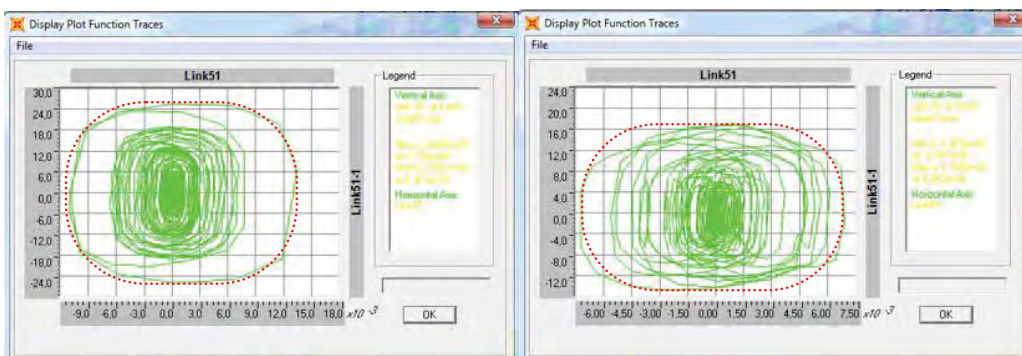


Figura 5.21.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.5).

En las figuras anteriores se observa en línea punteada de color rojo la envolvente de los ciclos de histéresis para los seis acelerogramas, hay un cambio la elipse se torna un poco más a una forma rectangular lo cual indica un comportamiento ligeramente no lineal. Una vez comprobado el comportamiento de los amortiguadores se procede a graficar los desplazamientos máximos en el edificio (Véase **Figura 5.22**)

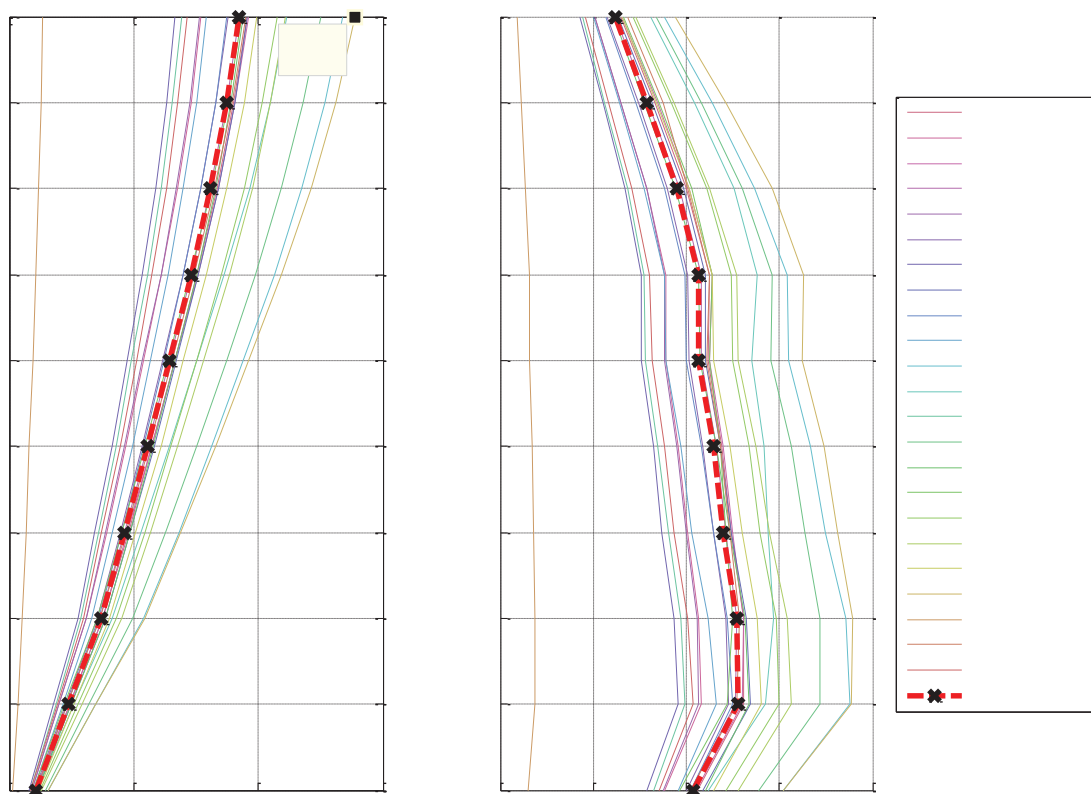


Figura 5.22.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores 1.5

En la **Figura 5.22** se graficaron los desplazamientos máximos del edificio a mano izquierda y los desplazamientos normalizados relativos de entrepiso a mano derecha. De la **Figura 5.22** se observa la respuesta máxima para el acelerograma de ROrama6.9 con un desplazamiento en el último nivel de 13.85 cm. El desplazamiento promedio en el último nivel es de aproximadamente 9 cm, y los desplazamientos normalizados relativos de entrepiso máximos se encuentran en el segundo y tercer piso los cuales son aproximadamente 0.5 del permisible.

En las **Tablas 5.6** y **5.7** se muestran las reacciones máximas y mínimas para los veintitrés acelerogramas en el apoyo seleccionado anteriormente.

Tabla 5.6.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 1.5)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Máximas (Edificio con Amortiguadores 1.5)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	130.52	22.28	348.67	55.35	354.44	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	84.61	22.27	251.05	41.29	230.30	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Max	76.06	23.81	369.98	54.92	205.82	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	92.66	23.27	308.38	54.06	251.88	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	72.04	21.45	244.87	46.40	194.80	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	79.65	24.95	275.53	48.28	216.40	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	87.67	18.51	308.45	41.27	238.45	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	91.29	23.54	422.89	57.27	250.37	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	79.70	17.52	336.33	53.83	216.34	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	107.74	23.96	357.54	42.91	293.58	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	120.14	35.53	580.86	79.35	327.26	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	109.03	24.99	438.44	57.92	297.12	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	44.28	21.02	223.21	41.29	119.45	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Max	97.43	34.78	420.70	65.17	264.13	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	107.31	27.94	310.87	41.74	292.94	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	71.55	22.26	377.34	50.01	196.20	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	119.08	19.70	483.74	63.35	324.32	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	76.01	32.24	368.19	52.33	206.69	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	82.05	25.51	364.17	60.47	222.45	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Max	83.53	31.65	490.59	79.65	228.06	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Max	86.20	3.95	71.46	1.10	233.55	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	91.64	21.16	278.35	53.62	250.29	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Max	50.34	21.66	267.18	43.46	136.26	0.00
373	Promedio	Promedio	Max	88.72	23.65	343.43	51.52	241.35	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Max	91.38	29.6	423	63.936	248.65	0.0013
		Diferencia %	Max	2.9	20.2	18.8	19.4	2.9	50.3

Tabla 5.7.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 1.5)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Edificio con Amortiguadores 1.5)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-79.60	-26.33	-287.37	-46.80	-216.48	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-70.03	-19.79	-274.35	-46.64	-190.10	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Min	-89.65	-26.05	-390.48	-50.49	-242.48	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-68.86	-25.76	-315.63	-49.09	-187.17	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-68.28	-22.18	-253.51	-44.87	-185.92	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-76.94	-22.95	-356.57	-52.47	-209.75	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-77.03	-19.66	-269.52	-38.53	-209.28	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-108.94	-27.24	-298.70	-49.50	-295.72	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-92.79	-25.71	-250.07	-36.78	-250.92	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-103.33	-20.35	-401.33	-50.26	-281.97	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-106.96	-37.67	-499.45	-74.69	-291.08	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-114.09	-27.24	-367.44	-52.31	-310.87	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-37.02	-19.88	-244.69	-43.84	-100.31	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Min	-91.64	-30.99	-440.32	-73.07	-248.88	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-78.78	-20.00	-325.90	-58.37	-215.31	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-78.43	-23.57	-368.21	-47.01	-214.28	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-119.29	-30.04	-328.10	-41.68	-324.42	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-72.01	-25.15	-398.26	-67.52	-196.02	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-60.31	-28.87	-347.17	-53.57	-163.67	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Min	-77.15	-37.84	-398.04	-66.46	-209.78	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Min	-87.83	-0.50	-123.05	-8.18	-238.17	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-75.01	-25.51	-258.57	-44.67	-204.30	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Min	-43.10	-20.80	-281.90	-45.27	-116.42	0.00
373	Promedio	Promedio	Min	-81.61	-24.53	-325.16	-49.65	-221.88	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Min	-85.321	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	-0.001
		Diferencia %	Min	4.3	19.2	20.3	20.4	4.4	50.9

Comparando el promedio de las reacciones de los 23 acelerogramas del edificio con amortiguadores (Amortiguador 1.5) y sin amortiguadores (Edificio Base), se observa una disminución de las cargas transmitidas a la cimentación. El cortante (F2) en este caso cortante en dirección Y (Dirección de interés) se ve reducido en un 19-20%, la carga vertical (F3) es reducida en un 19-20% y el momento M1 (alrededor de X) se reduce en un 19-20%.

A continuación se muestra gráficamente los datos de la **Tabla 5.6**.

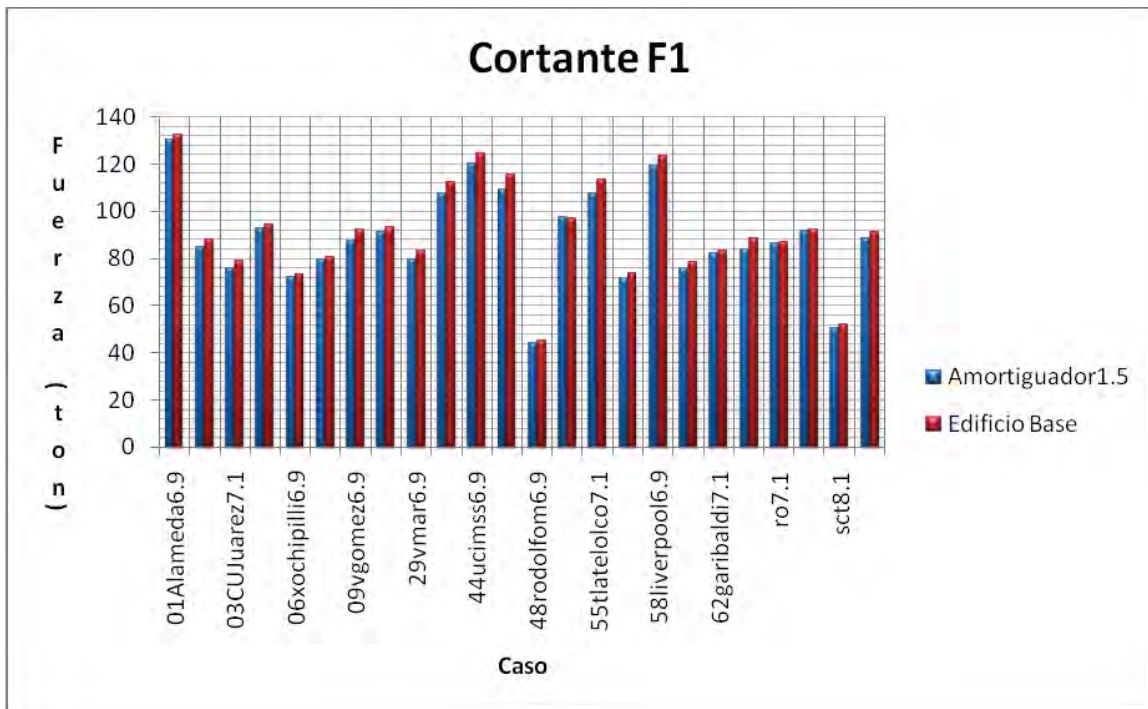


Figura 5.23.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.

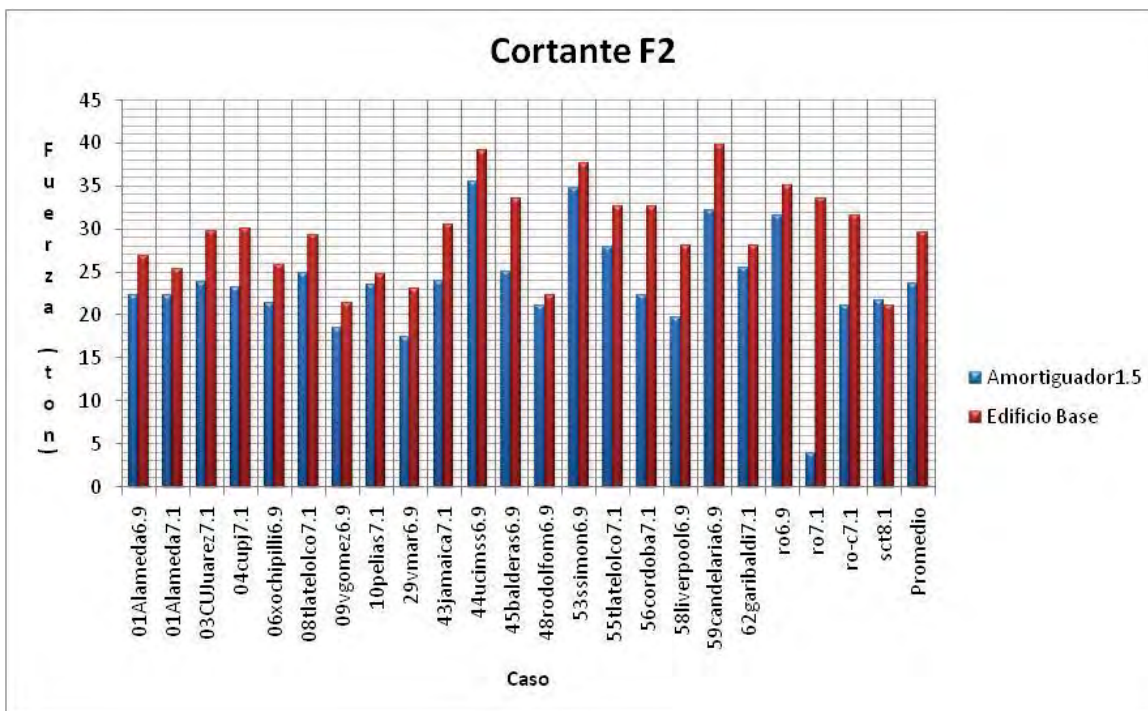


Figura 5.24.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.

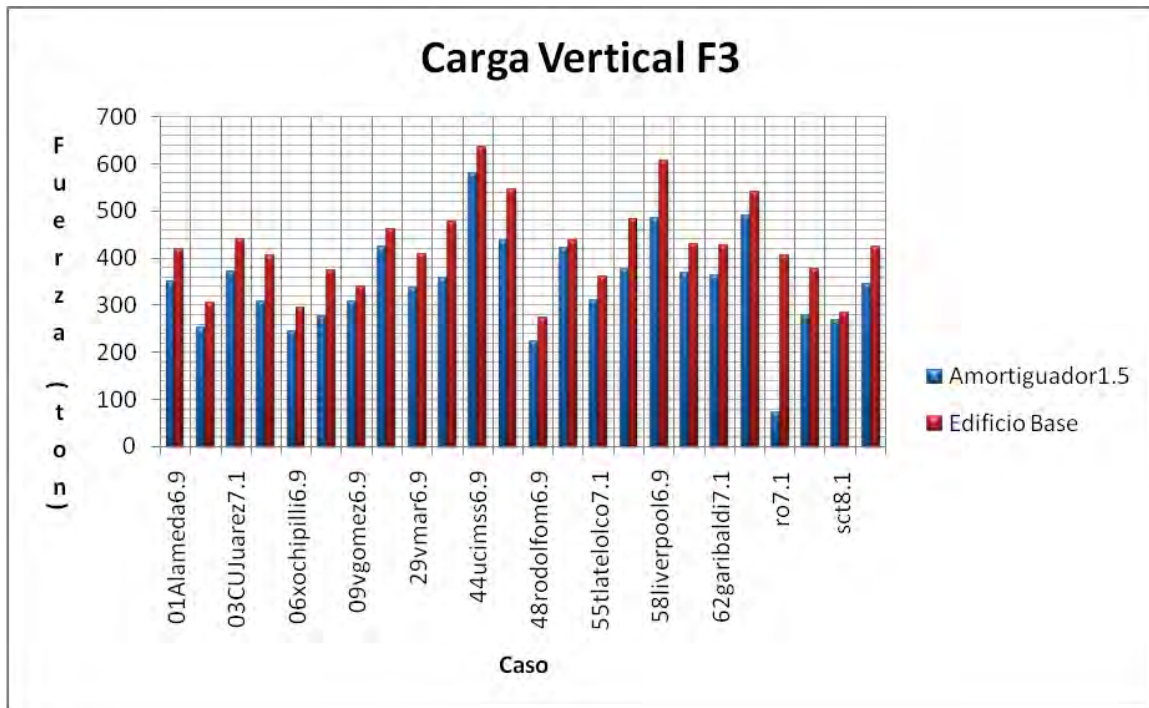


Figura 5.25.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador 1.5.

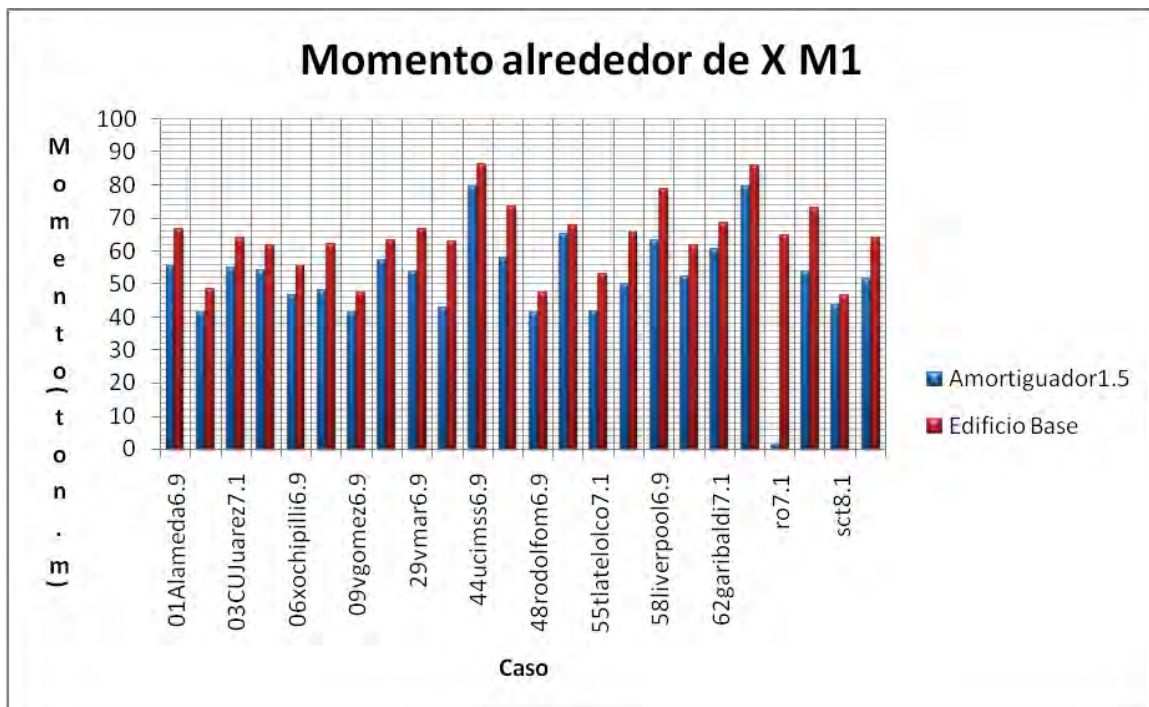


Figura 5.26.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador 1.5.

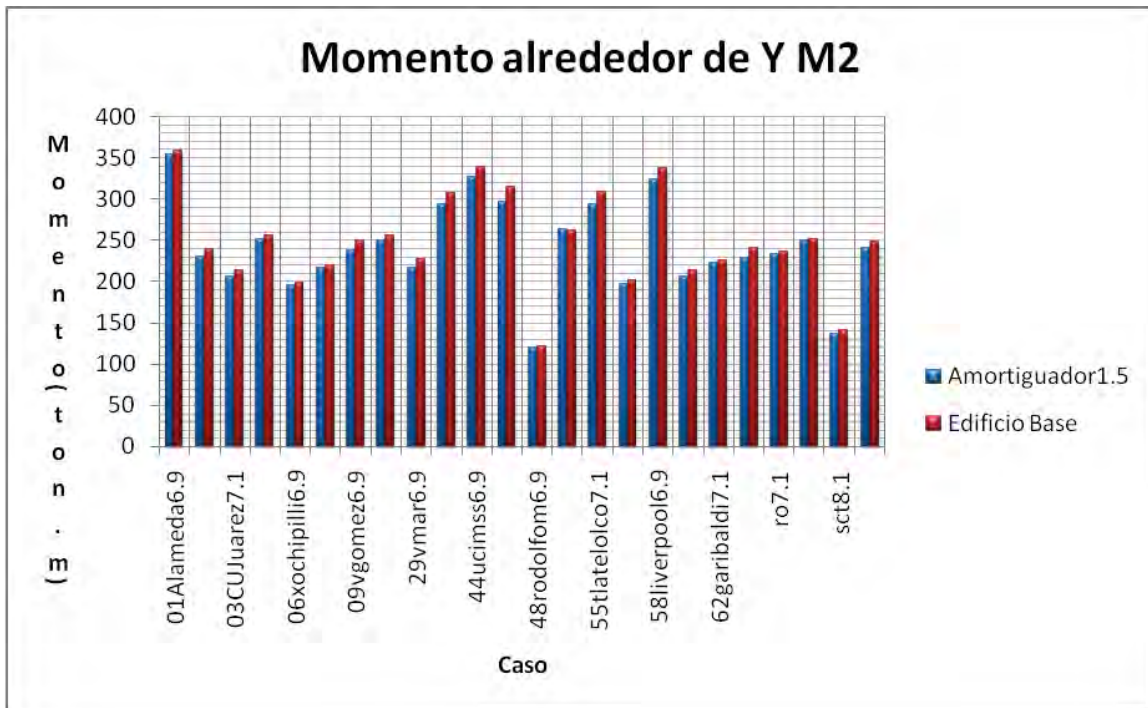


Figura 5.27.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.

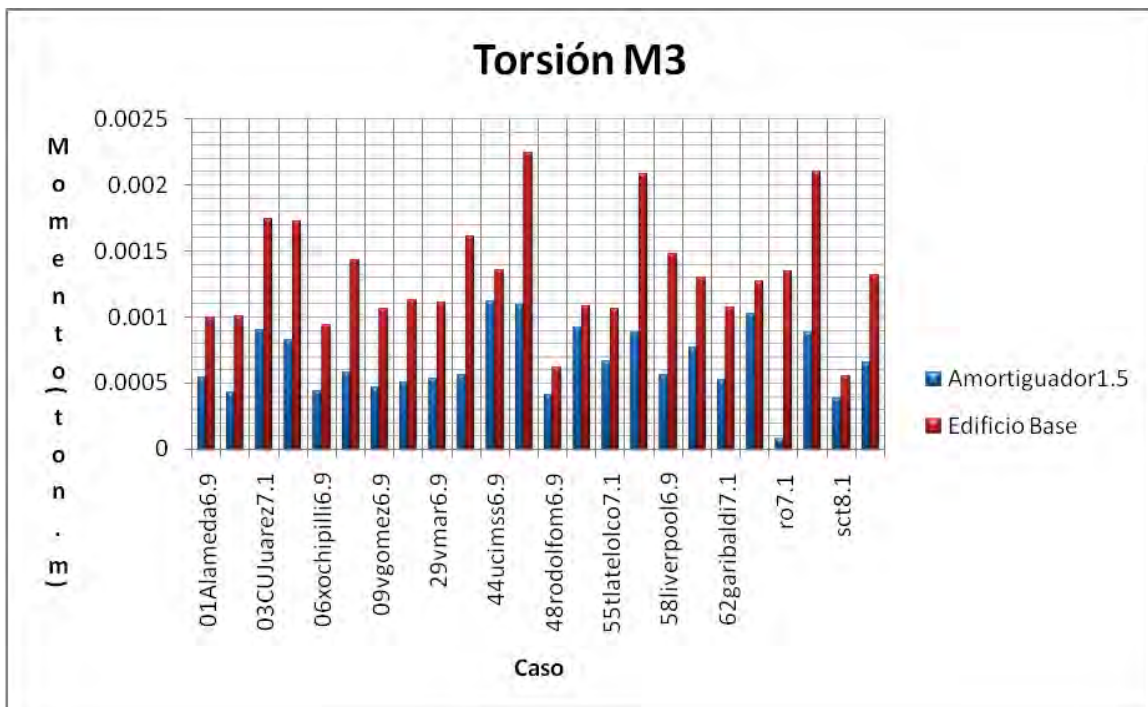


Figura 5.28.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.5.

En las **Figuras 5.23 a 5.28** se apreció una disminución de las reacciones mayor a las del caso con Amortiguador 1.0, también se observó que las reacciones para el acelerograma ro7.1 siguen siendo mínimas al igual que en el caso Amortiguador1.0 en comparación con el sistema sin disipación de energía.

AMORTIGUADOR $C_n=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=0.1$

En el tercer caso se utilizó un amortiguador con un comportamiento aun mas no lineal tomando un valor del exponente de amortiguamiento $n=0.1$ y conservando un valor de Coeficiente de amortiguamiento $C_n=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$ y una rigidez de 10,000 veces el valor del coeficiente de amortiguamiento. Como primer paso se obtuvieron los periodos y frecuencias de la estructura (**Tabla 5.8**) con los amortiguadores (Amortiguador1.1).

Tabla 5.8.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=0.1$

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS Amortiguador ($C_n=1 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=0.1$)												
Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	
			Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec	
MODAL	Mode	1	1.005537	0.99449	6.2486	MODAL	Mode	26	0.103181	9.6917	60.895	
MODAL	Mode	2	0.964742	1.0365	6.5128	MODAL	Mode	27	0.101746	9.8284	61.753	
MODAL	Mode	3	0.914323	1.0937	6.872	MODAL	Mode	28	0.096665	10.345	64.999	
MODAL	Mode	4	0.330139	3.029	19.032	MODAL	Mode	29	0.095037	10.522	66.113	
MODAL	Mode	5	0.326424	3.0635	19.249	MODAL	Mode	30	0.094114	10.625	66.762	
MODAL	Mode	6	0.303307	3.297	20.716	MODAL	Mode	31	0.092993	10.754	67.566	
MODAL	Mode	7	0.180586	5.5375	34.793	MODAL	Mode	32	0.091491	10.93	68.675	
MODAL	Mode	8	0.174398	5.734	36.028	MODAL	Mode	33	0.090454	11.055	69.463	
MODAL	Mode	9	0.162215	6.1647	38.734	MODAL	Mode	34	0.088979	11.239	70.614	
MODAL	Mode	10	0.147685	6.7711	42.544	MODAL	Mode	35	0.088183	11.34	71.252	
MODAL	Mode	11	0.143428	6.9721	43.807	MODAL	Mode	36	0.087476	11.432	71.828	
MODAL	Mode	12	0.136641	7.3185	45.983	MODAL	Mode	37	0.087163	11.473	72.085	
MODAL	Mode	13	0.130237	7.6783	48.244	MODAL	Mode	38	0.086628	11.544	72.53	
MODAL	Mode	14	0.127436	7.8471	49.304	MODAL	Mode	39	0.085722	11.666	73.297	
MODAL	Mode	15	0.127097	7.868	49.436	MODAL	Mode	40	0.083097	12.034	75.613	
MODAL	Mode	16	0.125418	7.9733	50.098	MODAL	Mode	41	0.082845	12.071	75.842	
MODAL	Mode	17	0.121811	8.2094	51.581	MODAL	Mode	42	0.082745	12.085	75.934	
MODAL	Mode	18	0.120642	8.289	52.081	MODAL	Mode	43	0.082277	12.154	76.366	
MODAL	Mode	19	0.117638	8.5006	53.411	MODAL	Mode	44	0.081403	12.285	77.186	
MODAL	Mode	20	0.114689	8.7192	54.785	MODAL	Mode	45	0.08117	12.32	77.407	
MODAL	Mode	21	0.114622	8.7243	54.816	MODAL	Mode	46	0.081057	12.337	77.515	
MODAL	Mode	22	0.111423	8.9748	56.391	MODAL	Mode	47	0.080439	12.432	78.112	
MODAL	Mode	23	0.107261	9.323	58.578	MODAL	Mode	48	0.079106	12.641	79.428	
MODAL	Mode	24	0.10712	9.3353	58.656	MODAL	Mode	49	0.07861	12.721	79.929	
MODAL	Mode	25	0.103745	9.639	60.564	MODAL	Mode	50	0.078483	12.742	80.058	

Además de obtener los valores de periodos y frecuencias en la **Figura 5.29** aparecen las direcciones en que se mueve el edificio para los primeros cuatro periodos.

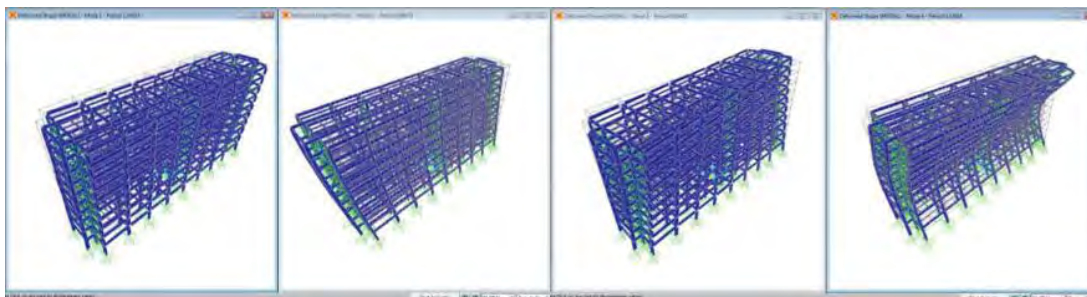


Figura 5.29.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador1.1)

De la **Tabla 5.8** y de la **Figura 5.29** se concluyó que los periodos no se ven modificados al agregar los amortiguadores al igual que sucedió en los casos anteriores (ver **Capítulo 6** inciso **6.1**).

De la misma forma que en los casos anteriores se graficó los ciclos de histéresis para seis acelerogramas antes mencionados para verificar el comportamiento de los amortiguadores (**Figuras 5.30 a 5.32**).

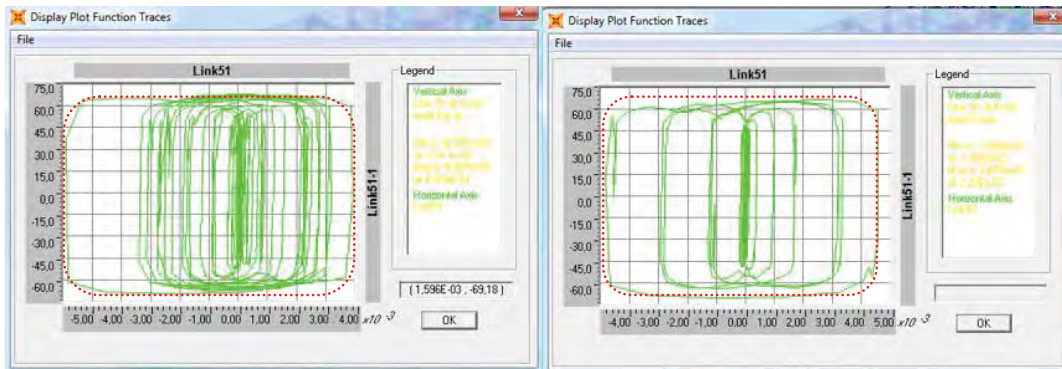


Figura 5.30.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.1).

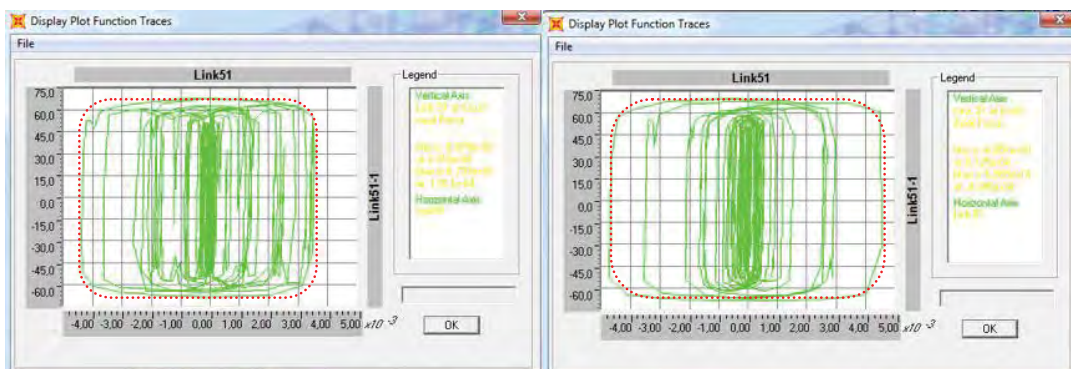


Figura 5.31.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.1).

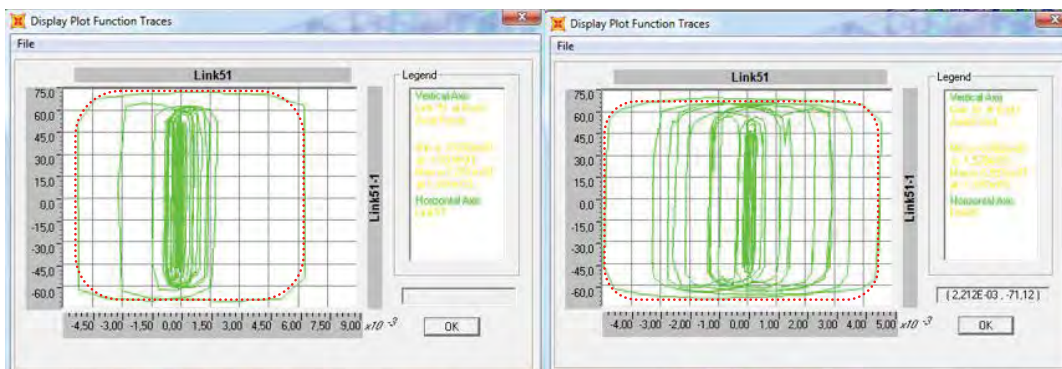


Figura 5.32.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador1.1).

En la línea punteada de color rojo se representa la envolvente. Se nota una envolvente parecida más a un rectángulo que a la elipse con la que se representa el comportamiento lineal. Lo anterior nos deja ver un comportamiento no lineal con un grado de no linealidad elevado.

A continuación se graficó la respuesta máxima del edificio ante las acciones sísmicas aplicadas, los resultados se muestran en la **Figura 5.33**.

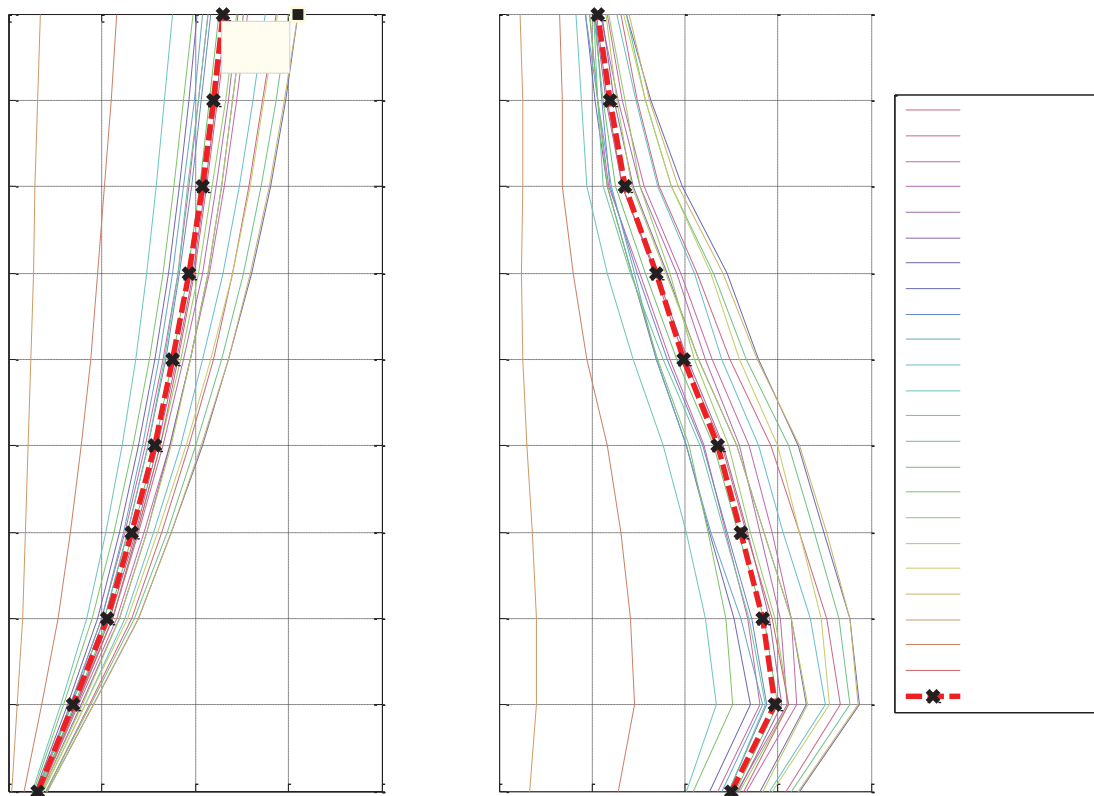


Figura 5.33.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores 1.1

En la **Figura 5.33** se observa que la respuesta máxima del edificio se presenta para el acelerograma RORoma6.9 produciendo un desplazamiento de 6.19 cm. En el caso del promedio de las respuestas el desplazamiento máximo es de aproximadamente 4.5 cm y el desplazamiento máximo normalizado relativo de entrepiso se presenta en el segundo nivel y es del orden de 0.3 el desplazamiento permisible. Después de determinar los desplazamientos máximos se obtuvieron las reacciones máximas y mínimas producidas en el apoyo 373 (seleccionado previamente). Los resultados obtenidos están en las **Tablas 5.9** y **5.10**.

Tabla 5.9.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 1.1)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Máximas (Edificio con Amortiguadores 1.1)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	70.24	19.82	190.60	28.51	190.24	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	67.47	13.29	215.30	31.28	183.07	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Max	69.44	17.08	222.56	33.03	187.09	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	84.62	16.26	160.71	29.87	229.74	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	60.24	16.47	174.97	33.61	162.20	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	77.40	15.22	186.02	37.66	210.13	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	62.92	13.96	205.88	30.00	170.41	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	81.93	20.58	301.42	42.14	224.42	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	67.80	11.52	178.07	33.10	182.70	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	81.42	15.27	175.73	25.93	220.88	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	101.35	18.13	292.02	38.31	276.33	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	83.59	10.31	154.80	27.20	226.95	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	40.30	16.03	155.92	32.57	108.14	0.00
373	53simon6.9	NonModHist	Max	91.72	19.26	241.36	41.73	240.90	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	81.34	16.31	158.88	33.22	220.85	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	60.68	11.68	136.39	27.81	166.00	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	96.95	13.02	266.24	34.04	263.10	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	60.88	18.30	177.70	36.78	164.66	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	78.62	18.64	209.25	38.66	212.55	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Max	70.94	17.47	225.79	42.68	191.64	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Max	76.16	2.30	57.42	0.13	205.35	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	79.99	8.42	78.33	16.70	217.94	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Max	46.79	16.93	191.58	33.50	126.11	0.00
373	Promedio	Promedio	Max	73.60	15.06	189.43	31.67	199.49	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Max	91.38	29.6	423	63.936	248.65	0.0013
		Diferencia %	Max	19.5	49.2	55.2	50.5	19.8	76.5

Tabla 5.10.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 1.1)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Edificio con Amortiguadores 1.1)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-79.53	-13.72	-227.02	-41.21	-215.77	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-64.57	-15.00	-141.54	-27.59	-174.79	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Min	-81.63	-15.78	-186.64	-35.59	-219.93	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-63.63	-14.39	-217.11	-33.98	-171.87	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-64.34	-16.22	-180.44	-34.23	-173.75	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-70.44	-18.17	-198.04	-31.75	-190.50	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-58.42	-14.40	-190.96	-28.90	-157.98	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-88.01	-20.17	-274.65	-42.89	-237.99	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-84.77	-15.97	-143.95	-23.95	-228.30	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-70.06	-12.52	-252.84	-31.75	-190.31	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-88.28	-18.26	-240.50	-37.75	-239.41	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-89.65	-13.12	-113.37	-21.25	-242.81	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-33.68	-15.79	-159.28	-33.10	-90.24	0.00
373	53simon6.9	NonModHist	Min	-86.85	-19.99	-208.07	-40.07	-234.94	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-51.15	-16.05	-182.38	-33.88	-138.36	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-66.26	-13.31	-124.30	-24.32	-180.78	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-99.30	-16.26	-163.78	-26.83	-269.49	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-48.49	-17.84	-200.03	-37.91	-131.25	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-57.29	-18.64	-231.60	-39.00	-154.83	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Min	-70.41	-20.45	-188.91	-36.33	-189.94	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Min	-78.72	-0.07	-87.87	-4.65	-212.56	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-50.61	-8.06	-75.15	-17.33	-138.77	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Min	-35.05	-16.15	-200.88	-35.14	-94.02	0.00
373	Promedio	Promedio	Min	-68.75	-15.23	-182.14	-31.28	-186.03	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Min	-85.32	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	-0.001
		Diferencia %	Min	19.4	49.8	55.4	49.9	19.8	77.0

En las **Tablas 5.9** y **5.10** se observaron reducciones de las reacciones hasta del 50% en el caso de la carga axial (F3), el cortante en dirección Y (F2) y el momento alrededor de X (M1) lo cual muestra en cierta forma la eficiencia que tienen los amortiguadores para reducir las reacciones.

A continuación se muestran gráficamente los datos de la **Tabla 5.9**.

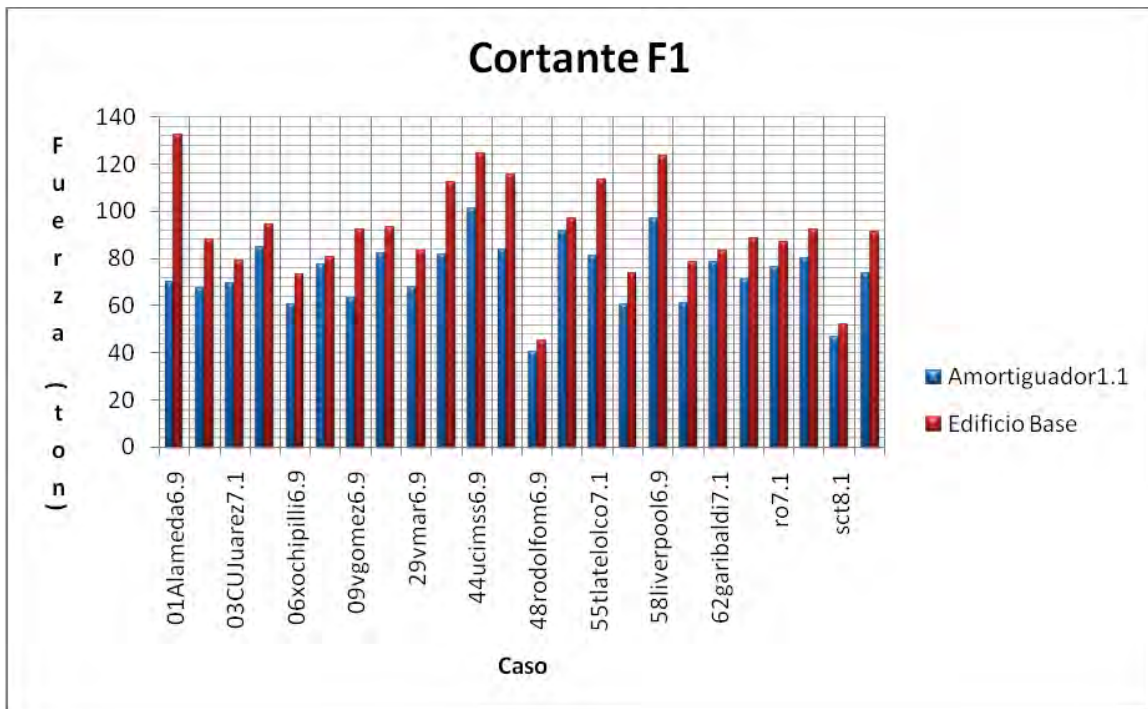


Figura 5.34.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1.

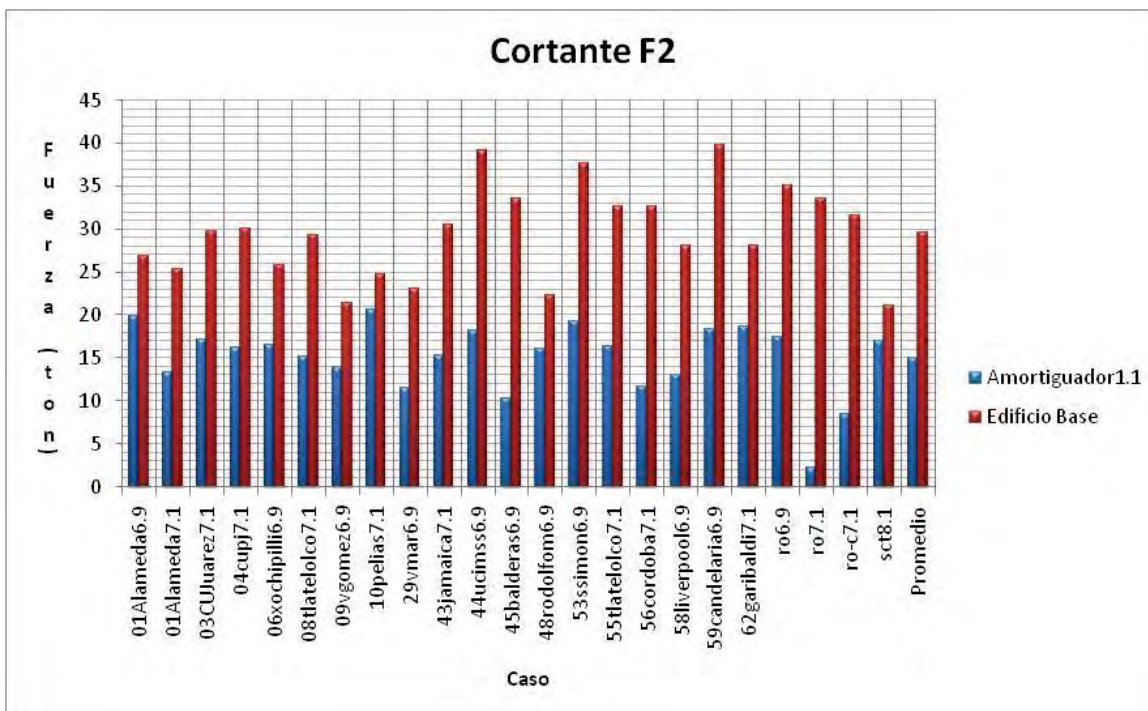


Figura 5.35.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador1.1.

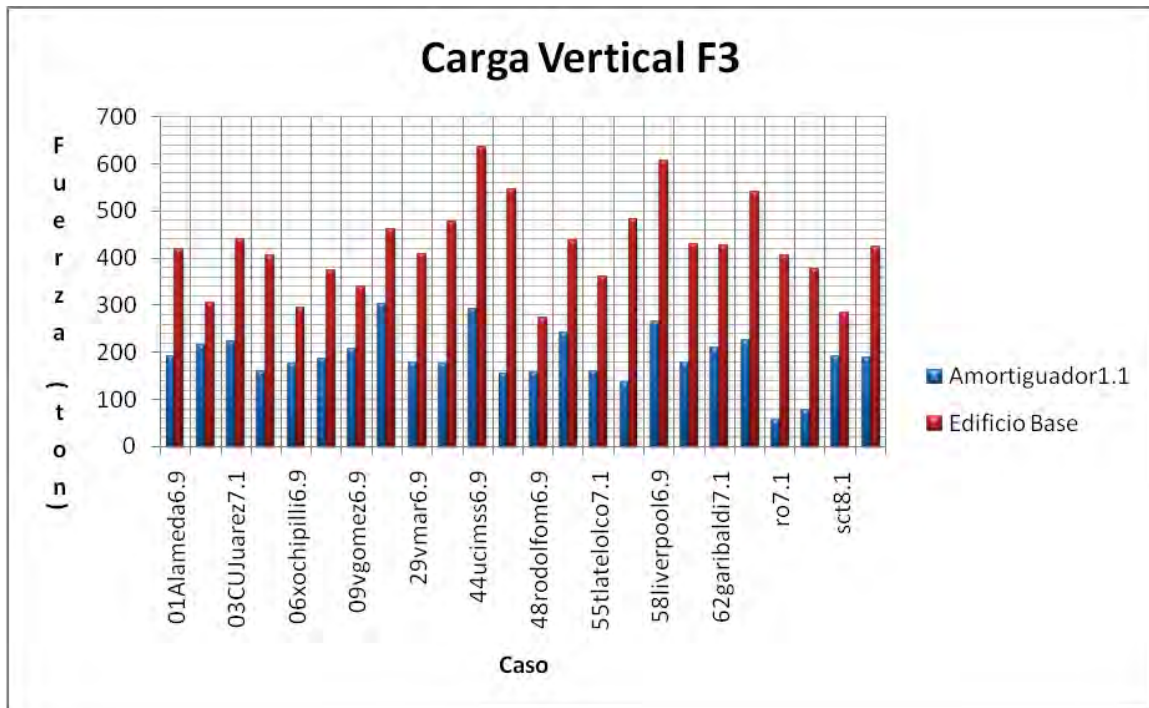


Figura 5.36.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador 1.1.

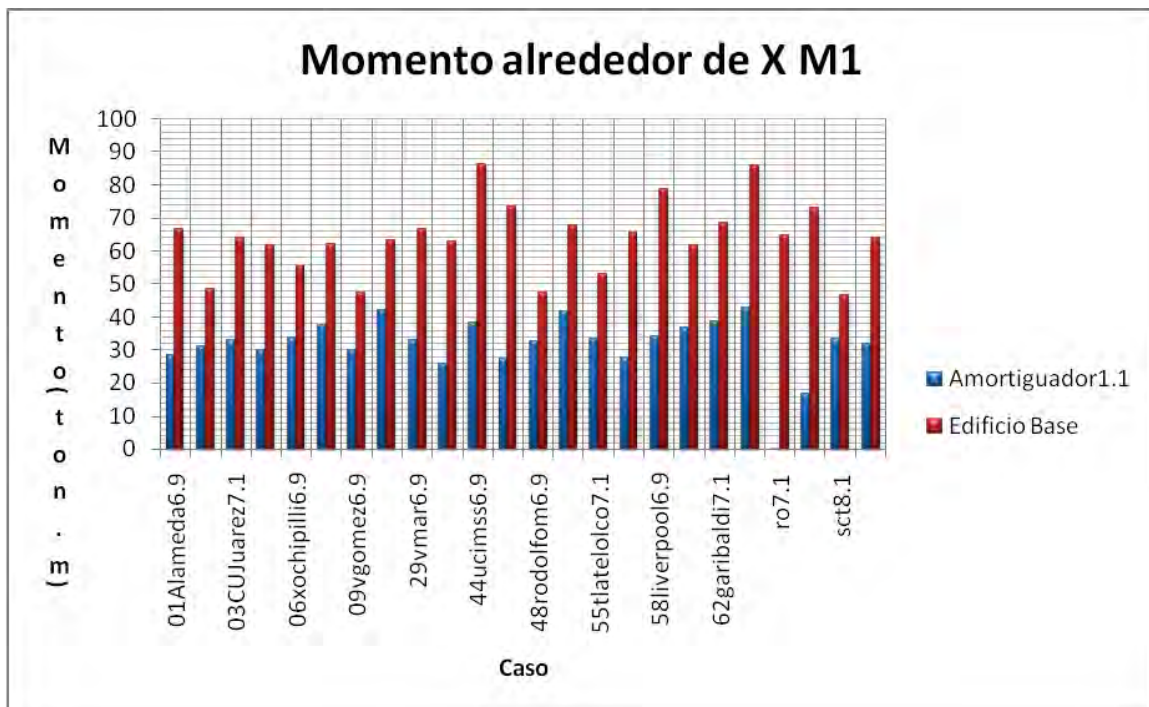


Figura 5.37.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador 1.1.

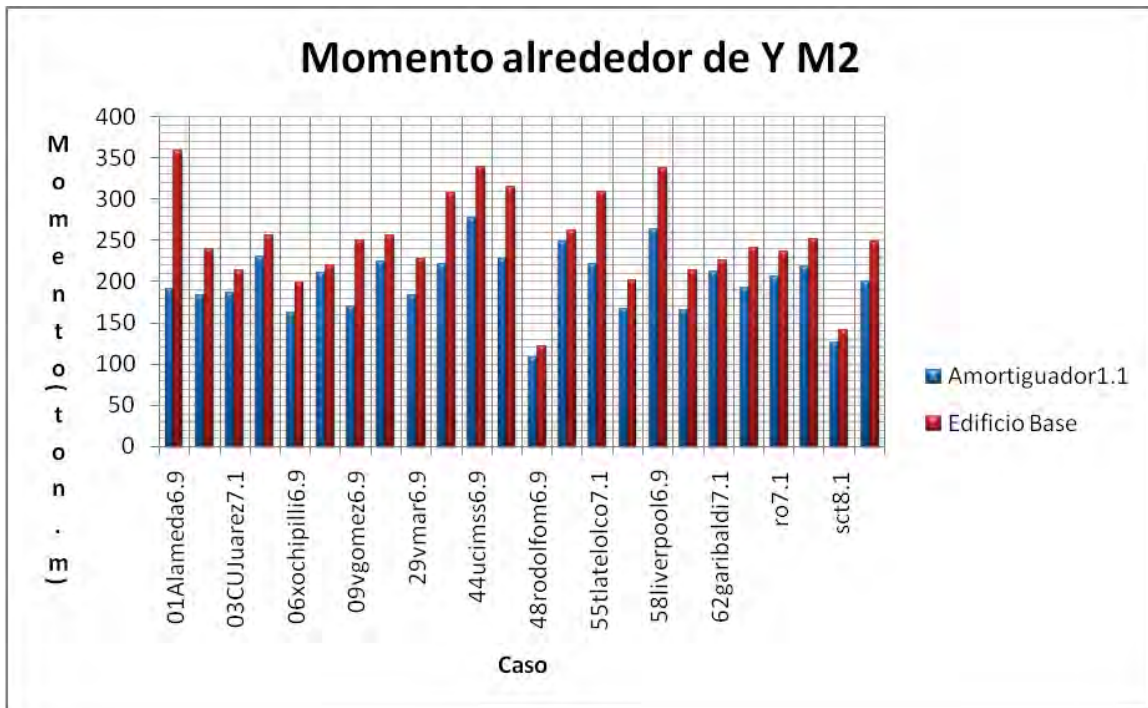


Figura 5.38.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador 1.1.

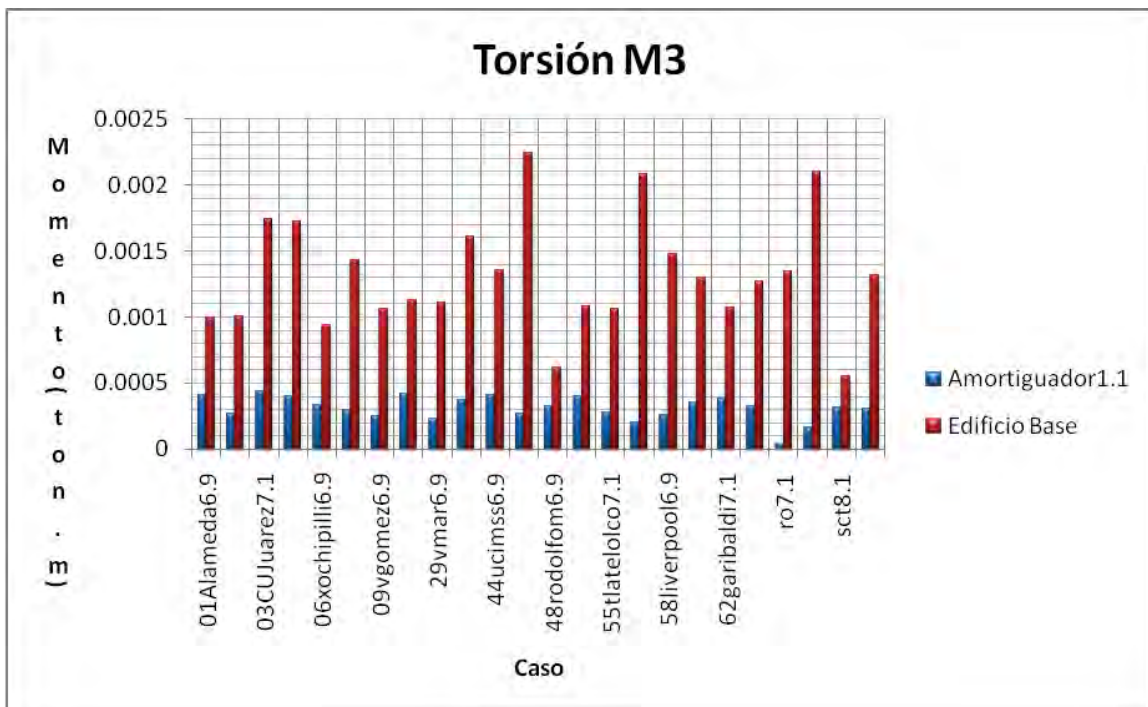


Figura 5.39.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador 1.1.

En las **Figuras 5.34 a 5.39** se apreció una disminución de las reacciones en todas las direcciones de las fuerzas así como también para todos los momentos en comparación a las obtenidas con los amortiguadores 1.0 y 1.5.

AMORTIGUADOR $C_n=5 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=1.0$

En el cuarto caso se regresó a modelar amortiguadores con comportamiento lineal puramente viscoso, cambiando para este caso el valor del Coeficiente de amortiguamiento de 1 a 5 MN/ (m/s), con una rigidez de 10,000 veces el coeficiente y con un exponente del amortiguamiento $n=1.0$ para lograr un comportamiento lineal. Una vez mas lo primero que se revisó son los periodos y las frecuencias del edificio al agregar los amortiguadores (Véase **Tabla 5.11**). También en la **Figura 5.40** se muestra gráficamente las primeras cuatro formas de vibrar de la estructura para poder hacer la comparación.

Tabla 5.11.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=5 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=1.0$

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS Amortiguador ($C_n=5\text{MN}/(\text{m/s})$, $n=1.0$)												
Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	
			Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec	
MODAL	Mode	1	1.005537	0.99449	6.2486	MODAL	Mode	26	0.103181	9.6917	60.895	
MODAL	Mode	2	0.964742	1.0365	6.5128	MODAL	Mode	27	0.101746	9.8284	61.753	
MODAL	Mode	3	0.914323	1.0937	6.872	MODAL	Mode	28	0.096665	10.345	64.999	
MODAL	Mode	4	0.330139	3.029	19.032	MODAL	Mode	29	0.095037	10.522	66.113	
MODAL	Mode	5	0.326424	3.0635	19.249	MODAL	Mode	30	0.094114	10.625	66.762	
MODAL	Mode	6	0.303307	3.297	20.716	MODAL	Mode	31	0.092993	10.754	67.566	
MODAL	Mode	7	0.180586	5.5375	34.793	MODAL	Mode	32	0.091491	10.93	68.675	
MODAL	Mode	8	0.174398	5.734	36.028	MODAL	Mode	33	0.090454	11.055	69.463	
MODAL	Mode	9	0.162215	6.1647	38.734	MODAL	Mode	34	0.088979	11.239	70.614	
MODAL	Mode	10	0.147685	6.7711	42.544	MODAL	Mode	35	0.088183	11.34	71.252	
MODAL	Mode	11	0.143428	6.9721	43.807	MODAL	Mode	36	0.087476	11.432	71.828	
MODAL	Mode	12	0.136641	7.3185	45.983	MODAL	Mode	37	0.087163	11.473	72.085	
MODAL	Mode	13	0.130237	7.6783	48.244	MODAL	Mode	38	0.086628	11.544	72.53	
MODAL	Mode	14	0.127436	7.8471	49.304	MODAL	Mode	39	0.085722	11.666	73.297	
MODAL	Mode	15	0.127097	7.868	49.436	MODAL	Mode	40	0.083097	12.034	75.613	
MODAL	Mode	16	0.125418	7.9733	50.098	MODAL	Mode	41	0.082845	12.071	75.842	
MODAL	Mode	17	0.121811	8.2094	51.581	MODAL	Mode	42	0.082745	12.085	75.934	
MODAL	Mode	18	0.120642	8.289	52.081	MODAL	Mode	43	0.082277	12.154	76.366	
MODAL	Mode	19	0.117638	8.5006	53.411	MODAL	Mode	44	0.081403	12.285	77.186	
MODAL	Mode	20	0.114689	8.7192	54.785	MODAL	Mode	45	0.08117	12.32	77.407	
MODAL	Mode	21	0.114622	8.7243	54.816	MODAL	Mode	46	0.081057	12.337	77.515	
MODAL	Mode	22	0.111423	8.9748	56.391	MODAL	Mode	47	0.080439	12.432	78.112	
MODAL	Mode	23	0.107261	9.323	58.578	MODAL	Mode	48	0.079106	12.641	79.428	
MODAL	Mode	24	0.10712	9.3353	58.656	MODAL	Mode	49	0.07861	12.721	79.929	
MODAL	Mode	25	0.103745	9.639	60.564	MODAL	Mode	50	0.078483	12.742	80.058	

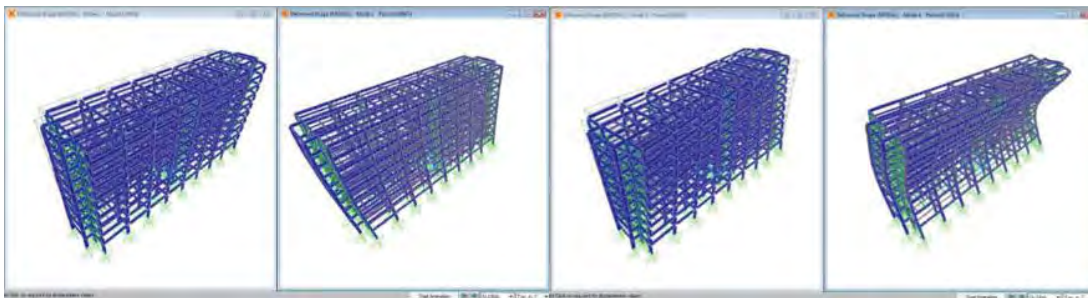


Figura 5.40.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador5.0)

Como era de esperarse el uso de los amortiguadores (Amortiguador 5.0) no ocasiono ningún cambio en la forma de vibrar de la estructura. A continuación mediante graficas de los ciclos histeréticos de seis de los acelerogramas se comprobó el correcto comportamiento de los amortiguadores. Los ciclos histeréticos aparecen en las **Figuras 5.41 a 5.43**.

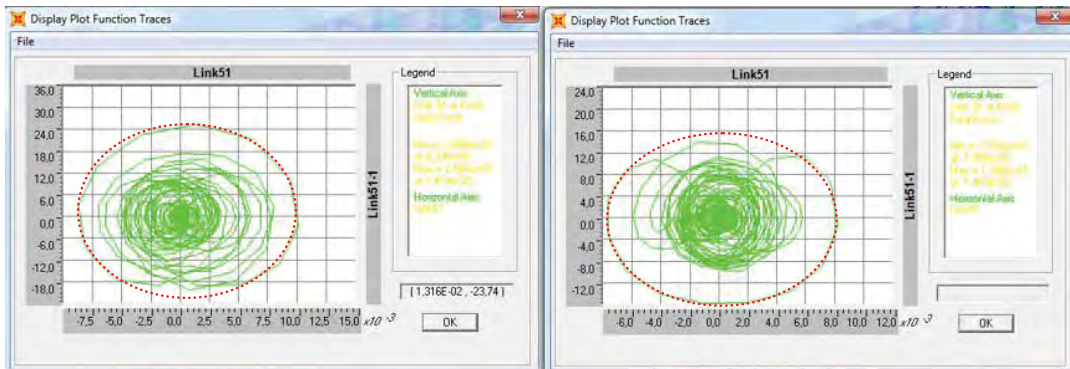


Figura 5.41.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.0).

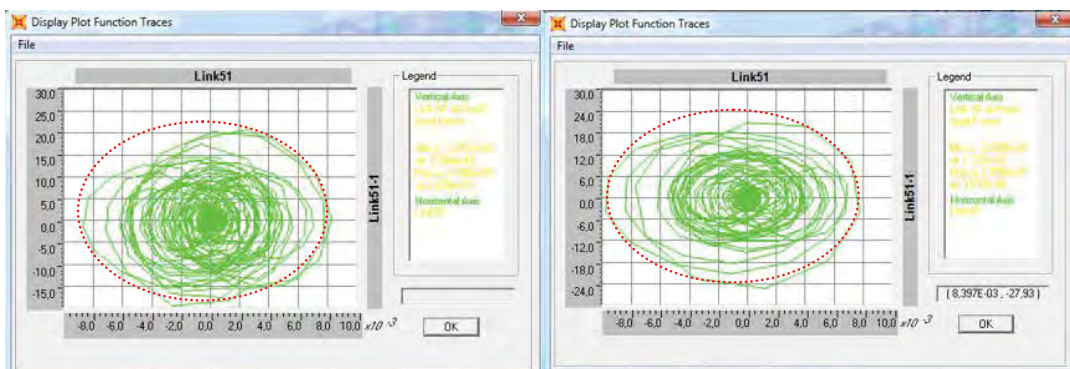


Figura 5.42.-A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.0).

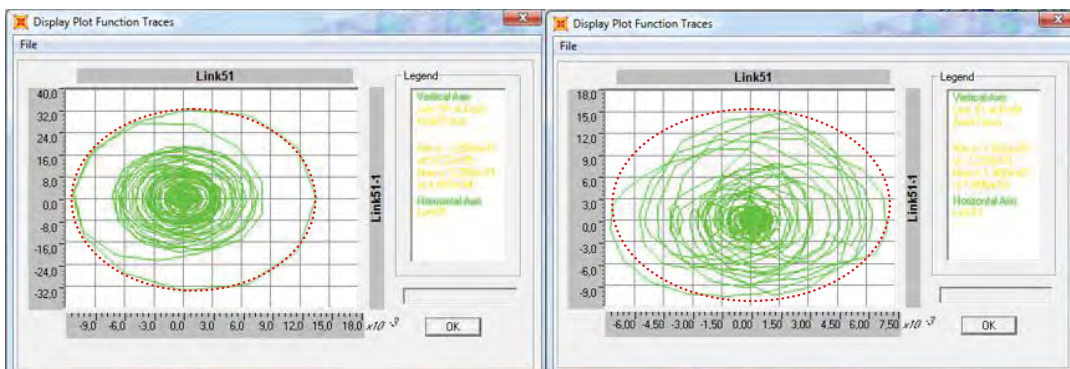


Figura 5.43.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.0).

En línea punteada de color rojo se indica la envolvente aproximada de los ciclos de histéresis. Los resultados obtenidos son similares al primer caso con amortiguadores que fue analizado, esto es la envolvente es una elipse acostada la cual representa un comportamiento lineal puramente viscoso. Como siguiente paso se obtuvieron los desplazamientos máximos en la estructura y los graficamos, los resultados aparecen en la **Figura 5.44**.

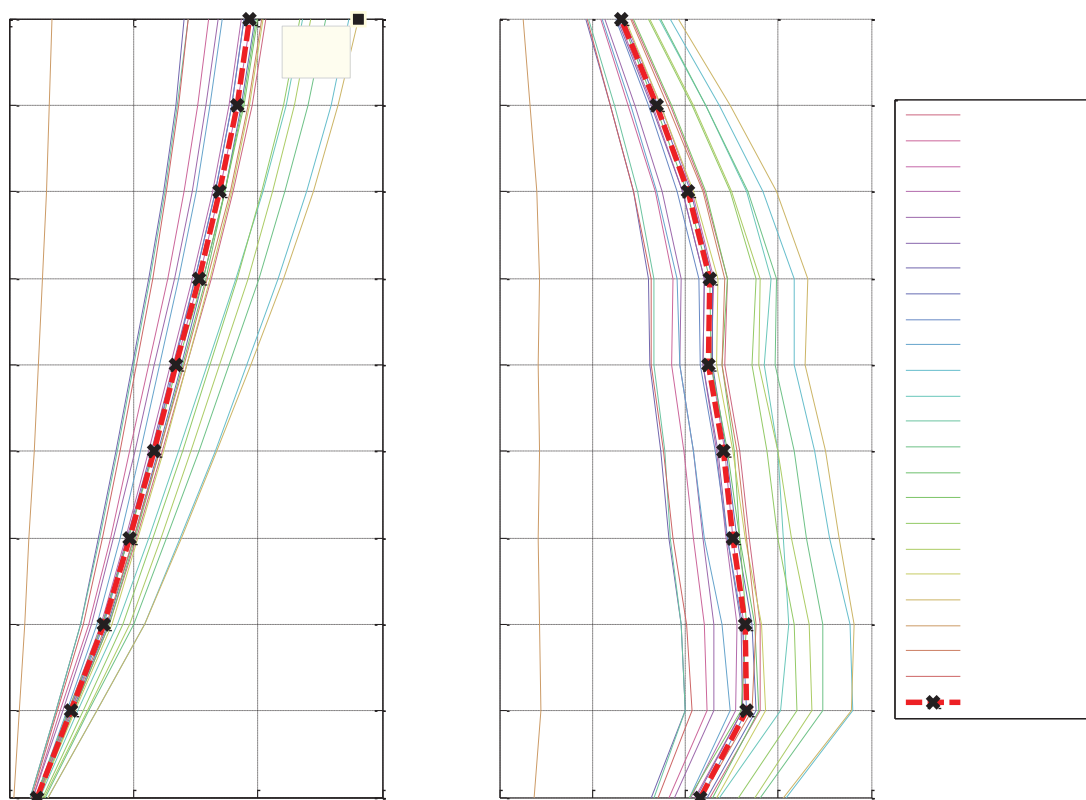


Figura 5.44.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores5.0

Del mismo modo que en los casos anteriores el sismo de máxima respuesta es RORoma6.9 con un desplazamiento de 14.03 cm para el último nivel, en cuanto a los desplazamientos promedio el desplazamiento en el último nivel es de aproximadamente 10 cm, los máximos desplazamientos normalizados relativos de entrepiso se presentan en el segundo y tercer piso y son del orden del 0.55 en relación a los permisibles. Enseguida se determinaron las reacciones máximas y mínimas producidas en el apoyo 373 (previamente seleccionado). Los resultados aparecen en las **Tablas 5.12** y **5.13**.

Tabla 5.12.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores5.0)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Máximas (Edificio con Amortiguadores 5.0)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	131.40	24.33	372.70	59.15	356.85	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	86.25	22.91	260.19	43.57	234.81	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Max	77.40	24.85	373.08	55.11	209.48	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	93.36	24.46	311.64	54.57	253.81	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	73.05	22.64	261.36	49.99	197.54	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	79.33	26.44	302.95	52.19	215.51	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	89.93	18.54	324.14	43.06	244.66	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	91.85	23.98	434.93	58.67	251.92	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	80.86	19.65	365.83	57.50	219.64	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	110.11	25.48	381.49	48.37	300.03	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	121.31	35.72	591.62	80.35	330.47	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	110.91	26.15	460.86	61.72	302.23	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	44.56	21.15	246.33	43.17	120.24	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Max	97.20	35.11	426.08	65.58	263.47	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	109.34	29.09	325.06	43.57	298.48	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	72.23	24.16	400.60	53.46	198.07	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	120.89	21.86	521.22	67.54	329.25	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	77.10	34.53	382.24	55.20	209.62	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	82.46	25.56	380.42	61.82	223.58	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Max	85.53	32.13	495.75	80.14	233.52	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Max	87.19	4.95	77.85	2.41	236.29	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	92.02	23.06	288.06	57.34	251.40	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Max	51.28	21.68	271.08	44.06	138.81	0.00
373	Promedio	Promedio	Max	89.81	24.71	358.93	53.85	244.33	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Max	91.38	29.6	423	63.936	248.65	0.0013
		Diferencia %	Max	1.7	16.6	15.1	15.8	1.7	44.6

Tabla 5.13.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores5.0)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Edificio con Amortiguadores 5.0)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-80.80	-28.12	-309.49	-51.16	-220.31	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-70.68	-20.96	-284.40	-48.02	-191.93	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Min	-90.69	-26.13	-402.63	-52.32	-245.30	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-71.04	-25.99	-335.64	-51.64	-193.11	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-71.10	-23.87	-266.32	-47.34	-193.64	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-78.38	-24.79	-380.86	-55.65	-213.68	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-79.12	-20.50	-274.16	-38.73	-214.96	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-111.01	-27.89	-306.13	-50.44	-301.42	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-93.77	-27.45	-285.16	-41.31	-253.59	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-106.20	-22.92	-424.23	-53.48	-289.79	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-108.00	-38.13	-505.64	-75.10	-293.93	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-115.82	-29.03	-389.98	-54.78	-315.59	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-37.03	-20.66	-247.21	-44.12	-100.36	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Min	-91.67	-31.17	-447.99	-73.78	-248.92	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-80.97	-20.58	-343.51	-60.79	-221.29	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-78.79	-25.20	-404.27	-51.22	-215.27	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-122.01	-32.02	-359.62	-46.25	-331.82	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-73.99	-26.50	-430.70	-72.38	-201.45	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-61.76	-29.51	-346.96	-53.68	-167.66	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Min	-79.20	-38.07	-404.46	-67.50	-215.42	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Min	-88.66	-1.13	-129.91	-10.19	-240.44	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-76.99	-27.27	-284.89	-48.69	-209.75	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Min	-43.99	-21.07	-282.94	-45.31	-118.85	0.00
373	Promedio	Promedio	Min	-83.12	-25.61	-341.18	-51.91	-226.02	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Min	-85.321	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	-0.001
		Diferencia %	Min	2.6	15.7	16.4	16.8	2.6	45.1

En las **Tablas 5.12** y **5.13** se observa una reducción del 15 al 16% para la carga vertical (F3), una reducción en el cortante en Dirección Y (F2) del 15 al 16% y una reducción del momento (M1) del 15 al 16%

A continuación se muestran gráficamente los datos de la **Tabla 5.12**.

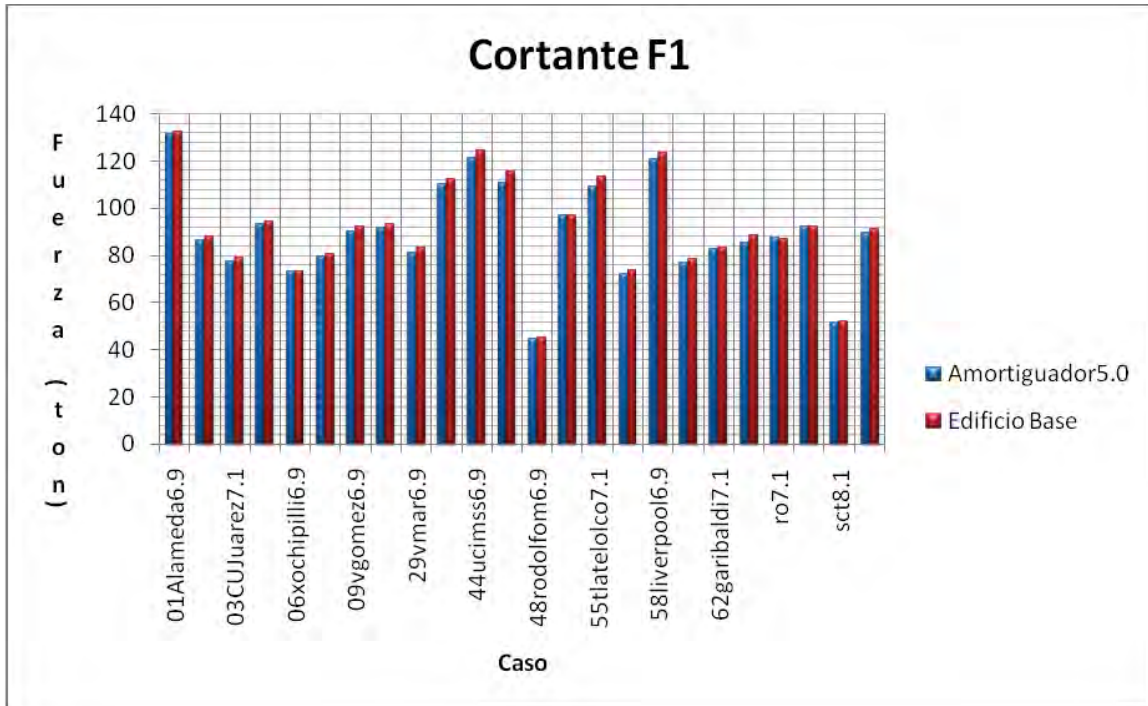


Figura 5.45.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.

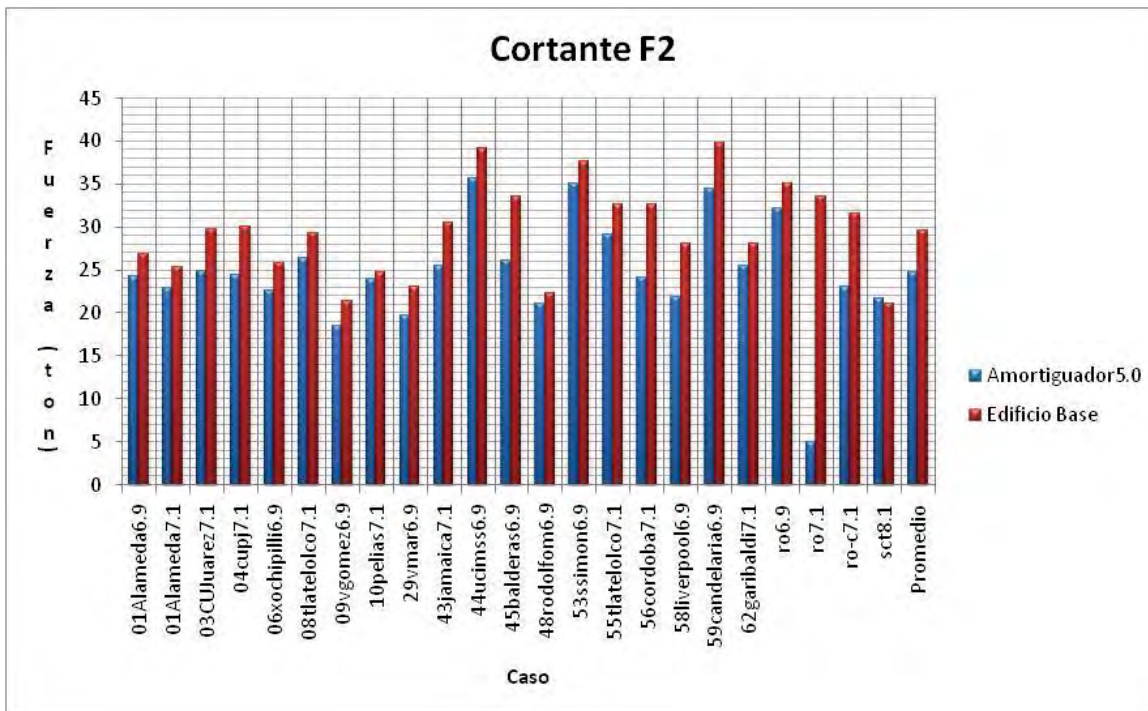


Figura 5.46.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.

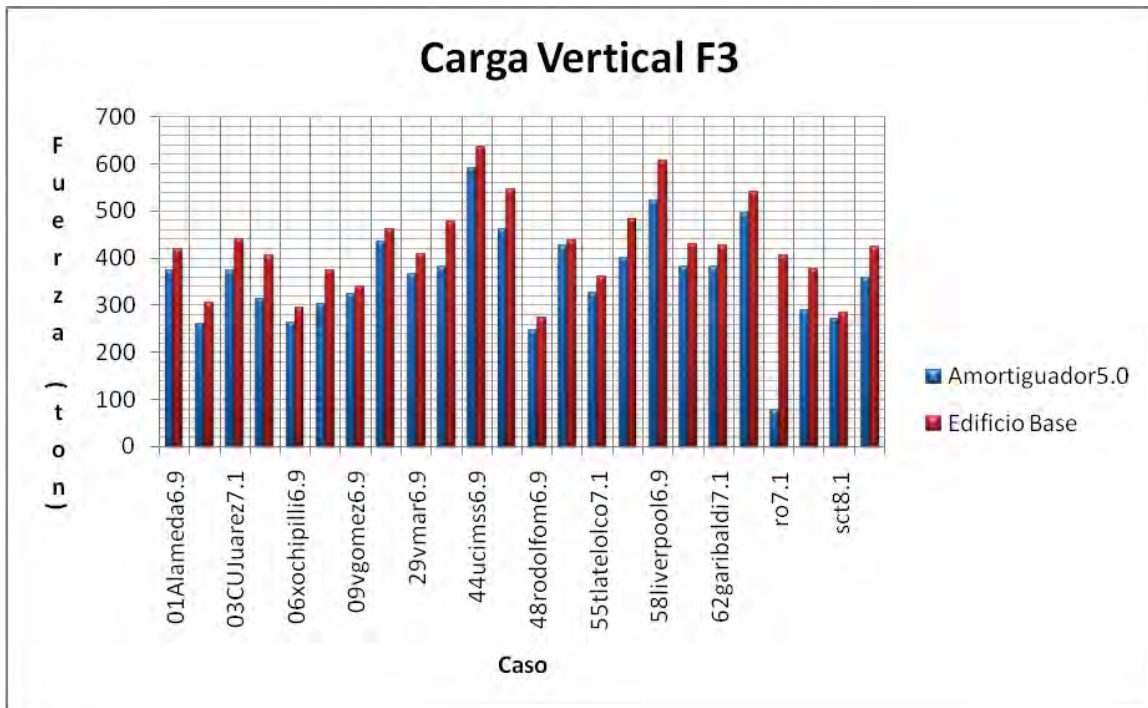


Figura 5.47.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.

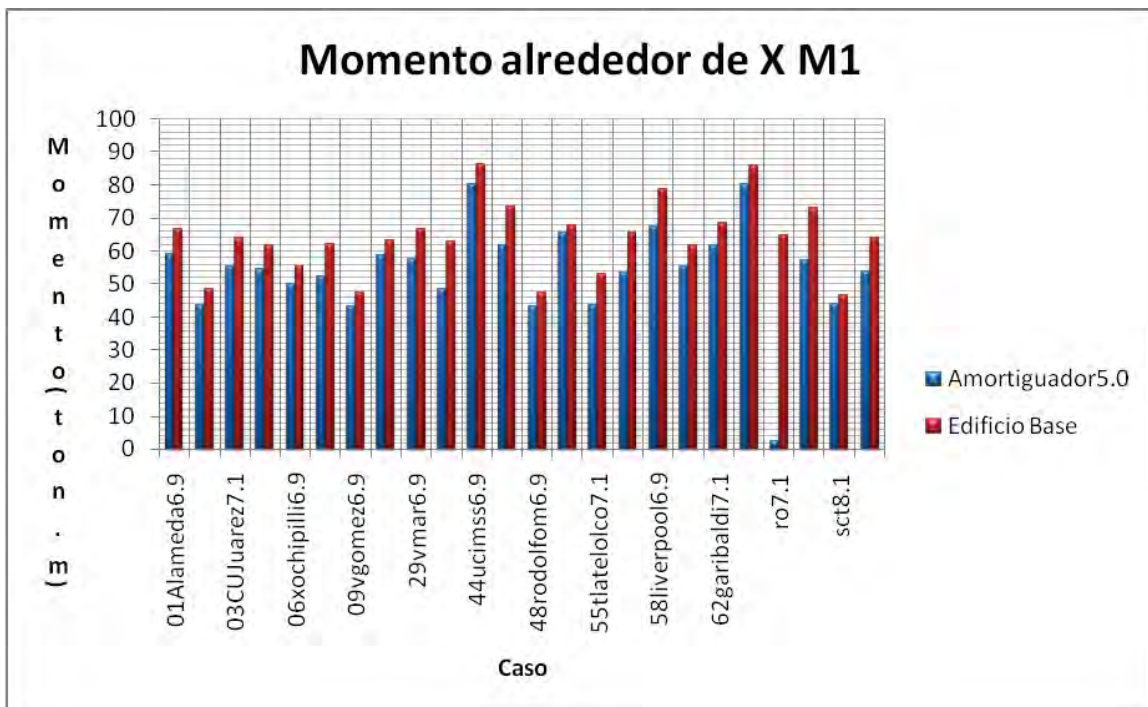


Figura 5.48.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.

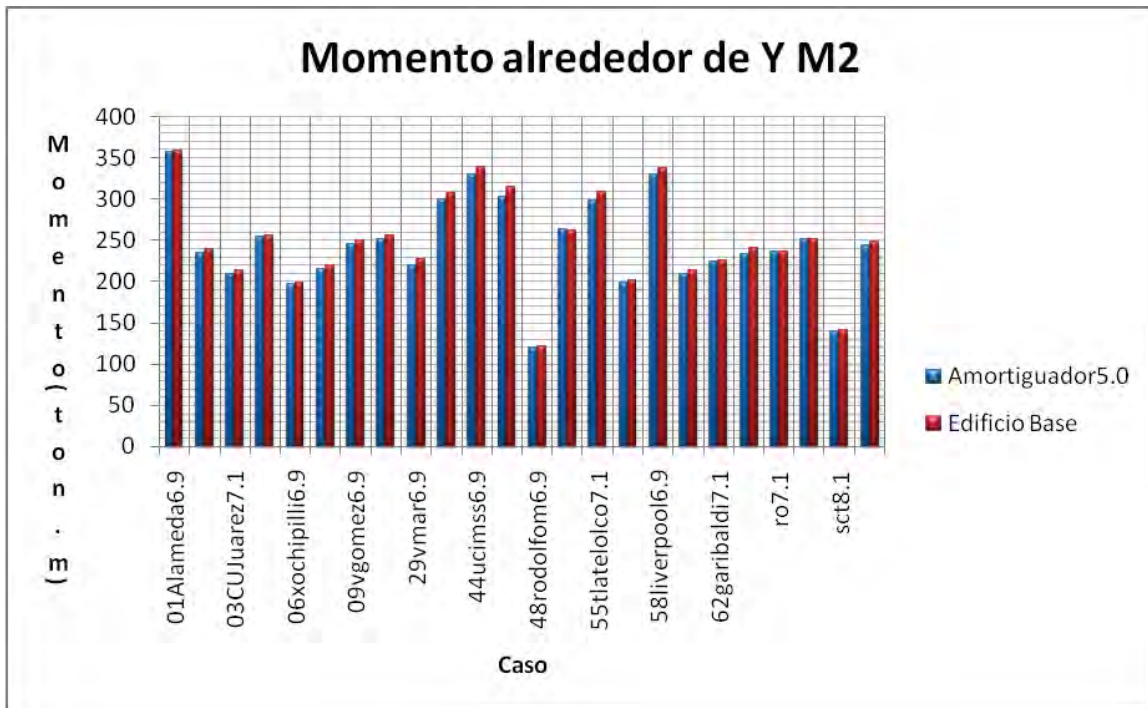


Figura 5.49.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.

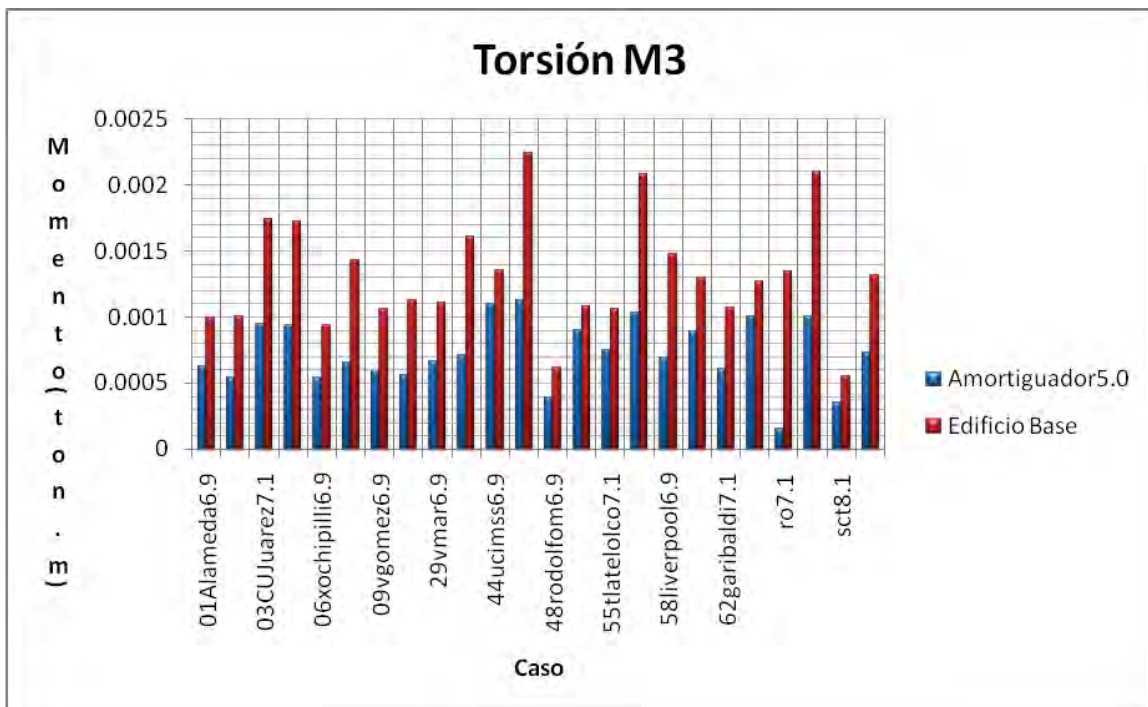


Figura 5.50.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.0.

De las Figuras 5.45 a 5.50 se observó una disminución en las fuerzas mayor a la presentada con el Amortiguador 1.0. Y de forma similar al caso con Amortiguador 1.0 el acelerograma que presenta la menor respuesta es el de ro7.1.

AMORTIGUADOR $C_n=5$ MN/ (m/s), $n=0.5$

Este caso es similar al caso del Amortiguador 1.5 con la diferencia del aumento del coeficiente de amortiguamiento de 1 a 5 MN/ (m/s), el valor del exponente de amortiguamiento es de $n=0.5$ y la rigidez del resorte no lineal se toma de 10,000 veces el valor del coeficiente de amortiguamiento.

En este caso de manera similar a los anteriores, el primer paso fue determinar el periodo y las frecuencias del edificio al usar los amortiguadores (Amortiguador 5.5). Los periodos y frecuencias obtenidos están en la **Tabla 5.14**. Igual a los casos anteriores se presentan gráficamente los primeros cuatro modos de vibrar del edificio (**Figura 5.6**).

Como resultado de comparar la **Tabla 5.14** y **Figura 5.51** con las tablas y figuras del Caso sin sistema de disipación de energía (Edificio Base) se concluyó que no hay cambio en los periodos, ni en la forma de vibrar de la estructura.

Tabla 5.14.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=5$ MN/(m/s), $n=0.5$

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS Amortiguador ($C_n=5$ MN/(m/s), $n=0.5$)												
Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	Caso	Tipo	Modo	Periodo	Frecuencia	CircFrec.	
			Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec	
MODAL	Mode	1	1.005537	0.99449	6.2486	MODAL	Mode	26	0.103181	9.6917	60.895	
MODAL	Mode	2	0.964742	1.0365	6.5128	MODAL	Mode	27	0.101746	9.8284	61.753	
MODAL	Mode	3	0.914323	1.0937	6.872	MODAL	Mode	28	0.096665	10.345	64.999	
MODAL	Mode	4	0.330139	3.029	19.032	MODAL	Mode	29	0.095037	10.522	66.113	
MODAL	Mode	5	0.326424	3.0635	19.249	MODAL	Mode	30	0.094114	10.625	66.762	
MODAL	Mode	6	0.303307	3.297	20.716	MODAL	Mode	31	0.092993	10.754	67.566	
MODAL	Mode	7	0.180586	5.5375	34.793	MODAL	Mode	32	0.091491	10.93	68.675	
MODAL	Mode	8	0.174398	5.734	36.028	MODAL	Mode	33	0.090454	11.055	69.463	
MODAL	Mode	9	0.162215	6.1647	38.734	MODAL	Mode	34	0.088979	11.239	70.614	
MODAL	Mode	10	0.147685	6.7711	42.544	MODAL	Mode	35	0.088183	11.34	71.252	
MODAL	Mode	11	0.143428	6.9721	43.807	MODAL	Mode	36	0.087476	11.432	71.828	
MODAL	Mode	12	0.136641	7.3185	45.983	MODAL	Mode	37	0.087163	11.473	72.085	
MODAL	Mode	13	0.130237	7.6783	48.244	MODAL	Mode	38	0.086628	11.544	72.53	
MODAL	Mode	14	0.127436	7.8471	49.304	MODAL	Mode	39	0.085722	11.666	73.297	
MODAL	Mode	15	0.127097	7.868	49.436	MODAL	Mode	40	0.083097	12.034	75.613	
MODAL	Mode	16	0.125418	7.9733	50.098	MODAL	Mode	41	0.082845	12.071	75.842	
MODAL	Mode	17	0.121811	8.2094	51.581	MODAL	Mode	42	0.082745	12.085	75.934	
MODAL	Mode	18	0.120642	8.289	52.081	MODAL	Mode	43	0.082277	12.154	76.366	
MODAL	Mode	19	0.117638	8.5006	53.411	MODAL	Mode	44	0.081403	12.285	77.186	
MODAL	Mode	20	0.114689	8.7192	54.785	MODAL	Mode	45	0.08117	12.32	77.407	
MODAL	Mode	21	0.114622	8.7243	54.816	MODAL	Mode	46	0.081057	12.337	77.515	
MODAL	Mode	22	0.111423	8.9748	56.391	MODAL	Mode	47	0.080439	12.432	78.112	
MODAL	Mode	23	0.107261	9.323	58.578	MODAL	Mode	48	0.079106	12.641	79.428	
MODAL	Mode	24	0.10712	9.3353	58.656	MODAL	Mode	49	0.07861	12.721	79.929	
MODAL	Mode	25	0.103745	9.639	60.564	MODAL	Mode	50	0.078483	12.742	80.058	

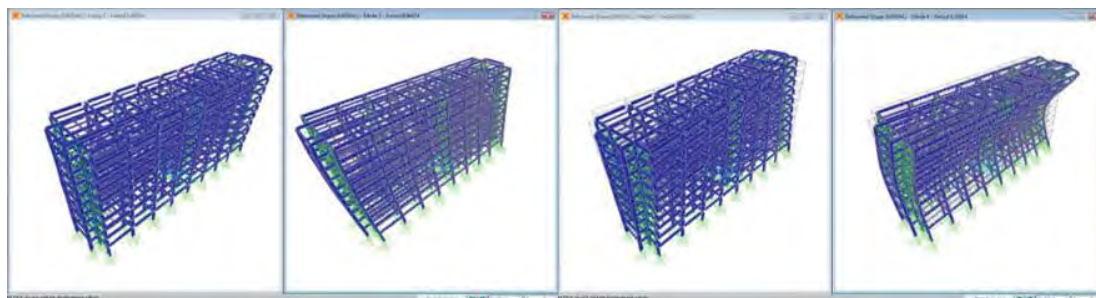


Figura 5.51.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador5.5)

La siguiente comprobación requirió la grafica de los ciclos histeréticos de seis de los acelerogramas (anteriormente mencionados) para verificar que los amortiguadores (Amortiguador 5.5) se comportaran como es deseado. Los ciclos de histéresis están contenidos en las **Figuras 5.52 a 5.54** Cabe mencionar que los ciclos de histéresis mostrados son los del amortiguador 51 anteriormente seleccionado para comparación.

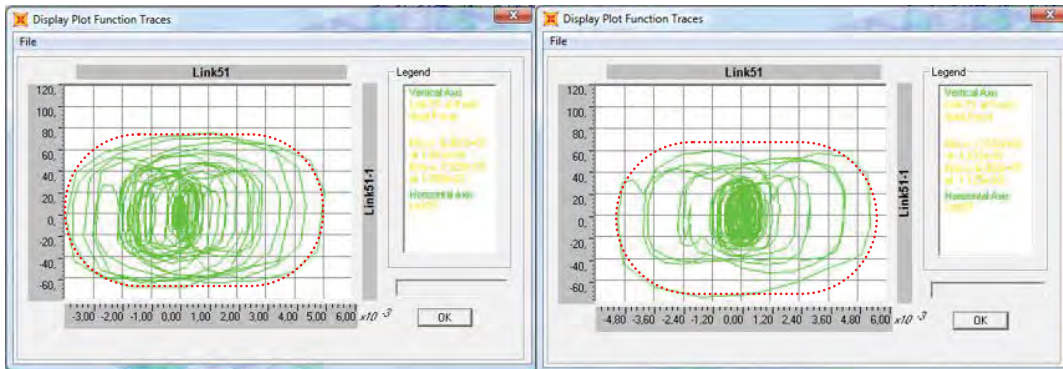


Figura 5.52.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.5).

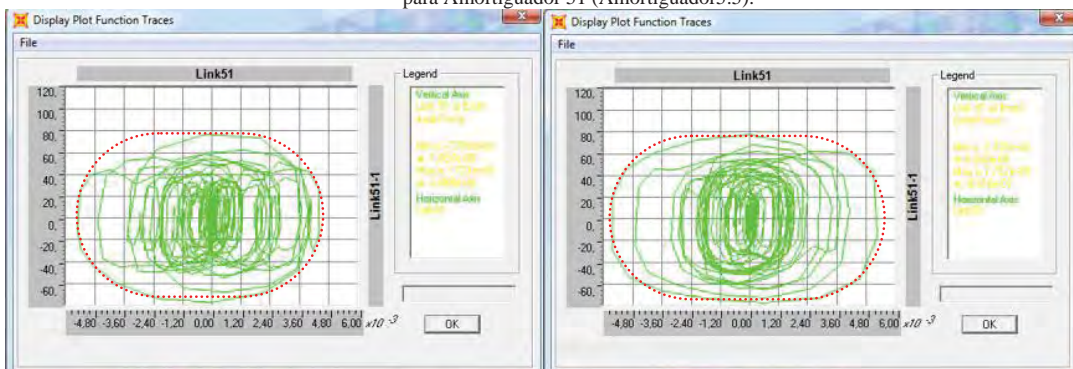


Figura 5.53.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.5).

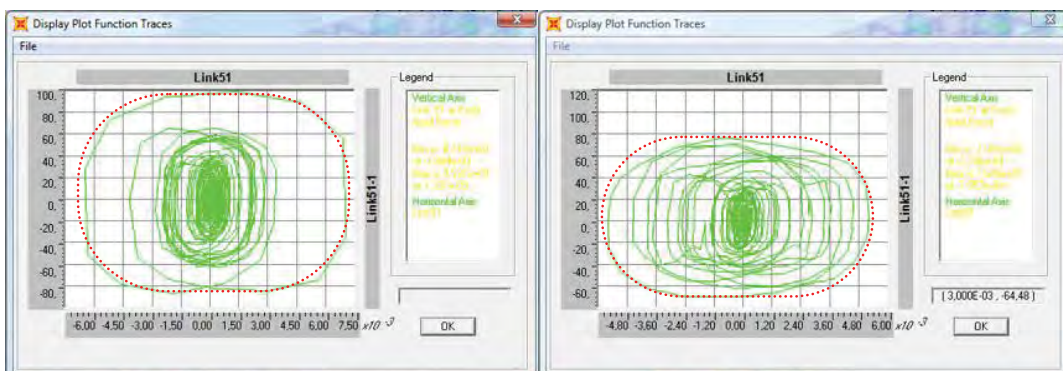


Figura 5.54.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.5).

Las envolventes aproximadas de los ciclos de histéresis aparecen en líneas punteadas en color rojo en las Figuras anteriores. Se observa envolventes de los ciclos histeréticos similares a los del Amortiguador1.5, esto es una elipse acostada que comienza a

tender a la forma rectangular. Lo anterior indica un comportamiento no lineal puramente viscoso lo cual era de esperarse debido a los datos usados.

Una vez comprobado el comportamiento de los amortiguadores, que los modos de vibrar y periodos siguen siendo los mismos se procedió a graficar la respuesta máxima de la estructura ante los acelerogramas (**Figura 5.55**). Se obtuvo un desplazamiento máximo de 7.01 cm para el acelerograma RORoma6.9 en el último nivel del edificio. El desplazamiento máximo promedio es del orden de 5 cm en el último nivel, y el desplazamiento normalizado máximo se presenta en el segundo nivel y es del orden de 0.32 el desplazamiento permisible.

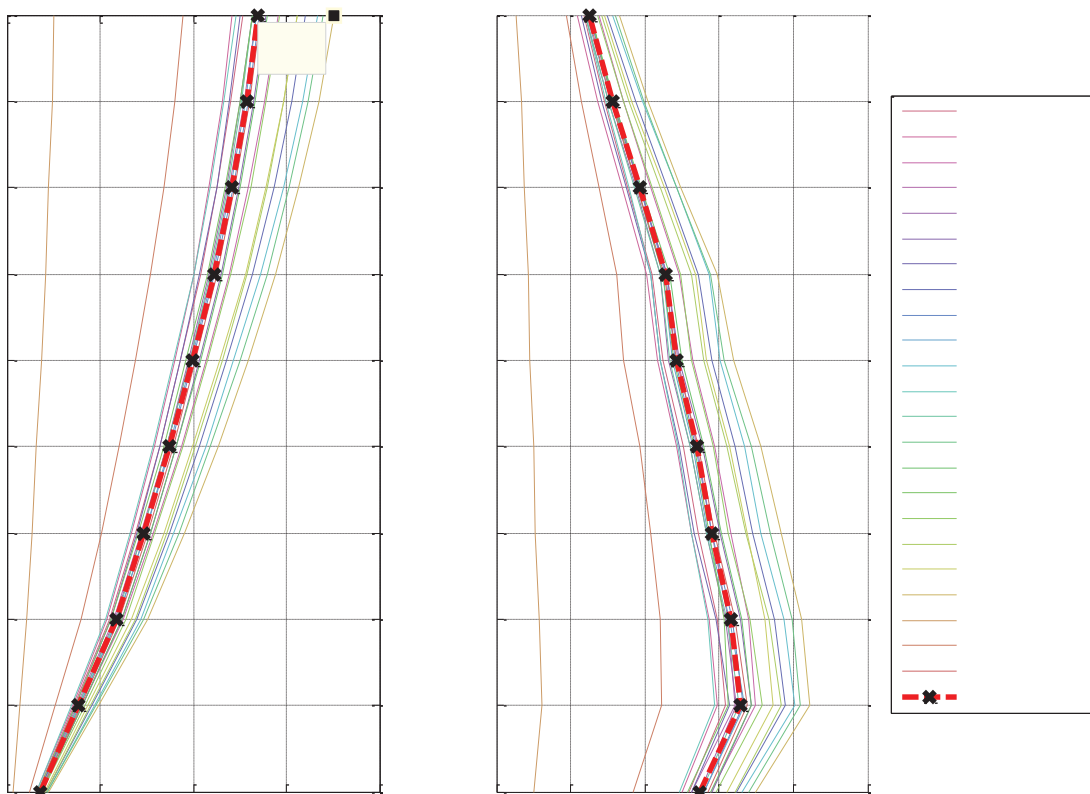


Figura 5.55.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores5.5

El siguiente paso fue obtener las reacciones máximas y mínimas en el apoyo 373 seleccionado anteriormente. En las **Tablas 5.15** y **5.16** se muestran las reacciones para los veintitrés acelerogramas así como el promedio y la comparación con las resultantes del Edificio Base en la parte inferior de cada tabla.

Tabla 5.15.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 5.5)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Máximas (Edificio con Amortiguadores 5.5)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	118.98	13.04	214.29	34.57	322.93	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	71.92	15.92	220.06	31.95	195.59	0.00
373	03CUJarez7.1	NonModHist	Max	68.77	17.46	250.13	38.17	185.54	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	87.20	16.78	202.95	35.01	236.85	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	64.23	16.59	190.62	36.59	173.81	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	77.94	17.47	191.67	38.93	211.77	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	71.30	16.86	233.53	34.63	193.66	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	82.18	20.17	305.09	42.69	225.24	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	71.87	12.84	211.43	37.29	195.02	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	89.41	17.71	213.16	30.89	243.29	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	104.08	19.91	332.32	43.60	283.95	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	89.61	13.26	202.15	32.91	243.80	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	42.53	17.19	195.83	36.87	114.56	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Max	93.42	20.45	270.93	45.15	253.14	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	85.82	18.43	196.96	36.73	233.95	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	61.24	14.47	177.46	34.33	167.91	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	101.98	15.52	304.30	38.86	277.43	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	67.43	20.63	218.07	40.33	183.00	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	78.27	19.54	235.58	41.55	211.98	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Max	71.85	20.65	262.29	46.48	194.66	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Max	79.17	3.25	60.00	0.00	214.23	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	85.46	11.25	111.60	24.67	233.14	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Max	47.06	18.17	215.83	35.59	127.49	0.00
373	Promedio	Promedio	Max	78.77	16.42	218.10	35.56	214.04	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Max	91.38	29.6	423	63.936	248.65	0.0013
		Diferencia %	Max	13.8	44.6	48.4	44.4	13.9	80.1

Tabla 5.16.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores5.5)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Edificio con Amortiguadores 5.5)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-74.90	-16.59	-182.15	-27.17	-202.75	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-66.30	-15.30	-183.60	-33.17	-179.85	0.00
373	03CUJarez7.1	NonModHist	Min	-84.22	-18.21	-215.61	-36.38	-227.27	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-63.23	-16.82	-229.58	-35.09	-171.16	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-62.67	-17.61	-188.63	-34.55	-169.50	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-70.50	-18.75	-237.97	-36.53	-191.06	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-66.51	-16.64	-235.68	-35.09	-180.47	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-93.38	-20.41	-279.61	-42.03	-253.16	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-87.00	-17.91	-176.73	-26.79	-234.95	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-76.20	-14.86	-292.42	-36.97	-207.60	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-93.40	-20.74	-303.80	-41.56	-253.91	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-94.02	-15.78	-153.59	-27.43	-255.12	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-33.59	-17.74	-178.73	-35.68	-90.86	0.00
373	53ssimon6.9	NonModHist	Min	-86.80	-21.59	-243.81	-42.62	-235.61	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-54.83	-17.72	-224.08	-38.40	-149.62	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-68.42	-16.39	-156.36	-30.22	-186.72	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-101.11	-18.53	-197.31	-32.19	-274.85	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-56.71	-19.50	-232.40	-42.91	-154.02	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-56.66	-19.97	-247.77	-40.93	-153.36	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Min	-70.68	-22.24	-242.40	-43.04	-191.27	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Min	-80.47	0.00	-107.03	-6.78	-218.03	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-56.76	-11.86	-109.99	-23.29	-154.22	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Min	-38.20	-17.10	-228.90	-37.81	-103.15	0.00
373	Promedio	Promedio	Min	-71.16	-17.05	-210.79	-34.20	-192.98	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Min	-85.321	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	-0.001
		Diferencia %	Min	16.6	43.8	48.4	45.2	16.8	79.8

En las dos tablas anteriores se nota una reducción de las cargas axiales (F3) del 48%, el cortante en dirección Y se reduce hasta en un 44%, los momentos alrededor de X se reducen en más de un 44%

A continuación se muestran gráficamente los datos de la **Tabla 5.15**.

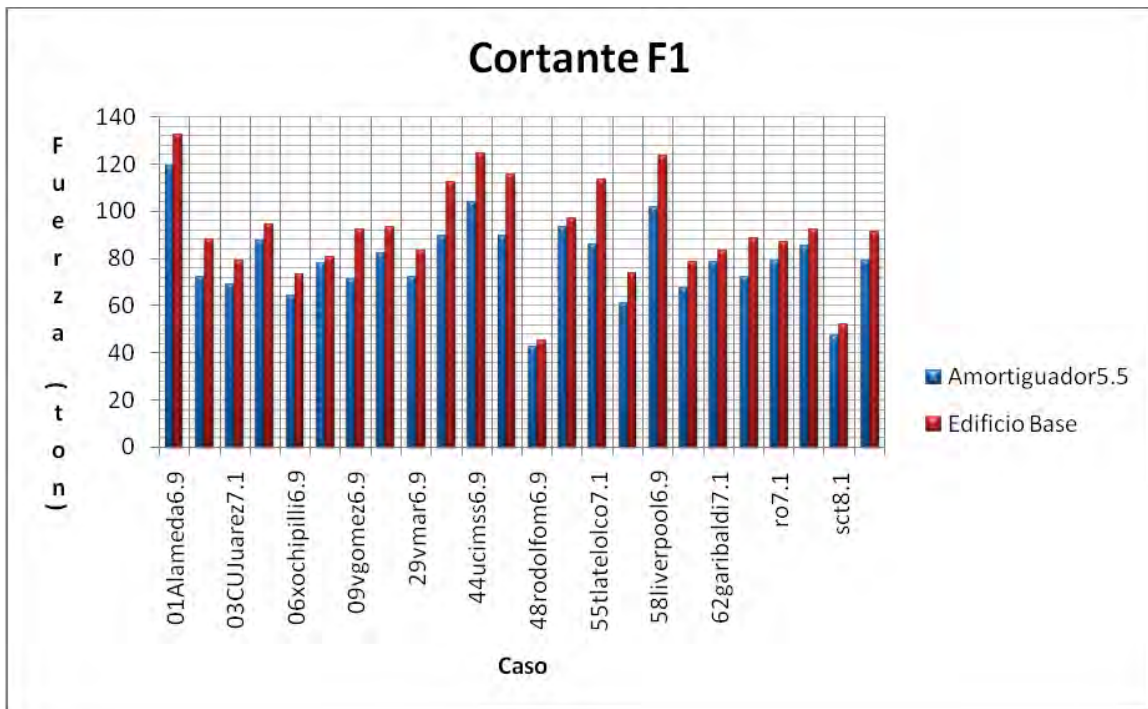


Figura 5.56.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5.

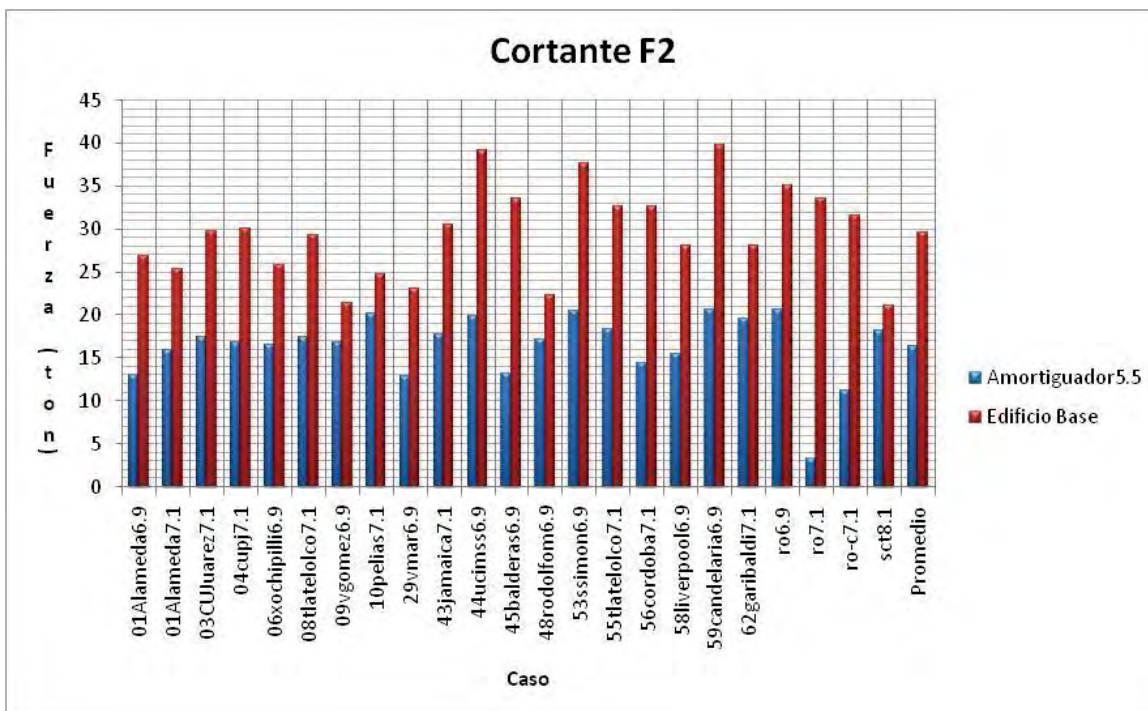


Figura 5.57.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5.

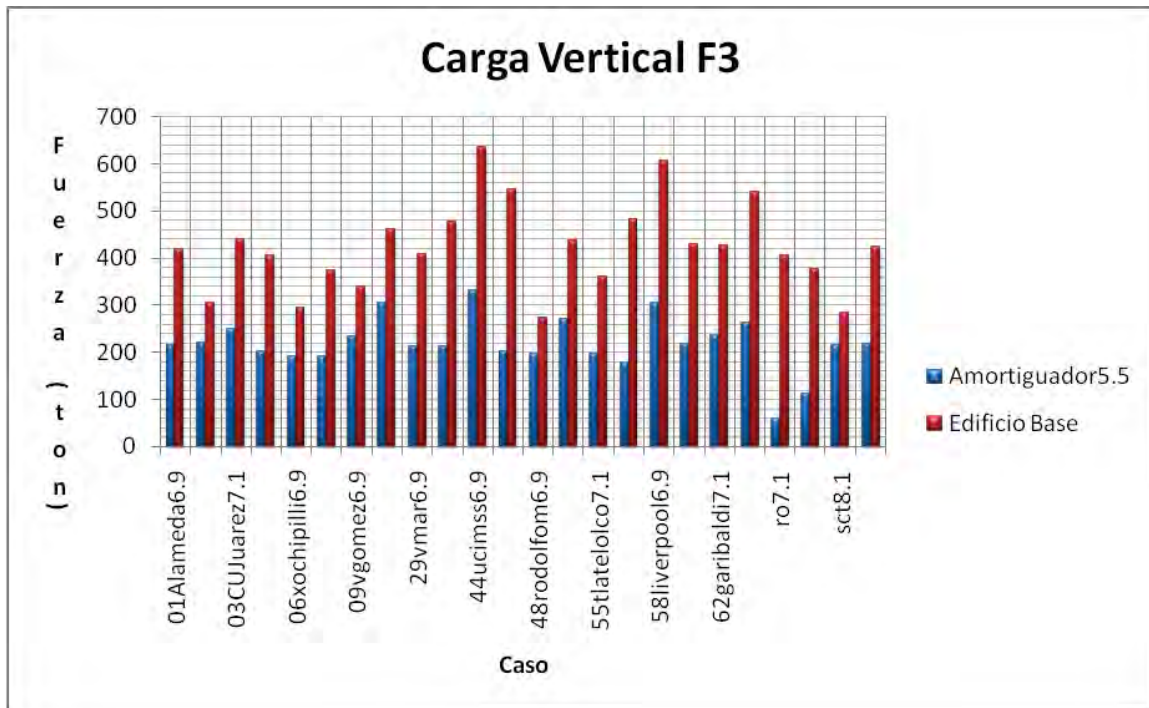


Figura 5.58.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5.

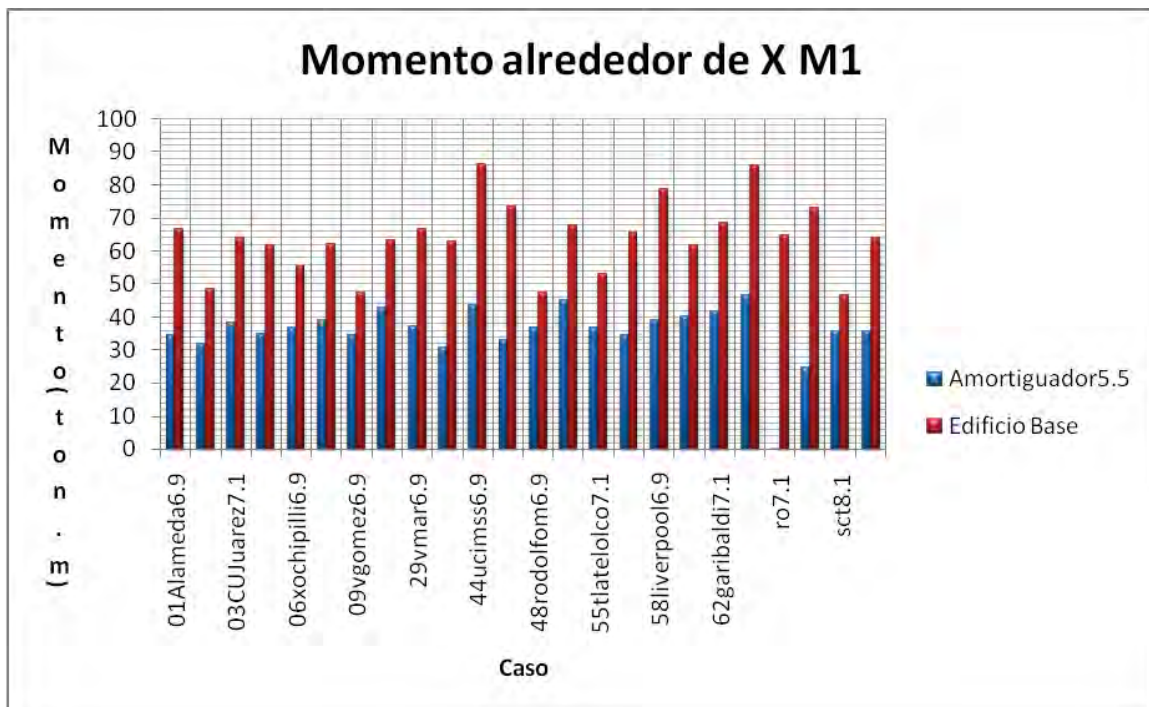


Figura 5.59.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5.

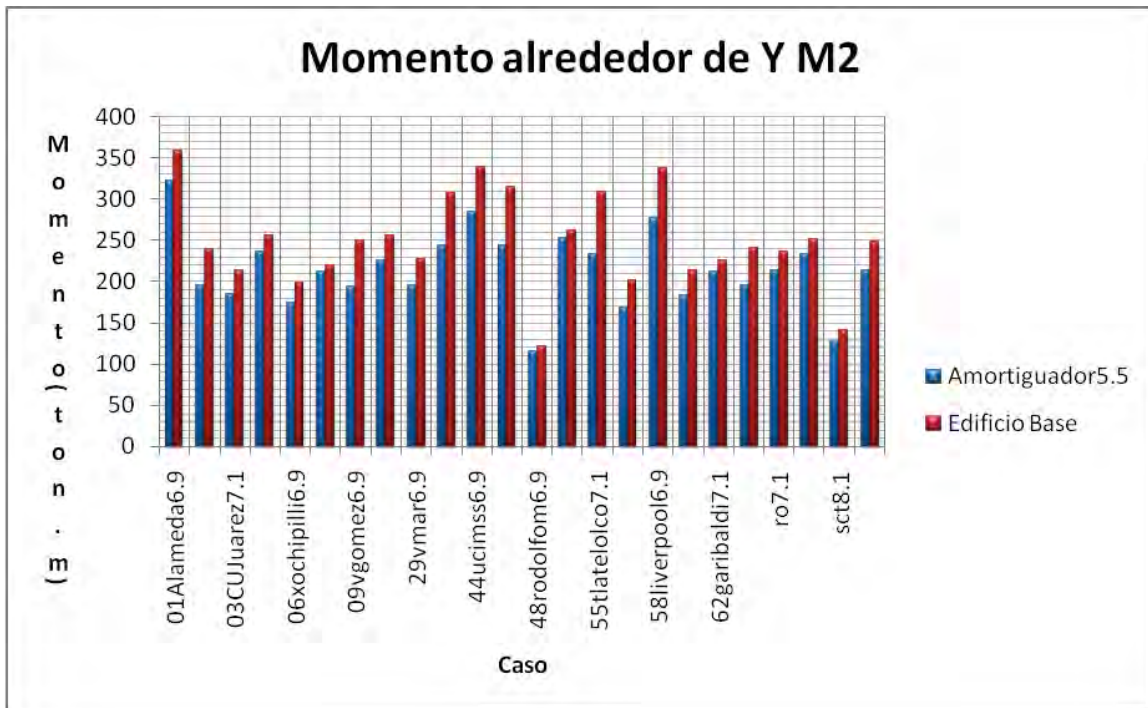


Figura 5.60.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5.

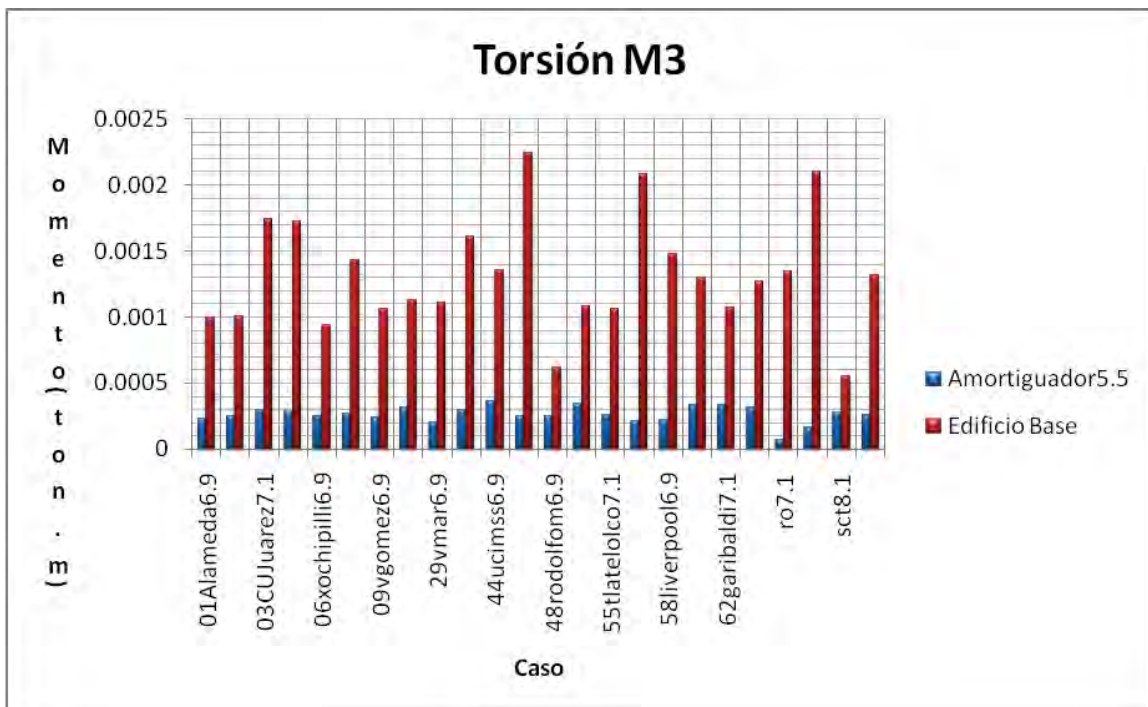


Figura 5.61.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.5.

De las Figuras 5.56 a 5.61 se pudo observar un mejor comportamiento similar al presentado al utilizar el Amortiguador 1.1 sin la necesidad de inducir más no linealidad al amortiguador.

AMORTIGUADOR $C_n=5 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=0.1$

En este caso se utilizó un Coeficiente de Amortiguamiento $C_n=5 \text{ MN}/(\text{m/s})$, un exponente de amortiguamiento $n=0.1$. A diferencia de los casos anteriores en que bastó usar una rigidez 10,000 veces el coeficiente de amortiguamiento para obtener el comportamiento deseado, en este caso fue necesario usar una rigidez de 100,000 veces para poder obtener el comportamiento deseado de un amortiguador no lineal puramente viscoso. Como es costumbre el primer paso fue determinar los periodos y frecuencias de la estructura con los amortiguadores (Véase **Tabla 5.17**) además en la **Figura 5.62** se graficaron las primeras cuatro formas de vibrar de la estructura para ver si hubo cambios.

De los resultados de la **Tabla 5.17** y **Figura 5.62** se concluyó que los amortiguadores viscosos no producen ningún cambio en la forma de vibrar de la estructura sin importar que el comportamiento sea lineal o no lineal.

Tabla 5.17.- Periodos y Frecuencias del Edificio con Amortiguadores Viscosos $C_n=5 \text{ MN}/(\text{m/s})$, $n=0.1$

TABLA: PERIODOS Y FRECUENCIAS Amortiguador ($C_n=5\text{MN}/(\text{m/s})$, $n=0.1$)																	
Caso	Tipo	Modo	Periodo			Frecuencia			Caso	Tipo	Modo	Periodo			Frecuencia		
			Sec	Cyc/sec	rad/sec	Sec	Cyc/sec	rad/sec				Sec	Cyc/sec	rad/sec			
MODAL	Mode	1	1.005537	0.99449	6.2486	MODAL	Mode	26	0.103181	9.6917	60.895						
MODAL	Mode	2	0.964742	1.0365	6.5128	MODAL	Mode	27	0.101746	9.8284	61.753						
MODAL	Mode	3	0.914323	1.0937	6.872	MODAL	Mode	28	0.096665	10.345	64.999						
MODAL	Mode	4	0.330139	3.029	19.032	MODAL	Mode	29	0.095037	10.522	66.113						
MODAL	Mode	5	0.326424	3.0635	19.249	MODAL	Mode	30	0.094114	10.625	66.762						
MODAL	Mode	6	0.303307	3.297	20.716	MODAL	Mode	31	0.092993	10.754	67.566						
MODAL	Mode	7	0.180586	5.5375	34.793	MODAL	Mode	32	0.091491	10.93	68.675						
MODAL	Mode	8	0.174398	5.734	36.028	MODAL	Mode	33	0.090454	11.055	69.463						
MODAL	Mode	9	0.162215	6.1647	38.734	MODAL	Mode	34	0.088979	11.239	70.614						
MODAL	Mode	10	0.147685	6.7711	42.544	MODAL	Mode	35	0.088183	11.34	71.252						
MODAL	Mode	11	0.143428	6.9721	43.807	MODAL	Mode	36	0.087476	11.432	71.828						
MODAL	Mode	12	0.136641	7.3185	45.983	MODAL	Mode	37	0.087163	11.473	72.085						
MODAL	Mode	13	0.130237	7.6783	48.244	MODAL	Mode	38	0.086628	11.544	72.53						
MODAL	Mode	14	0.127436	7.8471	49.304	MODAL	Mode	39	0.085722	11.666	73.297						
MODAL	Mode	15	0.127097	7.868	49.436	MODAL	Mode	40	0.083097	12.034	75.613						
MODAL	Mode	16	0.125418	7.9733	50.098	MODAL	Mode	41	0.082845	12.071	75.842						
MODAL	Mode	17	0.121811	8.2094	51.581	MODAL	Mode	42	0.082745	12.085	75.934						
MODAL	Mode	18	0.120642	8.289	52.081	MODAL	Mode	43	0.082277	12.154	76.366						
MODAL	Mode	19	0.117638	8.5006	53.411	MODAL	Mode	44	0.081403	12.285	77.186						
MODAL	Mode	20	0.114689	8.7192	54.785	MODAL	Mode	45	0.08117	12.32	77.407						
MODAL	Mode	21	0.114622	8.7243	54.816	MODAL	Mode	46	0.081057	12.337	77.515						
MODAL	Mode	22	0.111423	8.9748	56.391	MODAL	Mode	47	0.080439	12.432	78.112						
MODAL	Mode	23	0.107261	9.323	58.578	MODAL	Mode	48	0.079106	12.641	79.428						
MODAL	Mode	24	0.10712	9.3353	58.656	MODAL	Mode	49	0.07861	12.721	79.929						
MODAL	Mode	25	0.103745	9.639	60.564	MODAL	Mode	50	0.078483	12.742	80.058						

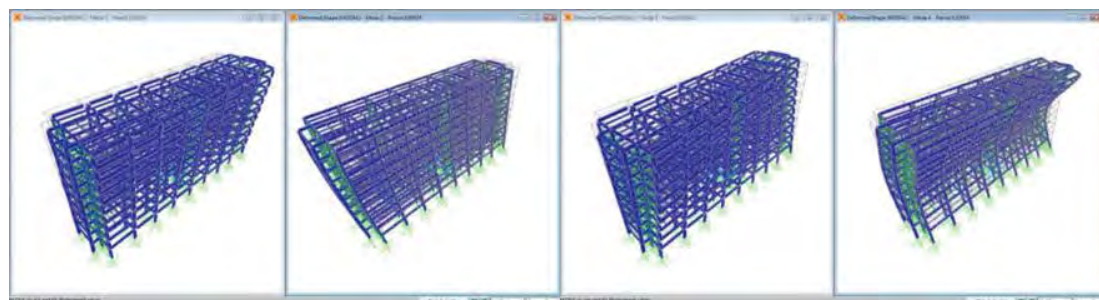


Figura 5.62.- De Izquierda a Derecha del Primer al Cuarto Modo de Vibrar de la Estructura (Amortiguador5.1)

Enseguida se comprobó el comportamiento de los amortiguadores, mediante graficas de los ciclos de histéresis bajo la acción de seis acelerogramas para el amortiguador 51 (seleccionado previamente). Los resultados se muestran en las **Figuras 5.63 a 5.65**.

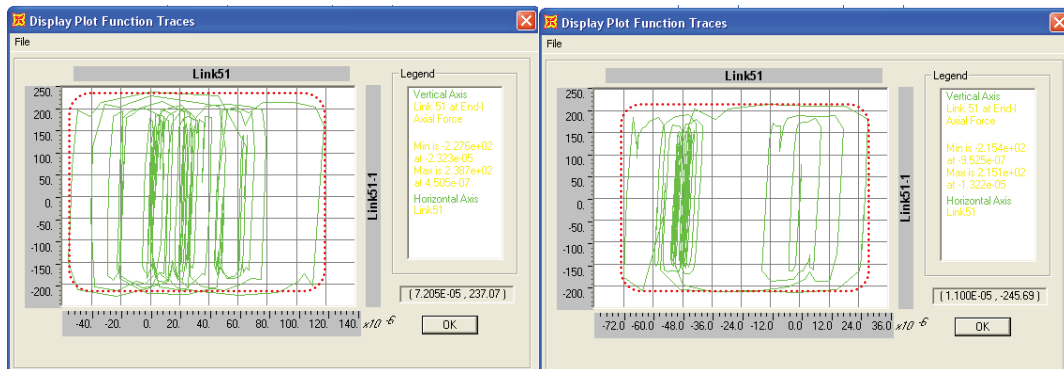


Figura 5.63.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.1).

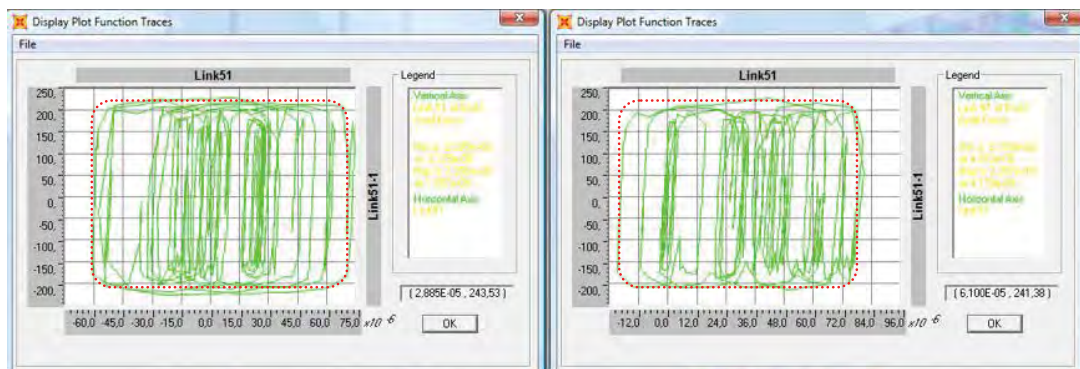


Figura 5.64.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.1).

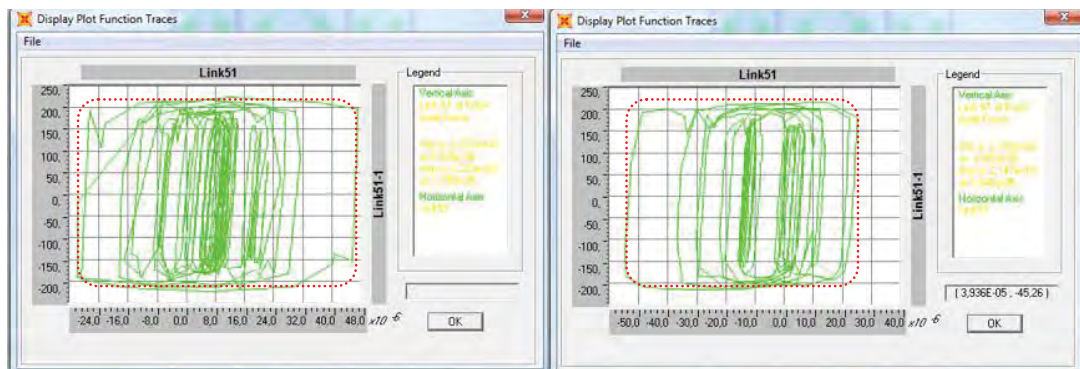


Figura 5.65.- A la derecha ciclo de histéresis bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (Amortiguador5.1).

La línea punteada en color rojo representa aproximadamente la envolvente para cada caso utilizado. Se observa una envolvente en forma rectangular redondeada en las esquinas lo cual nos indica un comportamiento viscoso no lineal. El paso anterior fue realizado varias veces debido a que en este caso no se logró el comportamiento deseado

hasta aumentar la rigidez del resorte a un valor considerablemente alto mencionado al inicio de este caso.

A continuación en la **Figura 5.66** se muestran los desplazamientos de la estructura utilizando el sistema de amortiguadores (Amortiguador 5.1) a la derecha los desplazamientos normalizados en función de los desplazamientos de entrepiso máximos permitidos y a mano izquierda los desplazamientos máximos de entrepiso.

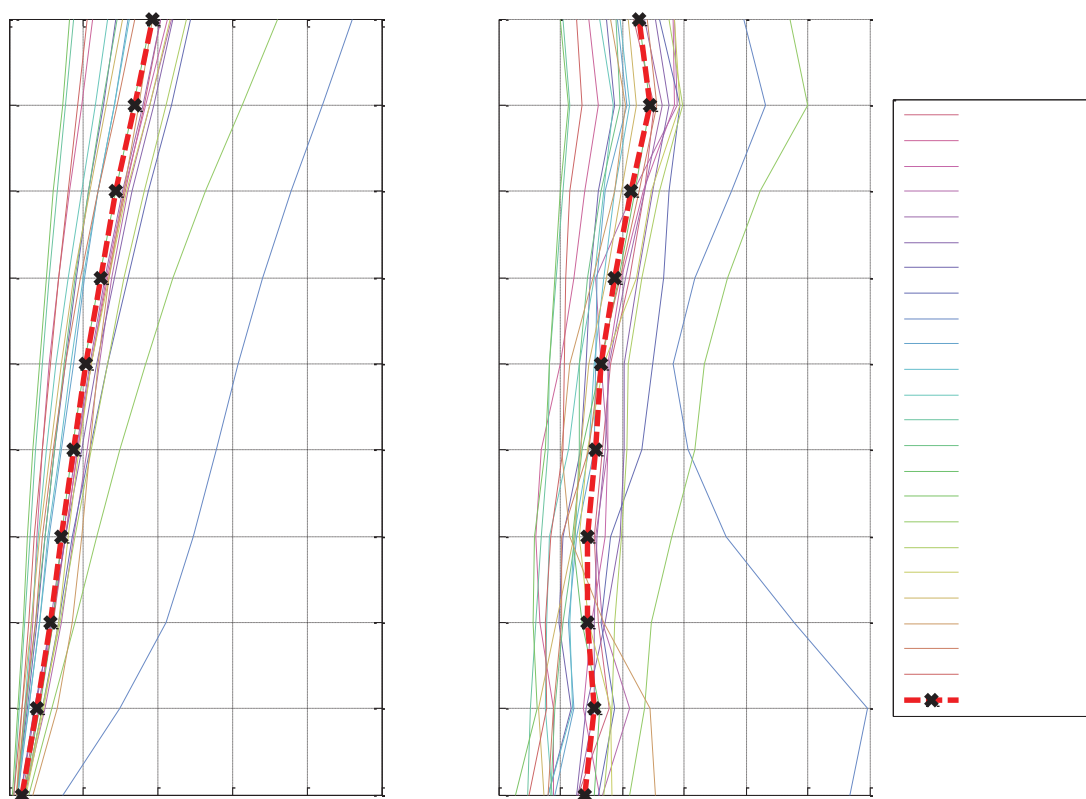


Figura 5.66.- Desplazamientos Máximos de Entrepiso a la Izquierda y a la Derecha Desplazamientos Máximos Normalizados. Caso Edificio con Amortiguadores5.1

Se observa que el máximo desplazamiento para este caso no lo provoca el acelerograma de RORoma6.9. El promedio tiene un desplazamiento máximo en el nivel 10 de aproximadamente 0.2 cm y un desplazamiento normalizado relativo de entrepiso máximo promedio de 0.075.

A continuación se procedió a obtener las reacciones máximas y mínimas en el apoyo 373 (seleccionado anteriormente). Los resultados se presentaron en las **Tablas 5.18** y **5.19**.

Tabla 5.18.- Reacciones máximas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 5.1)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Máximas (Edificio con Amortiguadores 5.1)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Max	26.22	0.21	41.43	0.67	70.12	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Max	15.18	0.15	29.96	0.67	40.64	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Max	46.46	0.34	46.02	1.28	124.11	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Max	53.75	0.30	42.02	1.16	143.48	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Max	35.99	0.48	33.91	0.13	96.06	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Max	50.65	0.62	66.07	0.51	135.62	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Max	35.29	0.20	29.98	0.43	93.97	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Max	34.19	0.67	50.02	0.35	91.19	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Max	44.48	0.09	56.10	3.79	118.64	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Max	40.57	0.32	42.83	0.69	108.71	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Max	34.66	0.37	24.33	0.24	93.52	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Max	33.12	0.43	42.31	0.63	88.96	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Max	22.36	0.25	20.90	0.45	59.33	0.00
373	53simon6.9	NonModHist	Max	50.62	0.44	37.47	0.36	135.54	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Max	23.25	0.13	30.03	1.10	62.09	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Max	26.04	0.17	20.26	0.18	68.83	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Max	58.22	0.79	45.67	1.32	156.10	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Max	18.08	0.17	31.85	1.14	47.79	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Max	47.09	0.37	33.16	1.29	126.07	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Max	36.45	0.43	34.42	0.42	97.85	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Max	32.79	0.90	26.24	0.04	87.71	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Max	37.16	0.17	29.68	0.65	99.98	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Max	19.61	0.18	19.94	0.19	51.99	0.00
373	Promedio	Promedio	Max	35.75	0.36	36.29	0.77	95.58	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Max	91.4	29.6	423	63.936	248.65	0.0013
		Diferencia %	Max	60.9	98.8	91.4	98.8	61.6	97.5

Tabla 5.19.- Reacciones mínimas de nudo 373 ante acciones sísmicas (Edificio con Amortiguadores 5.1)

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Edificio con Amortiguadores 5.1)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373	01Alameda6.9	NonModHist	Min	-42.21	-0.41	-35.39	-0.45	-112.87	0.00
373	01Alameda7.1	NonModHist	Min	-34.24	-0.35	-18.82	-0.19	-91.71	0.00
373	03CUJuarez7.1	NonModHist	Min	-62.85	-0.73	-43.78	-0.45	-167.80	0.00
373	04cupj7.1	NonModHist	Min	-48.28	-0.58	-51.83	-0.42	-128.85	0.00
373	06xochipilli6.9	NonModHist	Min	-33.57	-0.07	-45.02	-0.87	-89.67	0.00
373	08tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-60.53	-0.38	-53.46	-0.97	-162.47	0.00
373	09vgomez6.9	NonModHist	Min	-34.12	-0.28	-30.00	-0.22	-91.13	0.00
373	10pelias7.1	NonModHist	Min	-49.98	-0.25	-41.75	-1.16	-133.66	0.00
373	29vmar6.9	NonModHist	Min	-64.66	-1.97	-41.31	-0.09	-172.63	0.00
373	43jamaica7.1	NonModHist	Min	-32.20	-0.34	-48.09	-0.55	-85.83	0.00
373	44ucimss6.9	NonModHist	Min	-28.03	-0.19	-33.95	-0.57	-74.94	0.00
373	45balderas6.9	NonModHist	Min	-48.84	-0.43	-25.52	-0.64	-130.91	0.00
373	48rodolfom6.9	NonModHist	Min	-13.56	-0.33	-22.22	-0.31	-35.77	0.00
373	53simon6.9	NonModHist	Min	-40.59	-0.22	-51.57	-0.58	-108.66	0.00
373	55tlatelolco7.1	NonModHist	Min	-23.73	-0.63	-18.83	-0.13	-63.60	0.00
373	56cordoba7.1	NonModHist	Min	-21.86	-0.15	-21.34	-0.17	-58.41	0.00
373	58liverpool6.9	NonModHist	Min	-55.73	-0.76	-50.47	-1.30	-149.24	0.00
373	59candelaria6.9	NonModHist	Min	-15.28	-0.74	-21.04	-0.15	-40.05	0.00
373	62garibaldi7.1	NonModHist	Min	-37.16	-0.73	-39.18	-0.58	-99.60	0.00
373	ro6.9	NonModHist	Min	-37.80	-0.34	-34.59	-0.59	-101.14	0.00
373	ro7.1	NonModHist	Min	-36.43	-0.03	-35.88	-1.73	-97.56	0.00
373	ro-c7.1	NonModHist	Min	-19.97	-0.39	-32.25	-0.18	-53.40	0.00
373	sct8.1	NonModHist	Min	-15.65	-0.10	-22.01	-0.29	-41.30	0.00
373	Promedio	Promedio	Min	-37.27	-0.45	-35.58	-0.55	-99.62	0.00
373	Edificio Base	Promedio	Min	-85.32	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	-0.001
		Diferencia %	Min	56.3	98.5	91.3	99.1	57.1	96.8

En este caso se observa una gran reducción para las fuerzas verticales (F3), Cortante en Dirección Y (F2) y momento alrededor de X (M1) mayores en todos los caso al 90%.

A continuación se muestran gráficamente los datos de la **Tabla 5.18**.

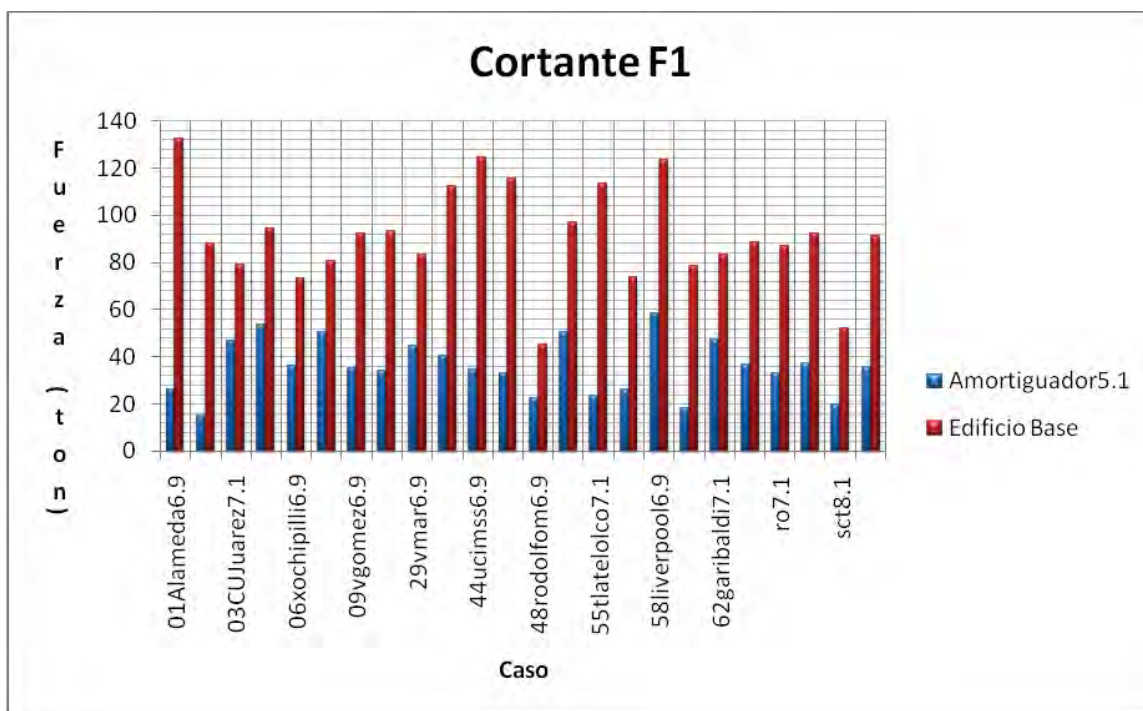


Figura 5.67.-Fuerzas cortantes máximas en dirección X (F1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.

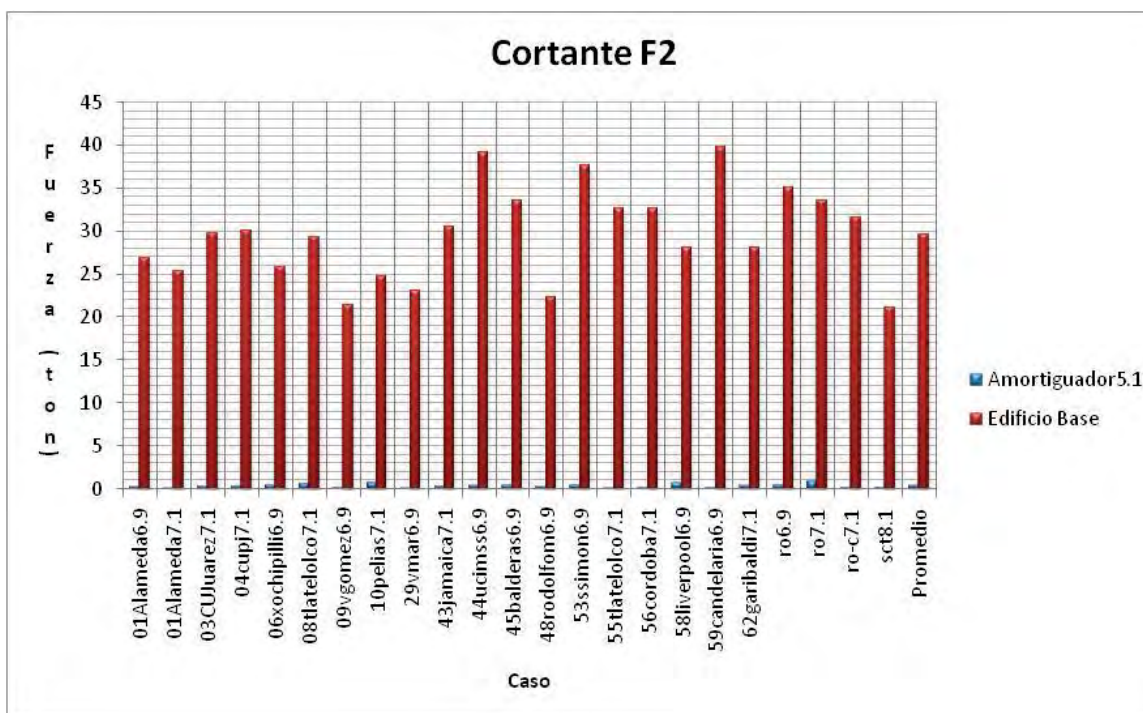


Figura 5.68.-Fuerzas cortantes máximas en dirección Y (F2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.

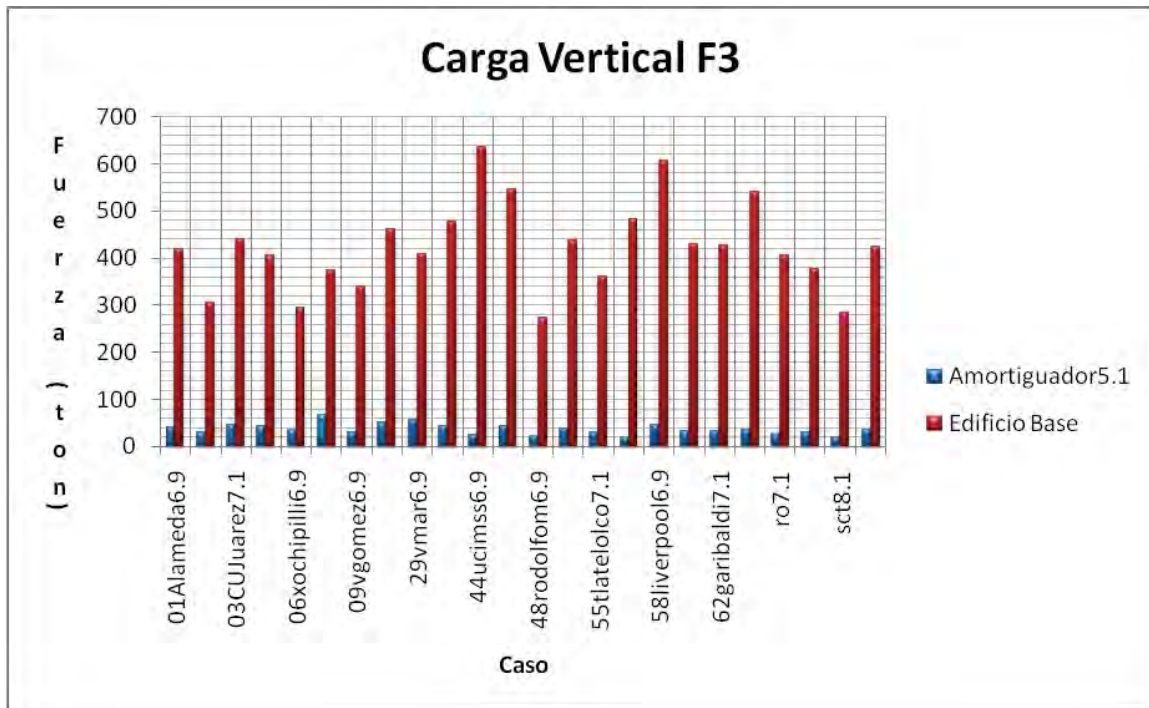


Figura 5.69.-Fuerzas verticales máximas en dirección -Z (F3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.

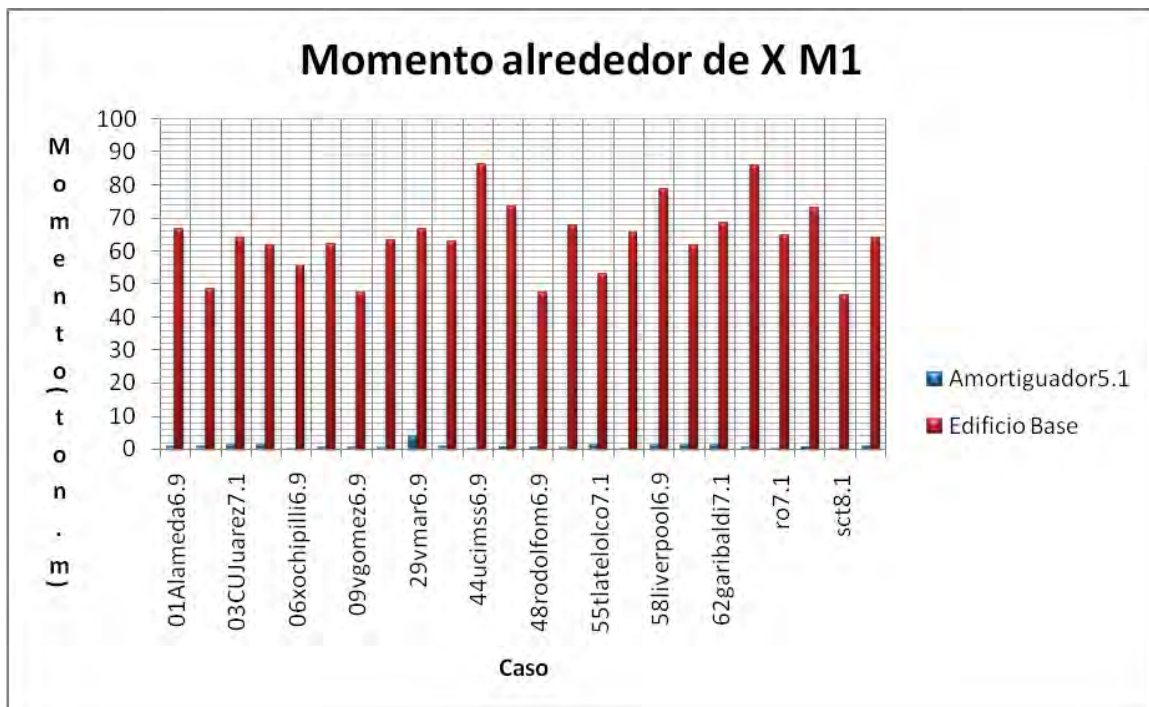


Figura 5.70.-Momentos máximos alrededor de X (M1) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.

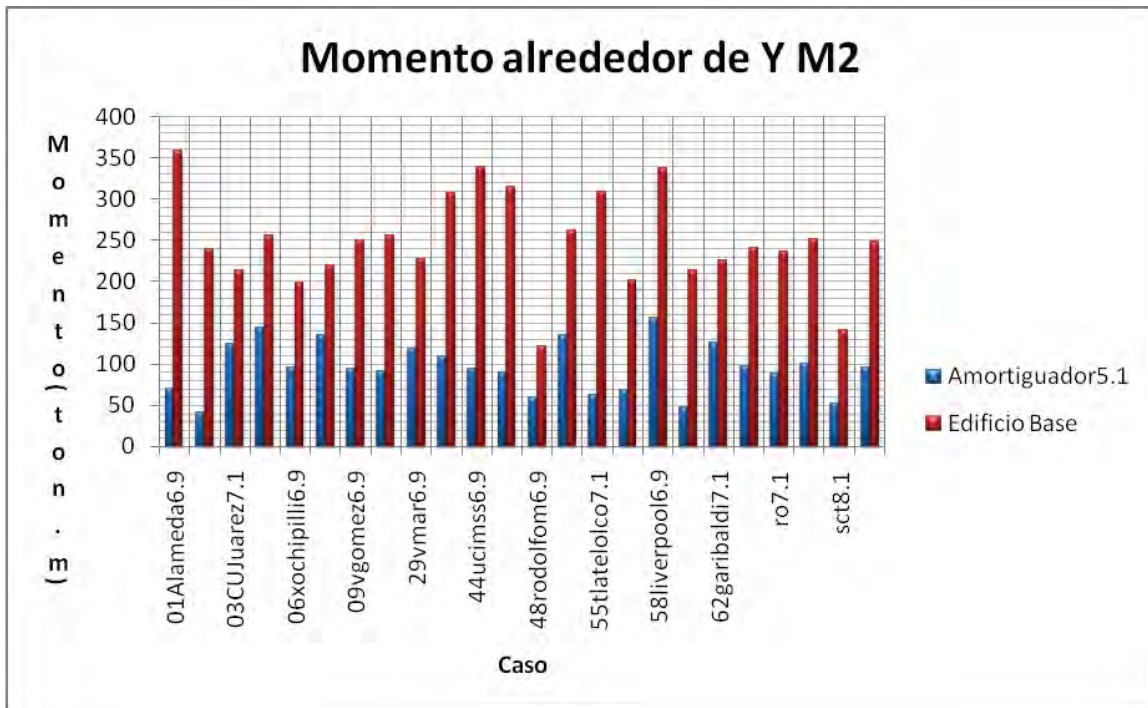


Figura 5.71.-Momentos máximos alrededor de Y (M2) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.

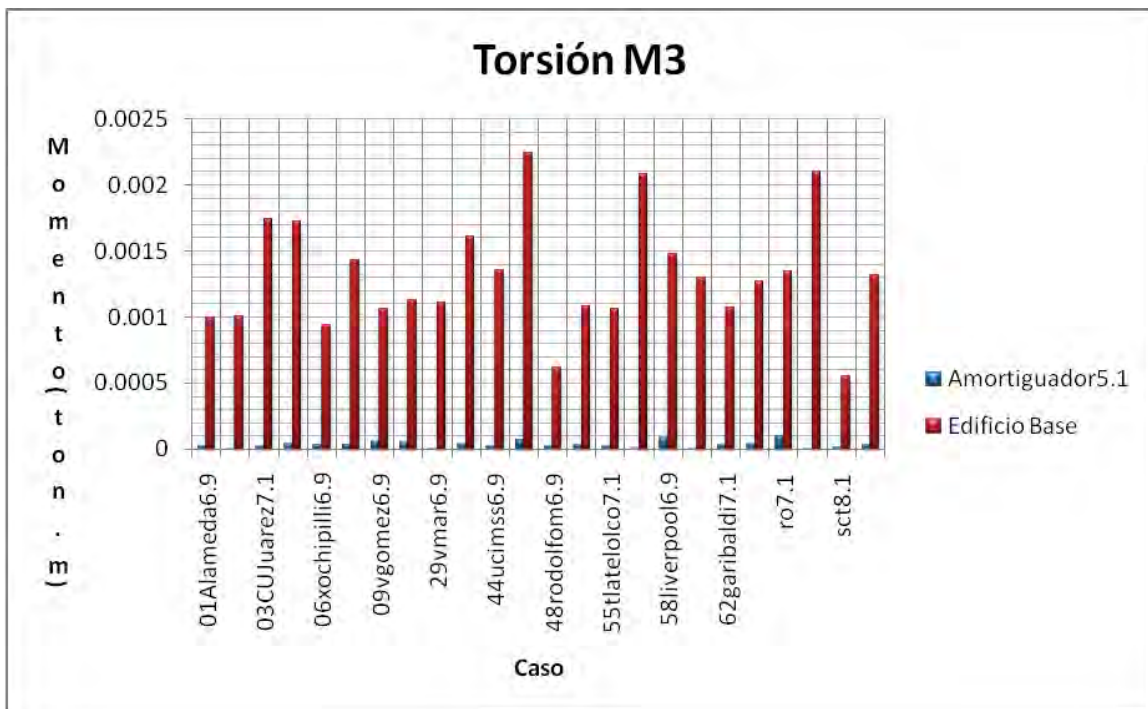


Figura 5.72.-Momentos Torsionantes máximos alrededor de Z (M3) comparación Edificio Base contra Edificio con Amortiguador5.1.

De las **Figuras 5.67 a 5.72** se observó una disminución enorme en todas las reacciones al utilizar el Amortiguador 5.1 lo que sería demasiado para una aplicación práctica.

6. COMPARACIÓN DE RESPUESTA.

En el presente capítulo se presentaran los resultados de la respuesta del edificio bajo las diversas condiciones de interés. Los casos de análisis para este trabajo como ya se han mencionado son ocho:

- ✓ Edificio Base: edificio sismo resistente sin ningún tipo de dispositivo disipador de energía.
- ✓ Edificio con Contravientos: como su nombre lo dice, edificio con contravientos tradicionales.
- ✓ Edificio con Amortiguador 1.0: edificio con adición de amortiguadores con $C_n=1.0$ y $n=1.0$.
- ✓ Edificio con Amortiguador 1.5: edificio con adición de amortiguadores con $C_n=1.0$ y $n=0.5$.
- ✓ Edificio con Amortiguador 1.1: edificio con adición de amortiguadores con $C_n=1.0$ y $n=0.1$.
- ✓ Edificio con Amortiguador 5.0: edificio con adición de amortiguadores con $C_n=5.0$ y $n=1.0$.
- ✓ Edificio con Amortiguador 5.0: edificio con adición de amortiguadores con $C_n=5.0$ y $n=0.5$.
- ✓ Edificio con Amortiguador 5.0: edificio con adición de amortiguadores con $C_n=5.0$ y $n=0.1$.

En todos los casos se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Periodos y Frecuencias.
- Fuerzas en Amortiguador 51 determinado como crítico. Resultantes de los ciclos de histéresis utilizados para comprobar el comportamiento de los amortiguadores.
- Reacciones promedio en el apoyo (nudo 373).
- Desplazamientos promedios máximos en el mismo marco que contiene al amortiguador 51.

Los resultados se presentaran en el orden que han sido mencionados, en el capítulo 7 se darán las conclusiones obtenidas a partir de estos resultados.

6.1. Periodos y Frecuencias

Se empezó comparando los periodos de los diferentes casos. Este punto se realizó para verificar que los amortiguadores no aumentaran la rigidez de la estructura, en caso de que los periodos cambiaran se pensaría en que de alguna forma se indujo rigidez a la estructura lo que arrojaría resultados erróneos. Lo anterior se realizó mediante la comparación de los resultados de periodos plasmados en las tablas siguientes (Ver **Tabla 6.1**):

Tabla 6.1.- Relación de tablas de periodos y frecuencias para los diferentes casos

Caso Analizado	T ₁ , T ₂ (segundos)	Tabla de Referencia
Edificio Base sin contravientos	1.0055,0.9647	Tabla 4.1
Edificio con contravientos	0.9335,0.7799	Tabla 4.4
Edificio con amortiguadores (Cn=1MN/(m/s), n=1.0)	1.0055,0.9647	Tabla 5.2
Edificio con amortiguadores (Cn=1MN/(m/s), n=0.5)	1.0055,0.9647	Tabla 5.5
Edificio con amortiguadores (Cn=1MN/(m/s), n=0.1)	1.0055,0.9647	Tabla 5.8
Edificio con amortiguadores (Cn=5MN/(m/s), n=1.0)	1.0055,0.9647	Tabla 5.11
Edificio con amortiguadores (Cn=5MN/(m/s), n=0.5)	1.0055,0.9647	Tabla 5.14
Edificio con amortiguadores (Cn=5MN/(m/s), n=0.1)	1.0055,0.9647	Tabla 5.17

Las tablas del edificio con amortiguadores, para todos los casos, son iguales a la tabla de periodos y frecuencias del Edificio Base, por lo que únicamente se hizo la comparación entre el Edificio con contravientos y el Edificio Base.

Retomando la comparación de los periodos del capítulo 4, se nota un cambio en el comportamiento al agregar los contravientos. El primer cambio de consideración se presentó en que los modos uno y dos de la configuración sin contravientos intercambiaron lugares. Esto es ahora el primer modo es un desplazamiento en dirección X y el segundo un desplazamiento en dirección Y opuesto a lo que sucedía anteriormente. Además los periodos se ven disminuidos para el desplazamiento en dirección X el periodo sin contravientos era $T=0.9647$ segundos y en este caso cambia a 0.9334 segundos esto representa una disminución de 3.24% en relación con el primero, el periodo para desplazamiento en dirección Y disminuye en un 22.45% al pasar de 1.0055 a 0.7798 segundos. En si todos los periodos se ven disminuidos. El tercer y cuarto modo ambos son de torsión alrededor del eje Z y de la misma forma sus periodos se ven reducidos. Los cambios anteriores se deben más que nada al aumento de rigidez producida al agregar los contravientos.

En el caso de los amortiguadores viscosos, no se produce cambio en el periodo debido a que los amortiguadores no proporcionan mayor rigidez a la estructura, solo aumentan el amortiguamiento de la misma. En si se podría esperar cambios en el periodo debido a la masa de los amortiguadores, pero si esta es pequeña en comparación con la masa total del edificio el cambio en periodos será mínimo.

6.2. Fuerzas en los amortiguadores

Se realizó una comparación entre las fuerzas máximas producidas en los amortiguadores para esto se utilizó los ciclos histeréticos usados para comprobar el comportamiento de los amortiguadores. En este caso se seleccionó únicamente seis de los ciclos histeréticos por facilidad y rapidez, dentro de los ciclos histeréticos se encuentra el de RORoma6.9 el cual causo el mayor desplazamiento en la mayoría de los casos en los que se utilizaron amortiguadores.

Además se agregaron las curvas de Tiempo contra Fuerza para el contraviento ubicado en el mismo lugar que el amortiguador 51, para hacer la comparación de las Fuerzas máximas (Elemento Barra 1380). De la **Figura 6.1** A la **Figura 6.3** se presentan las graficas de fuerza contra tiempo para los seis acelerogramas seleccionados.

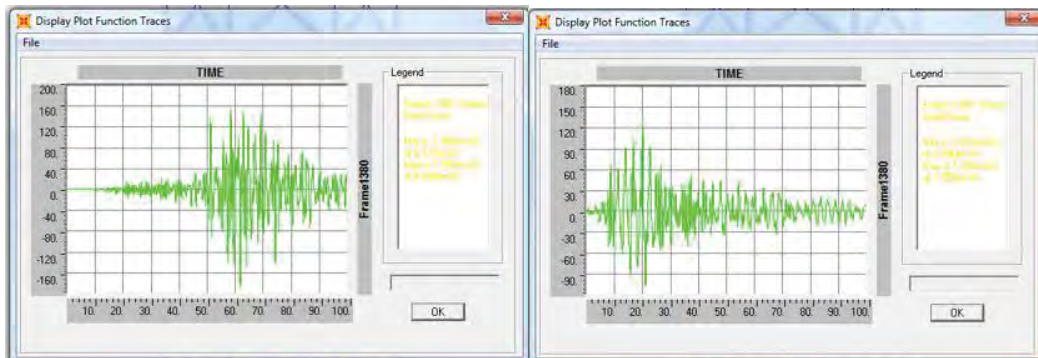


Figura 6.1.- A la derecha curva Tiempo contra Fuerza bajo acelerograma 06Xochipilli6.9, y a la izquierda bajo la acelerograma 01Alameda6.9 para Amortiguador 51 (contraviento A).

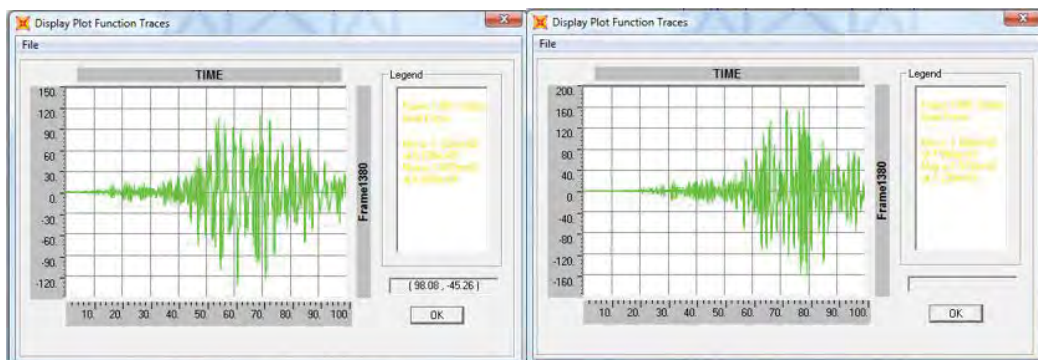


Figura 6.2.- A la derecha curva Tiempo contra Fuerza bajo acelerograma 55Tlatelolco7.1, y a la izquierda bajo la acelerograma 43Jamaica7.1 para Amortiguador 51 (contraviento A).

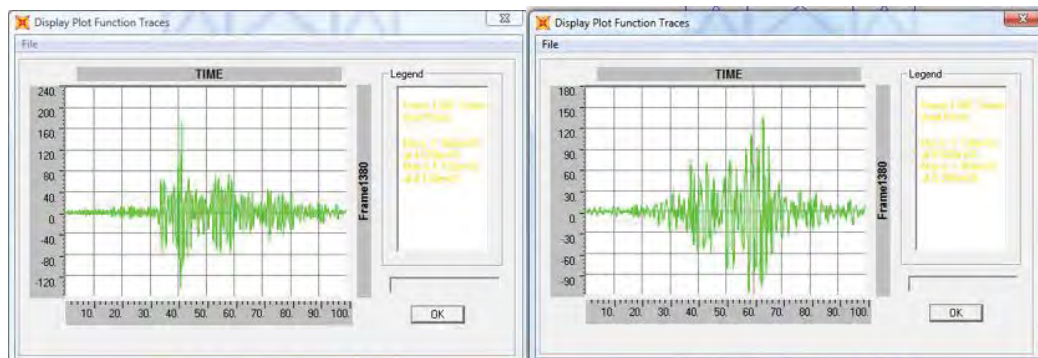


Figura 6.3.- A la derecha curva Tiempo contra Fuerza bajo acelerograma SCSct8.1, y a la izquierda bajo la acelerograma RORoma6.9 para Amortiguador 51 (contraviento A).

En la **Tabla 6.2** aparecen las fuerzas máximas en toneladas para el amortiguador 51 para los casos mencionados, y las fuerzas máximas en el contraviento correspondiente tomadas de las figuras anteriores. Los valores fueron extraídos de las graficas de ciclos histeréticos presentados en el capítulo 5.

Tabla 6.2.- Fuerzas máximas en Amortiguadores resultantes de los ciclos de histeréticos usados para verificar comportamiento.

Amortiguador	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
Contraviento A	155	135	110	157	172	137
Amortiguador1.0	5.74	2.92	5.2	4.9	6.97	3.15
Amortiguador1.5	21.57	13.13	19.34	19.62	25.61	17.09
Amortiguador1.1	68.07	68.78	67.93	69.65	72.51	69.91
Amortiguador5.0	25.45	13.96	20.95	20.98	32.80	14.88
Amortiguador5.5	75.29	60.03	77.21	77.57	99.31	76.48
Amortiguador5.1	239.7	215.1	228.6	228.7	223.3	214.7

(1)01Alameda6.9, (2)06Xochipilli6.9, (3)43Jamaica7.1, (4)55Tlatelolco7.1, (5) RORoma6.9, (6) SCSct8.1.
Fuerzas en toneladas.

La **Tabla 6.2** nos muestra un aumento en la fuerza del amortiguador al incrementar el comportamiento no lineal del mismo, también que en la mayoría de los casos se tiene una fuerza menor con amortiguador que con contraviento. Tomando como base los amortiguadores Amortiguador1.0 y Amortiguador5.0 se normalizó la **Tabla 6.2** para ver el aumento de las fuerzas al inducir el comportamiento viscoso en los amortiguadores, los resultados son presentados en la **Tabla 6.3**.

Tabla 6.3.- Fuerzas máximas en Amortiguadores resultantes normalizadas respecto a los casos lineales.

Amortiguador	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
Amortiguador1.0	1	1	1	1	1	1
Amortiguador1.5	3.76	4.50	3.72	4.00	3.67	5.43
Amortiguador1.1	11.86	23.55	13.06	14.21	10.40	22.19
Amortiguador5.0	1	1	1	1	1	1
Amortiguador5.5	2.96	4.30	3.69	3.70	3.03	5.14
Amortiguador5.1	9.42	15.41	10.91	10.90	6.81	14.43

Se observa en la **Tabla 6.3** que para cada caso se produce un incremento en la carga diferente dependiente de la velocidad excitadora.

Ahora para visualizar si existe una proporción en el cambio de C_n se tomó las fuerzas del amortiguador1.0, 1.5, 1.1 y en base a estas normalizamos las de los amortiguadores con $C_n=5 \text{ MN}/(\text{m/s})$. Los resultados se presentan en la **Tabla 6.4**.

Tabla 6.4.- Fuerzas máximas en Amortiguadores resultantes normalizadas respecto Amortiguador1.0, 1.5 y 1.1.

Amortiguador	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
Amortiguador1.0	1	1	1	1	1	1
Amortiguador1.5	1	1	1	1	1	1
Amortiguador1.1	1	1	1	1	1	1
Amortiguador5.0	4.43	4.78	4.03	4.28	4.71	4.72
Amortiguador5.5	3.49	4.57	3.99	3.95	3.88	4.48
Amortiguador5.1	3.52	3.13	3.37	3.28	3.08	3.07

(1)01Alameda6.9, (2)06Xochipilli6.9, (3)43Jamaica7.1, (4)55Tlatelolco7.1, (5) RORoma6.9, (6) SCSct8.1.
Fuerzas en toneladas.

De la **Tabla 6.4** se observa que la respuesta máxima no se obtiene escalando simplemente la respuesta y que a mayor grado de no linealidad la relación entre el amortiguador de $C_n=1$ y el de $C_n=5$ va reduciendo su magnitud, siendo más parecido su valor con el esperado para el caso lineal.

6.3. Reacciones en el apoyo

Se obtuvo los promedios máximos y mínimos de las reacciones presentadas en el apoyo 373, utilizado como punto de comparación. Los resultados son presentados en las **Tablas 6.5** y **6.6**.

Tabla 6.5.-Reacciones máximas promedio en apoyo 373.

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Maximas (Promedios)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373 Edificio Base	Promedio	Max	91.38	29.64	422.99	63.94	248.65	0.00	
373 Contravientos	Promedio	Max	77.25	14.88	265.62	30.93	212.88	0.00	
373 $C_n=1.0, n=1.0$	Promedio	Max	91.08	27.44	396.49	59.29	247.85	0.00	
373 $C_n=1.0, n=0.5$	Promedio	Max	88.72	23.65	343.43	51.52	241.35	0.00	
373 $C_n=1.0, n=0.1$	Promedio	Max	73.60	15.06	189.43	31.67	199.49	0.00	
373 $C_n=5.0, n=1.0$	Promedio	Max	89.81	24.71	358.93	53.85	244.33	0.00	
373 $C_n=5.0, n=0.5$	Promedio	Max	78.77	16.42	218.10	35.56	214.04	0.00	
373 $C_n=5.0, n=0.1$	Promedio	Max	35.75	0.36	36.29	0.77	95.58	0.00	

Tabla 6.6.-Reacciones mínimas promedio en apoyo 373.

Tabla: Reacciones en Nudo 373 Acciones Minimas (Promedios)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
373 Edificio Base	Promedio	Min	-85.32	-30.36	-408.13	-62.38	-232.04	0.00	
373 Contravientos	Promedio	Min	-72.66	-14.67	-256.81	-31.33	-200.09	0.00	
373 $C_n=1.0, n=1.0$	Promedio	Min	-84.88	-28.16	-380.68	-57.72	-230.83	0.00	
373 $C_n=1.0, n=0.5$	Promedio	Min	-81.61	-24.53	-325.16	-49.65	-221.88	0.00	
373 $C_n=1.0, n=0.1$	Promedio	Min	-68.75	-15.23	-182.14	-31.28	-186.03	0.00	
373 $C_n=5.0, n=1.0$	Promedio	Min	-83.12	-25.61	-341.18	-51.91	-226.02	0.00	
373 $C_n=5.0, n=0.5$	Promedio	Min	-71.16	-17.05	-210.79	-34.20	-192.98	0.00	
373 $C_n=5.0, n=0.1$	Promedio	Min	-37.27	-0.45	-35.58	-0.55	-99.62	0.00	

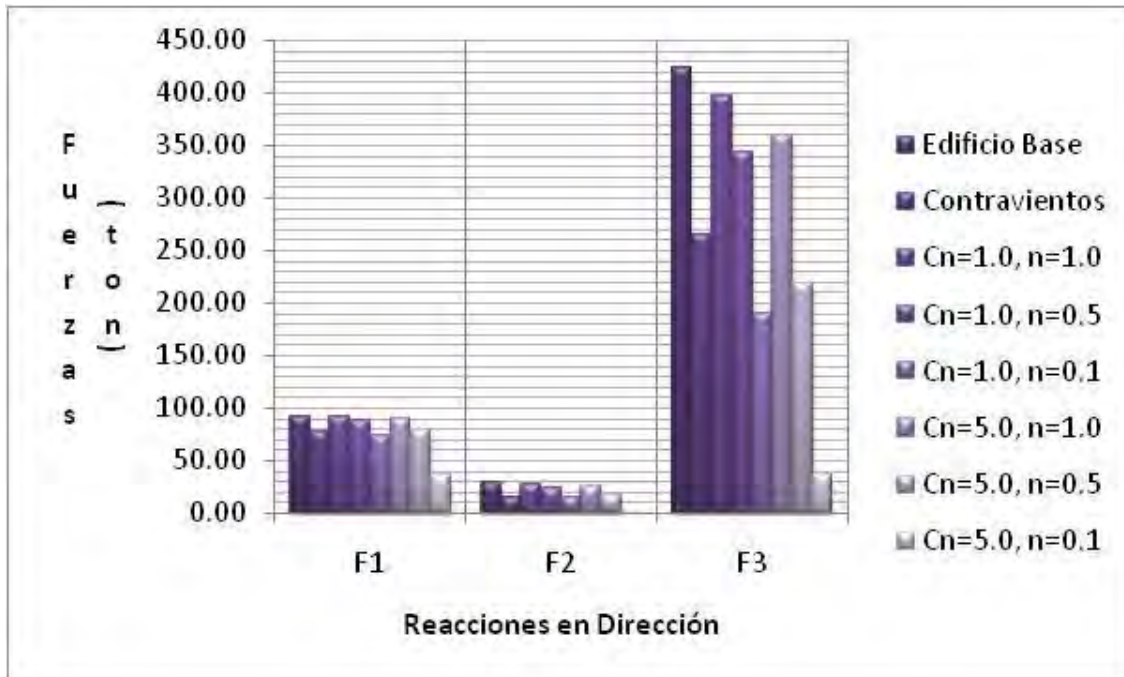


Figura 6.4.- Grafica de fuerzas máximas en el nudo 373 tomado como base

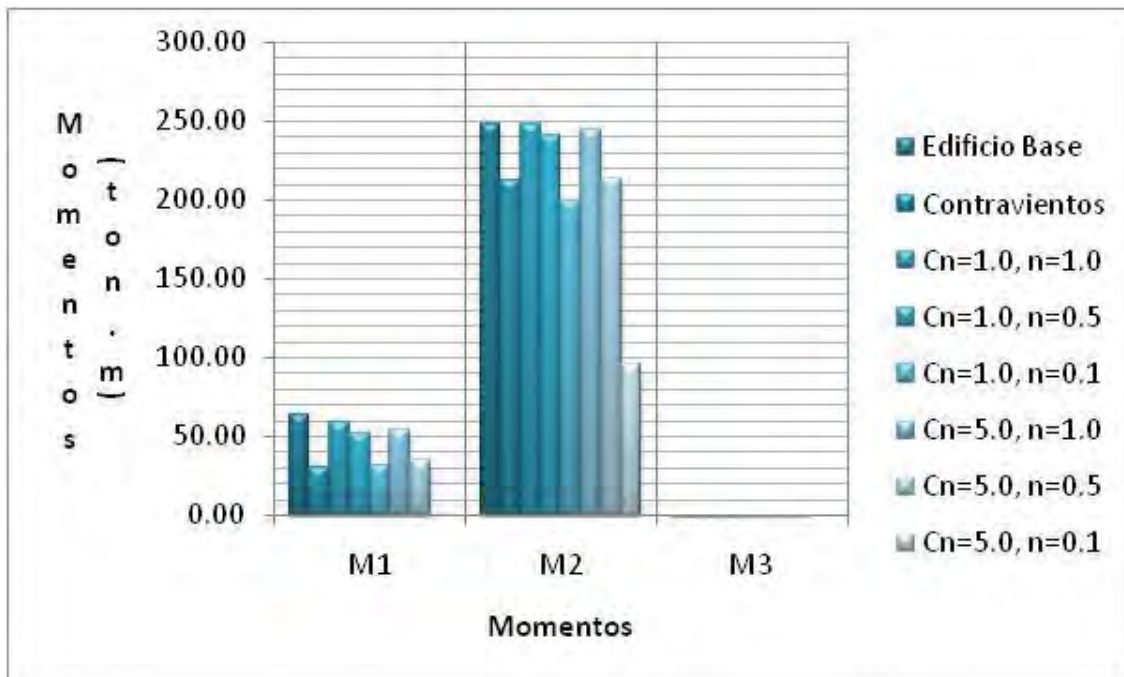


Figura 6.5.- Grafica de momentos máximos en el nudo 373 tomado como base

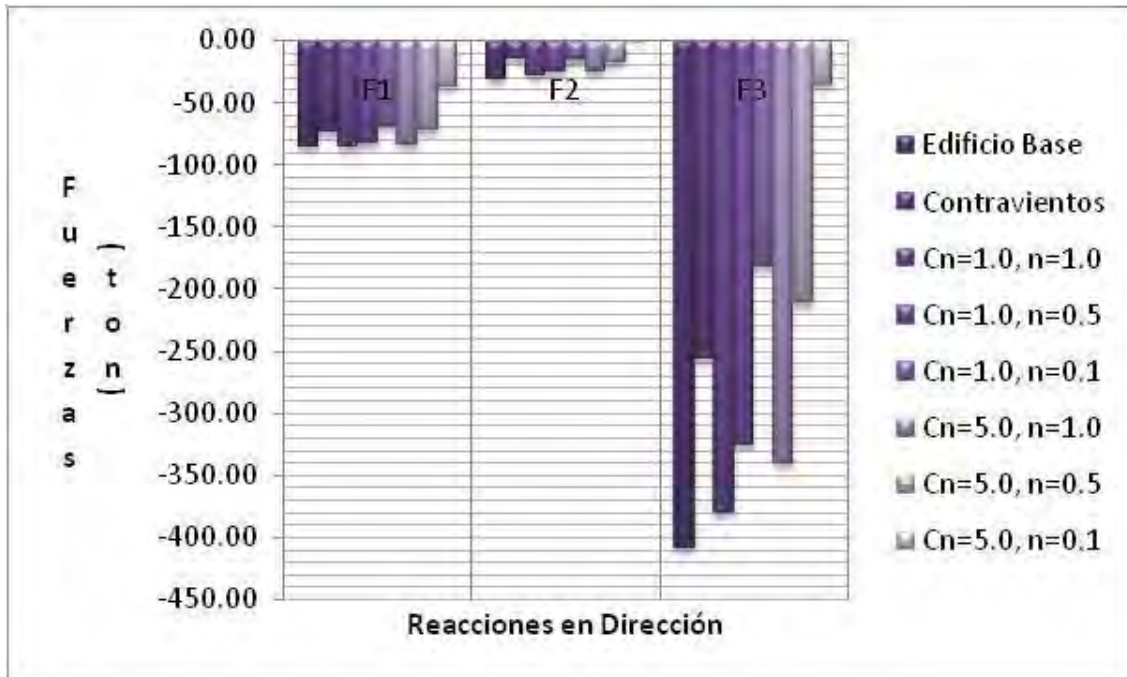


Figura 6.6.- Grafica de fuerzas mínimas en el nudo 373 tomado como base

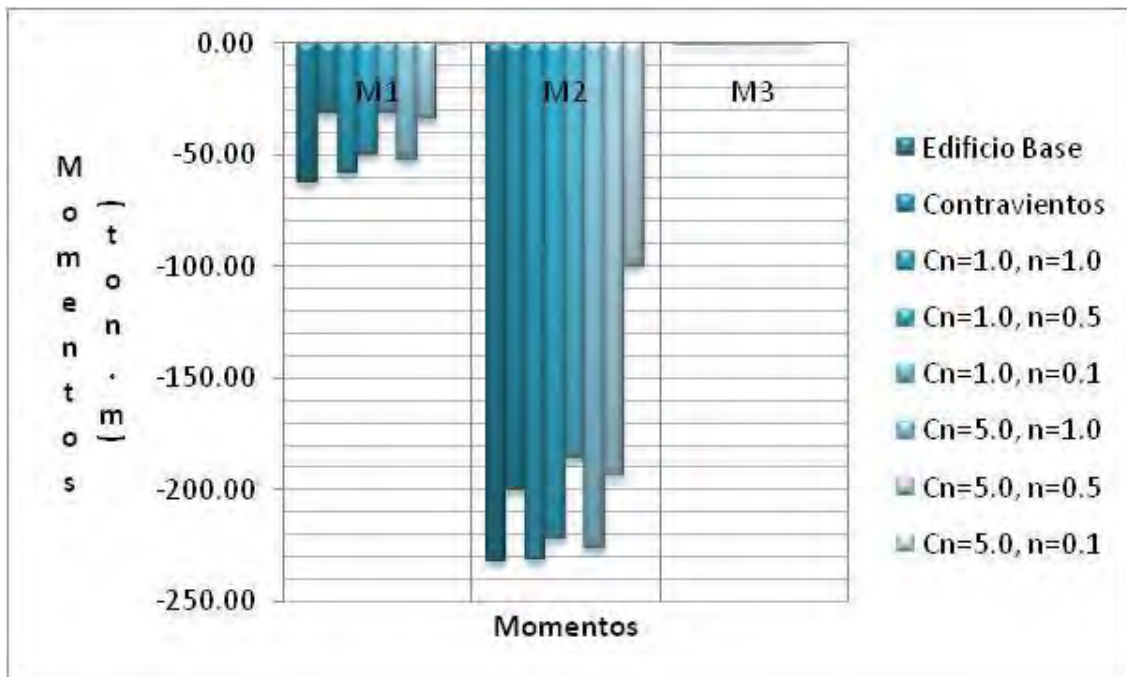


Figura 6.7.- Grafica de momentos mínimos en el nudo 373 tomado como base

Anteriormente se describió la dirección en que actúan las cargas. Para ver la diferencia en las reacciones al reforzar el edificio con los diferentes dispositivos, se procedió a sacar los porcentajes en que se reducen las fuerzas tomando como base el Edificio sin sistemas de disipación de energía. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 6.7** para los máximos y en la **Tabla 6.8** para los mínimos.

Tabla 6.7.-Porcentajes de reducción de reacciones máximas promedio en apoyo 373.

Tabla:% de Reducción en Reacciones en Nudo 373 Acciones Maximas (Promedios)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				%	%	%	%	%	%
373	Contravientos	Promedio	Max	15.46%	49.80%	37.20%	51.62%	14.38%	75.26%
373	Cn=1.0, n=1.0	Promedio	Max	0.32%	7.41%	6.27%	7.27%	0.32%	16.45%
373	Cn=1.0, n=0.5	Promedio	Max	2.91%	20.21%	18.81%	19.41%	2.93%	50.26%
373	Cn=1.0, n=0.1	Promedio	Max	19.46%	49.20%	55.22%	50.46%	19.77%	76.48%
373	Cn=5.0, n=1.0	Promedio	Max	1.72%	16.61%	15.14%	15.78%	1.74%	44.63%
373	Cn=5.0, n=0.5	Promedio	Max	13.80%	44.62%	48.44%	44.39%	13.92%	80.15%
373	Cn=5.0, n=0.1	Promedio	Max	60.88%	98.80%	91.42%	98.80%	61.56%	97.51%

Tabla 6.8.-Porcentajes de reducción de reacciones mínimas promedio en apoyo 373.

Tabla:% de Reducción en Reacciones en Nudo 373 Acciones Mínimas (Promedios)									
Nudo	Caso	Tipo	Paso	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				%	%	%	%	%	%
373	Contravientos	Promedio	Min	14.84%	51.69%	37.08%	49.77%	13.77%	73.95%
373	Cn=1.0, n=1.0	Promedio	Min	0.52%	7.26%	6.73%	7.47%	0.52%	16.54%
373	Cn=1.0, n=0.5	Promedio	Min	4.35%	19.23%	20.33%	20.40%	4.38%	50.91%
373	Cn=1.0, n=0.1	Promedio	Min	19.43%	49.84%	55.37%	49.86%	19.83%	77.05%
373	Cn=5.0, n=1.0	Promedio	Min	2.58%	15.67%	16.40%	16.78%	2.60%	45.11%
373	Cn=5.0, n=0.5	Promedio	Min	16.60%	43.83%	48.35%	45.17%	16.84%	79.75%
373	Cn=5.0, n=0.1	Promedio	Min	56.31%	98.51%	91.28%	99.12%	57.07%	96.83%

Revisando las tablas se observa que agregar contravientos tradicionales es similar en cuanto reacciones al caso con Amortiguador1.1 y al Amortiguador5.5 será necesario ver si los desplazamientos para estos tres casos son también similares. Algo que llama la atención es en el caso Amortiguador5.1 se tiene una reducción en las fuerzas de casi el 99% para las reacciones de interés, será necesario observar el comportamiento de este amortiguador.

6.4. Desplazamientos Máximos

La última comparación es la de los desplazamientos máximos en la estructura. Las **Figura 6.4** y **Figura 6.5** presentan los desplazamientos promedios máximos y desplazamientos promedios máximos normalizados respectivamente. Antes de llegar a este punto fue necesario obtener los desplazamientos máximos para los veintitrés acelerogramas utilizados y con base en estos los promedios máximos (estos resultados aparecen en el capítulo 5).

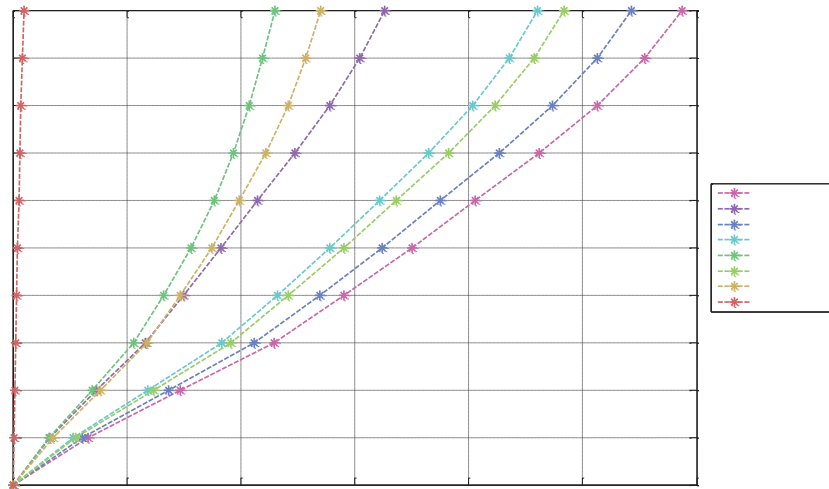


Figura 6.8.- Desplazamientos promedio máximos del edificio para los diferentes casos de análisis.

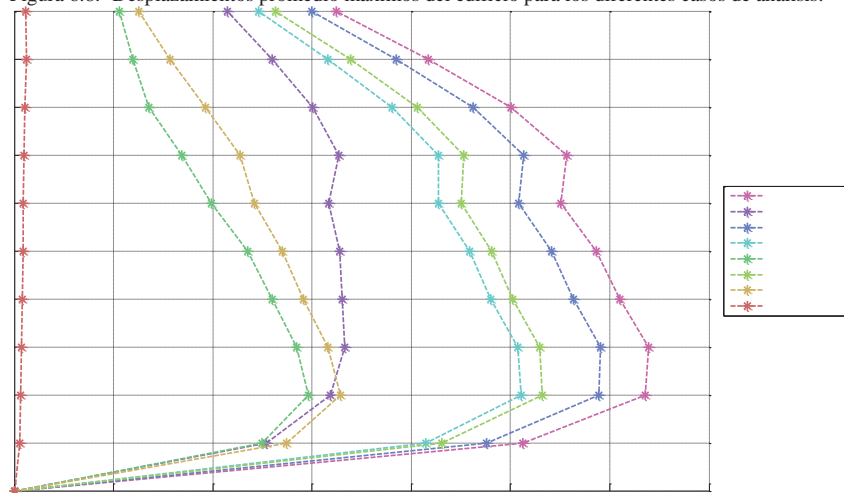


Figura 6.9.- Desplazamientos promedio máximos normalizados del edificio para los diferentes casos de análisis.

En la **Figura 6.8** se notan desplazamientos máximos producidos para el Edificio Base. Se observa que el amortiguador 5.1 produce los menores desplazamientos, pero a costa de inducir fuerzas demasiado elevadas al amortiguador como se vio anteriormente. Al igual que para las reacciones se observa un comportamiento similar entre el edificio con contravientos tradicionales y los amortiguadores 1.1 y 5.5.

En la **Figura 6.9** se ve que los desplazamientos normalizados para todos los casos de análisis son menores a la unidad, lo cual indica que el edificio no presentara daños excesivos ante los acelerogramas aplicados. Además se observaron máximos desplazamientos para el caso de Edificio Base y con cinco de los amortiguadores en los niveles dos y tres. En el caso del edificio con contravientos los máximos desplazamientos normalizados relativos de entrepiso se presentaron en los pisos superiores puede suponerse que el efecto se debe a que en el caso con contravientos se usaron tres diferentes contravientos a diferencia de los amortiguadores en los que solo se utilizó uno por caso de análisis.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- ✓ Los amortiguadores viscosos no provocan cambio en los periodos de la estructura, ni en la forma de sus modos de vibrar.
- ✓ Al aumentar la no linealidad en los amortiguadores disminuyen los desplazamientos en la estructura a costa de aumentos de consideración en las fuerzas en el amortiguador.
- ✓ Comprobamos que al variar el Coeficiente de Amortiguamiento dejando los demás parámetros inmóviles, la respuesta no es proporcional.
- ✓ Al usar amortiguadores se puede igualar la respuesta de los contravientos en cuanto a desplazamientos y al mismo tiempo reducir las fuerzas verticales transmitidas a la cimentación.
- ✓ En casos en que el tipo de terreno produzca el uso de cimentaciones costosas será recomendable usar amortiguadores viscosos de tipo lineal, así como en los casos en que se desee una reparación rápida de la estructura ante eventos mayores a los de diseño.

7.2. RECOMENDACIONES

Para futuros trabajos a continuación se mencionan algunas recomendaciones:

- 📖 Repetir los análisis de la estructura pero esta vez considerar la interacción suelo estructura.
- 📖 Llevar el edificio hasta la formación de articulaciones plásticas, una vez detectado donde se formaran modelar las articulaciones plásticas, para ver el comportamiento del modelo.
- 📖 Agregar a la comparación el uso de contravientos restringidos contra pandeo.
- 📖 Realizar el análisis con otros edificios para comparar resultados, todos ellos edificios de 10 niveles o próximos ubicados en la zona del lago de Texcoco en el DF o en algún suelo blando.

APÉNDICE A

En este apéndice se muestran las graficas de los acelerogramas utilizados en esta tesis. Comenzando por los acelerogramas originales y continuando con los acelerogramas escalados.

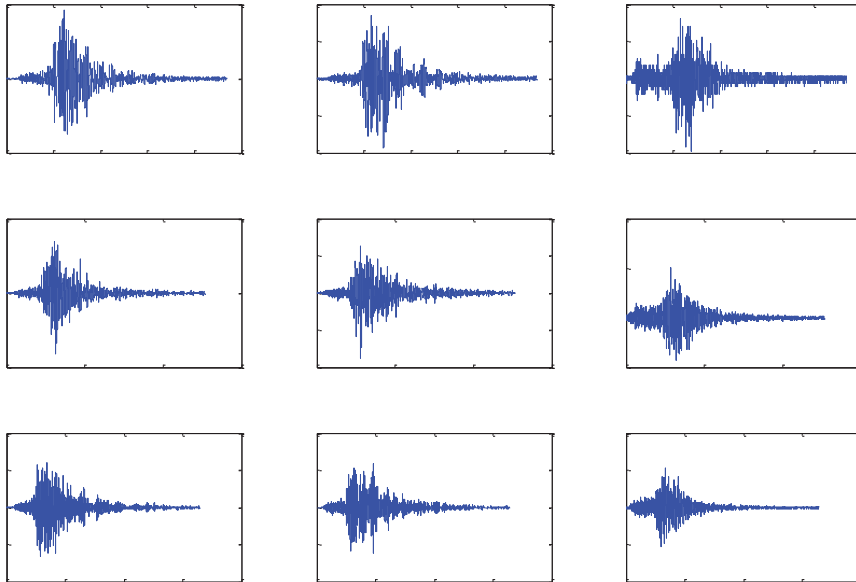


Figura A.1.- Acelerogramas Originales Para Alameda, C.U. Juarez

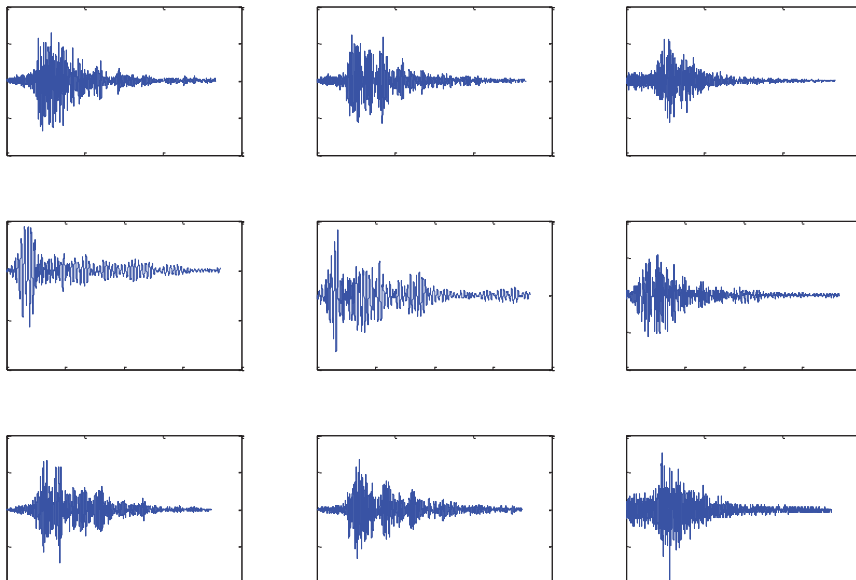


Figura A.2.- Acelerogramas CUPI, Xochipilli y Tlatelolco.

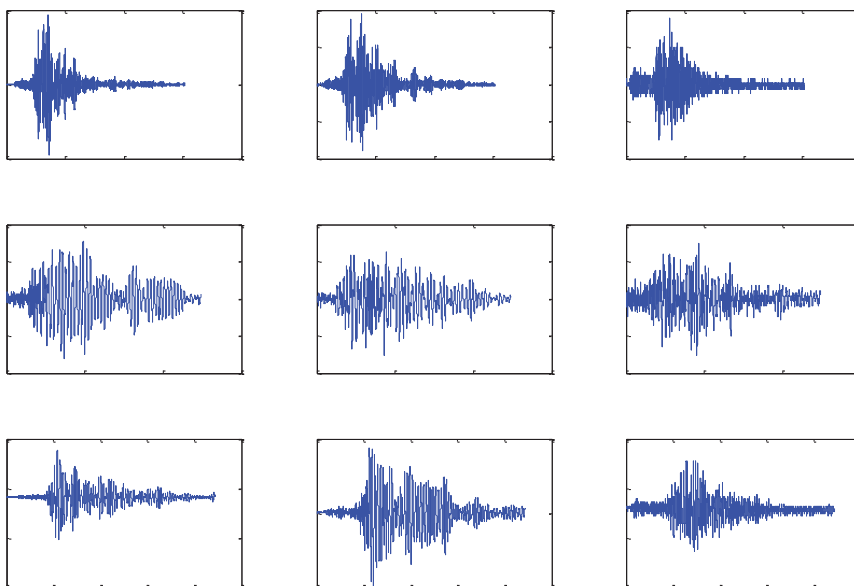


Figura A.3.- Acelerogramas V. Gomez, P. Elias Calles y Villa del Mar.

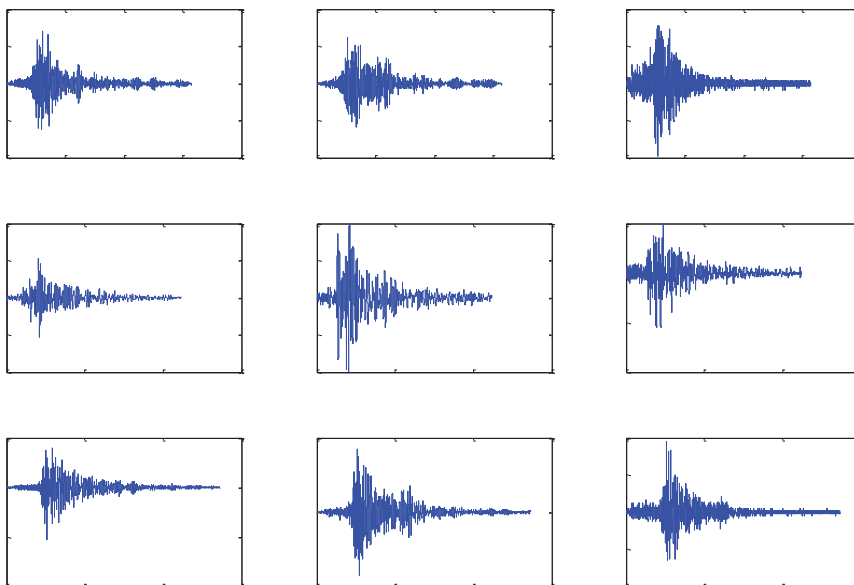


Figura A.4.- Acelerogramas Jamaica, UCIMSS y Balderas.

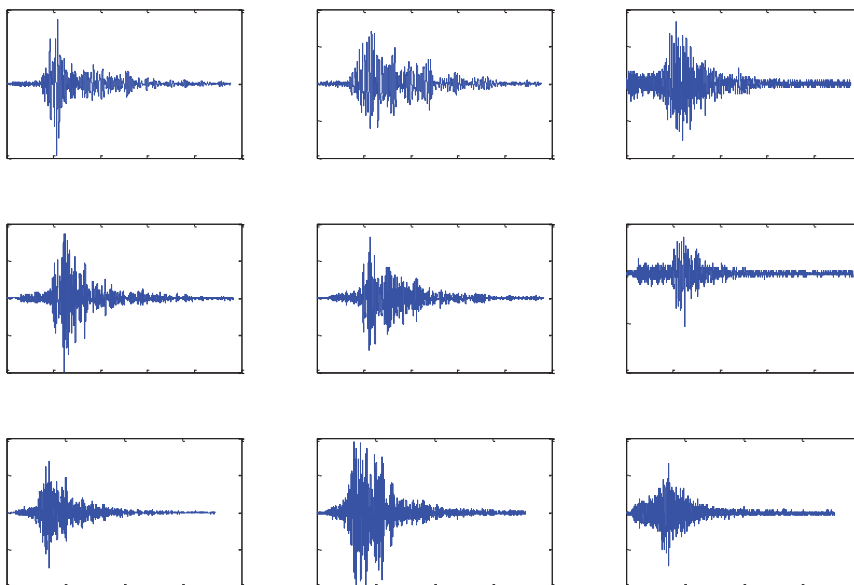


Figura A.5.- Acelerogramas Rodolfo M., S.Simon y Tlatelolco.

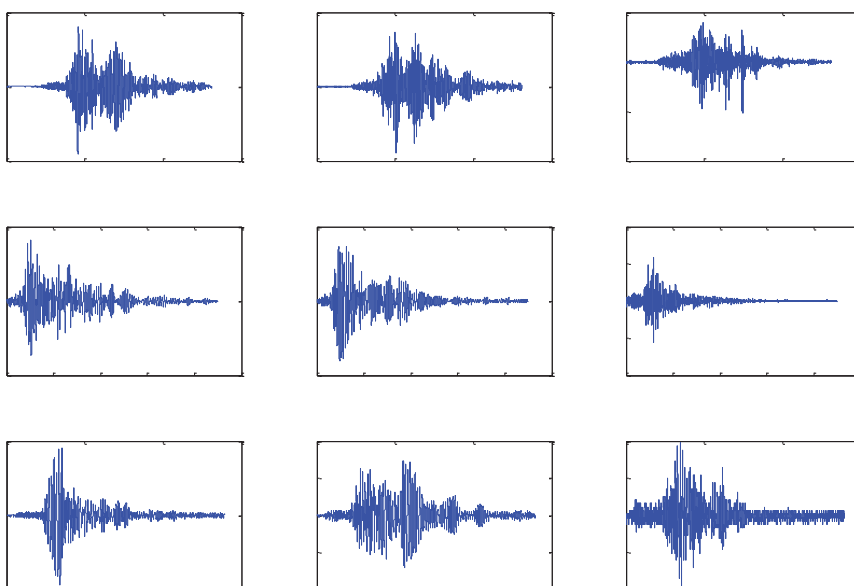


Figura A.6.- Acelerogramas Cordoba, Liverpool y Candelaria.

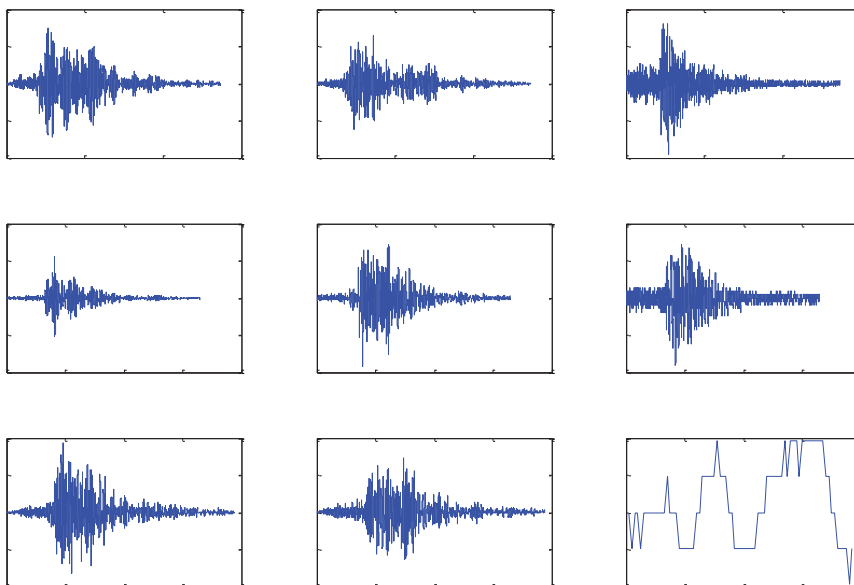


Figura A.7.- Acelerogramas Garibaldi y Roma.

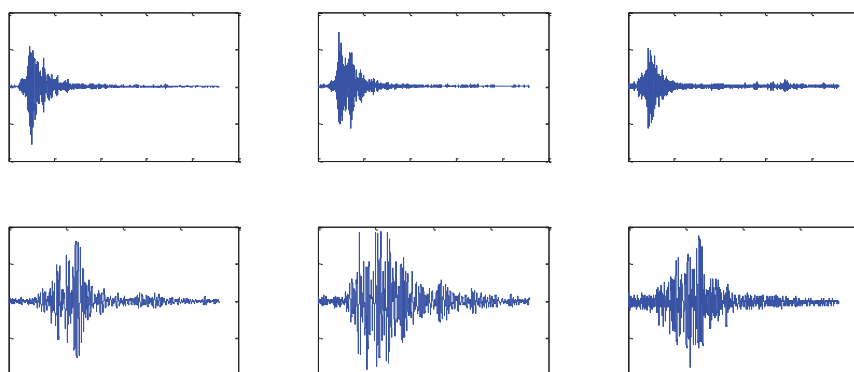


Figura A.8.- Acelerogramas Roma C y SCT.

A partir de este punto se muestran los acelerogramas escalados, utilizados finalmente para este trabajo.

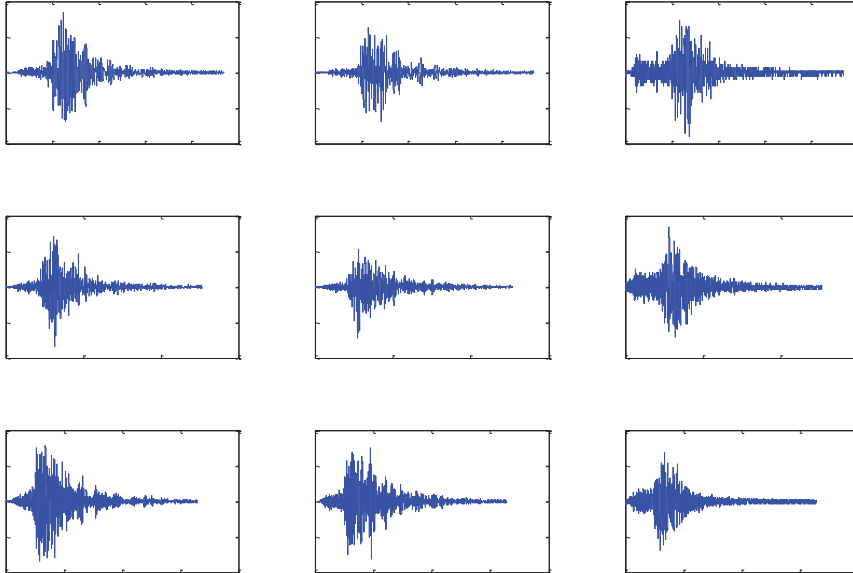


Figura A.9.- Acelerogramas Escalados Para Alameda, C.U. Juárez

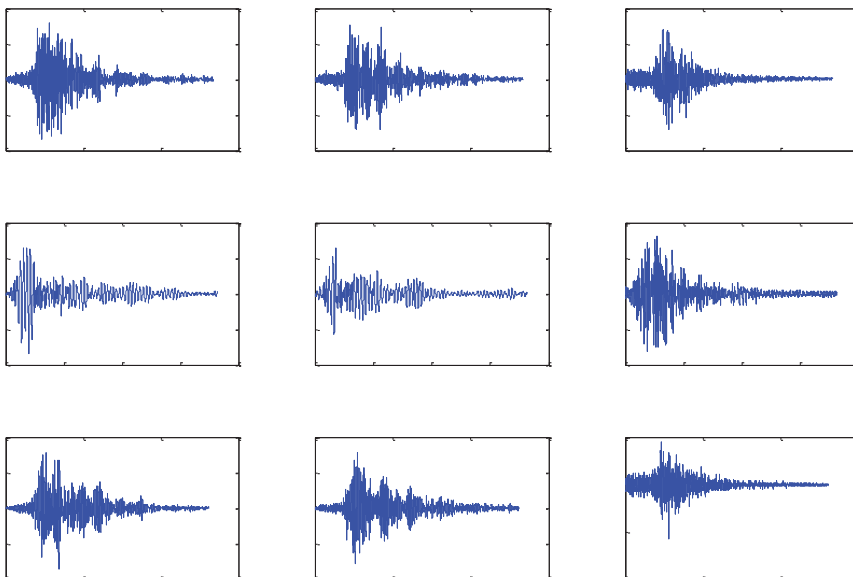


Figura A.10.- Acelerogramas Escalados CUPJ, Xochipilli y Tlatelolco.

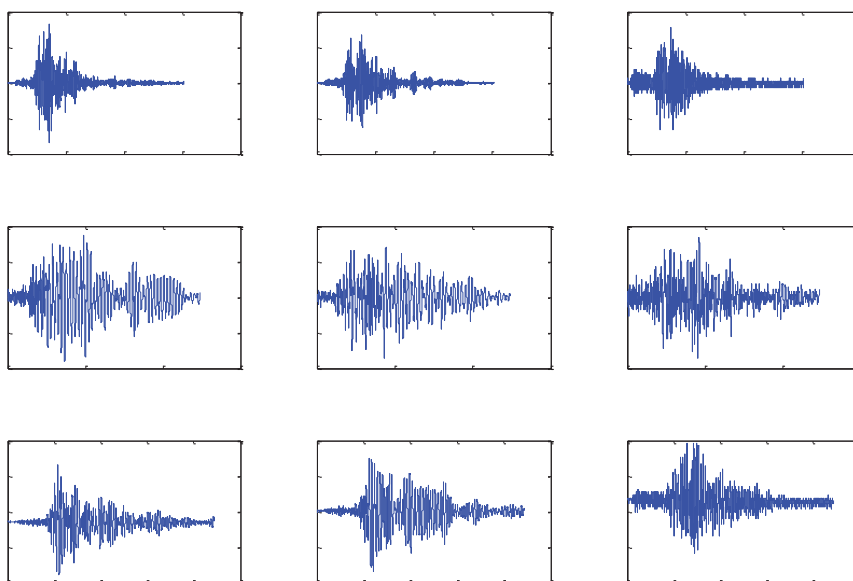


Figura A.11.- Acelerogramas Escalados V. Gomez, P. Elias Calles y V. Mar.

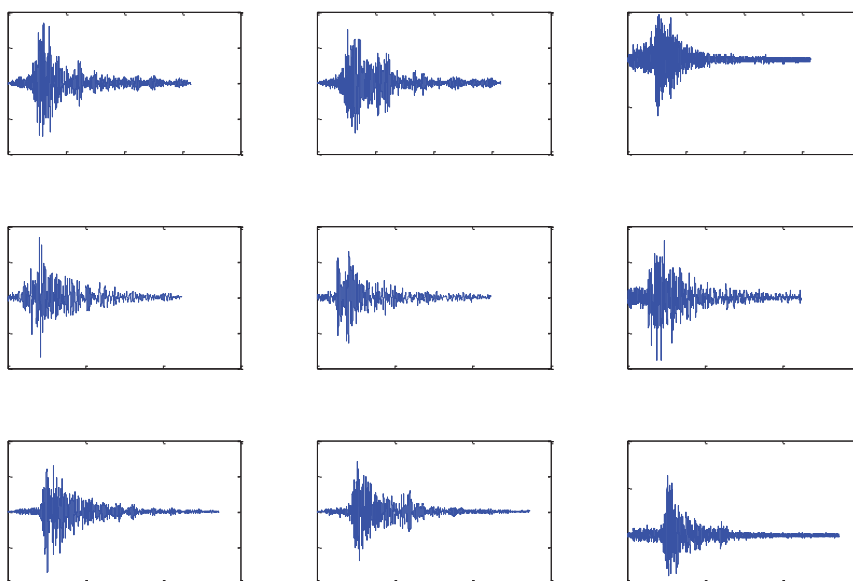


Figura A.12.- Acelerogramas Escalados Jamaica, U.C. IMSS y Balderas.

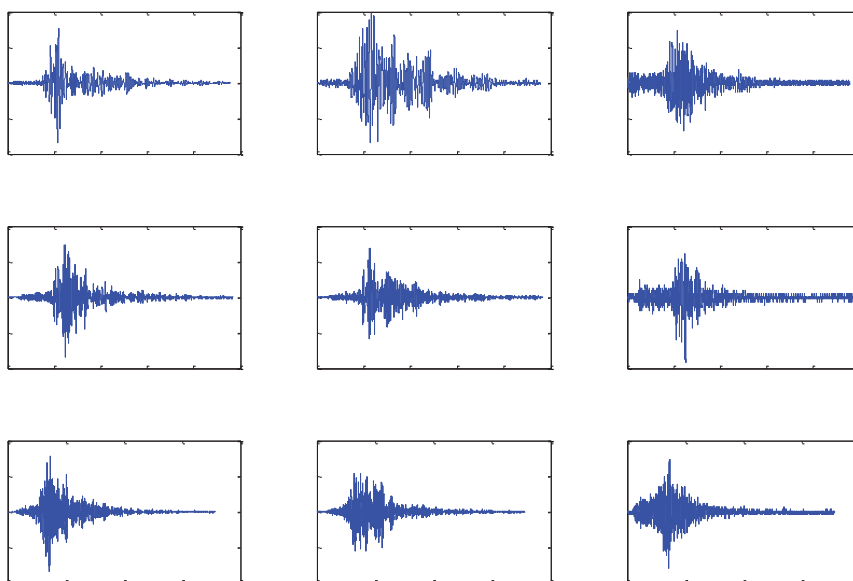


Figura A.13.- Acelerogramas Escalados Rodolfo M., S. Simon y Tlatelolco.

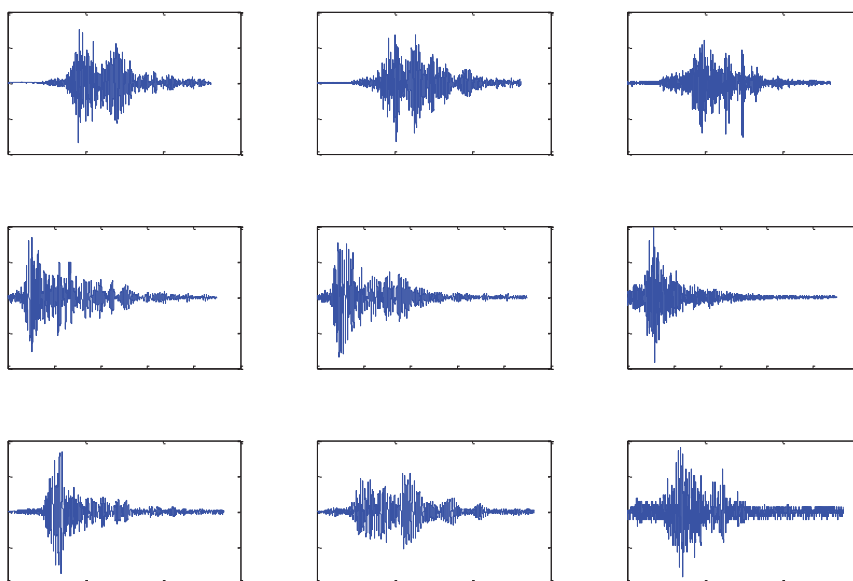


Figura A.14.- Acelerogramas Escalados Cordoba, Liverpool y Candelaria.

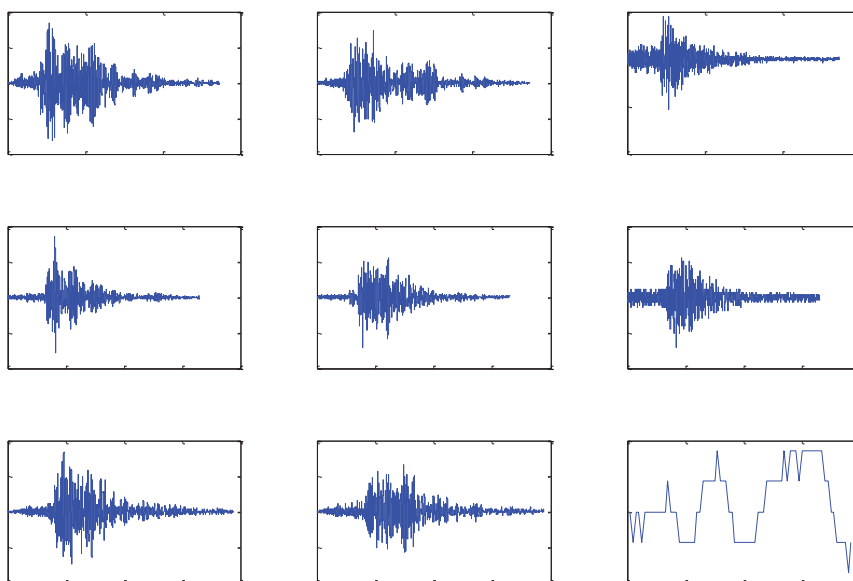


Figura A.15.- Acelerogramas Escalados Garibaldi y Roma.

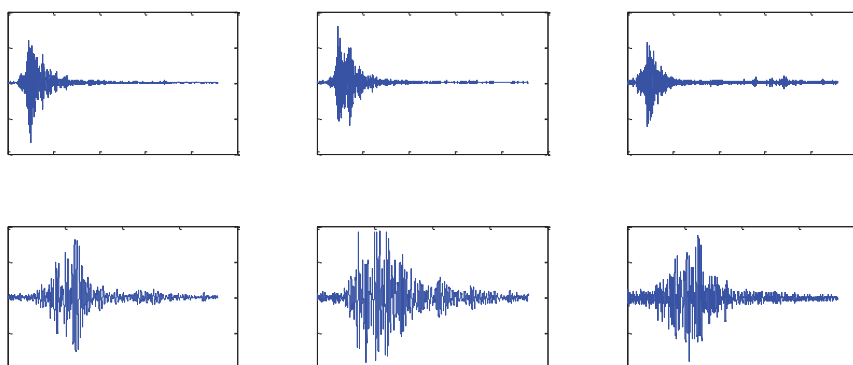


Figura A.16.- Acelerogramas Escalados Roma y SCT.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- 📖 “Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering”. T.T.Soong, G.F.Dargush. Ed. John Wiley & Sons.

ARTICULOS:

- 📖 “Dynamics of SDOF Systems with Nonlinear Viscous Damping”. Gloria Terenza. JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS. AUGUST 1999.
- 📖 “Earthquake Responce of Elastic SDF Systems with Non-linear Fluid Viscous Dampers”. Wen-Hsiung Lin and Anil K. Chopra. Departament of Civil and Enviromental Engineering, 721 Davis Hall, University of California, Berkeley, CA 94720-1710, USA. December 2001.
- 📖 “Damping Systems for a New and Retrofit Construction”. Michael C. Constantinou. 2003.
- 📖 “Seismic Analysis and Design with Maxwell Dampers”. Mahendra P. Singh, F. ASCE; Navin. P. Verma; and Luis M. Moreschi. JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS. ASCE MARCH 2003.
- 📖 “SUBASSEMBLAGE TESTING OF COREBRACE BUCKLING-RESTRAINED BRACES”. Steve Merrit, Chia-Ming Uang and Gianmario Benzoni. Final Report to CoreBrace, LLC. Department of Structural Engineering University of California, San Diego, La Jolla, California 92093-0085. Febraury 2003.

REGLAMENTOS:

- 📖 “NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL” 2004