

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**“COMPORTAMIENTO SÍSMICO ESPERADO DE EDIFICIOS CON
DISIPADORES DE ENERGÍA SOBRE SUELOS DE TRANSICIÓN
Y FLEXIBLE”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA EN EL ÁREA DE
ESTRUCTURAS**

PRESENTA:

ING. MICHEL ISAAC ROA GARCÍA

ASESOR:

DR. JOSÉ MANUEL JARA GUERRERO

MORELIA, MICHOACÁN, MAYO 2019.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado para la realización de la Maestría.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por otorgarme las herramientas tecnológicas e instalaciones para la realización de este trabajo.

Agradezco al Dr. José Manuel Jara guerrero por el apoyo recibido durante la realización de mi tesis como mi asesor, por su gran interés en revisar, y aportar valiosos comentarios para esta tesis.

Agradezco al Dr. Jorge Ignacio Cruz Días por el apoyo recibido durante el inicio del Programa de Maestría en ingeniería en el área de estructuras.

A mis sinodales, que dedicaron su valioso tiempo en la revisión de este trabajo y que sus comentarios y opiniones fueron de gran ayuda.

A mis profesores, del Programa de Maestría en ingeniería en el área de estructuras, por transmitirme y compartir sus invaluable conocimientos.

A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y dedicación, y por creer en mí.

Por último y no por ello menos importante quiero mencionar mi agradecimiento a todos mis compañeros y amigos que estuvieron conmigo durante los estudios de maestría en especial al Ing. Esteban Josué Hernández Mazariegos por sus consejos y aportaciones a este documento.

RESUMEN

En este trabajo se analiza la posibilidad de usar contravientos, dispositivos disipadores de energía de comportamiento histerético y de comportamiento viscoso para reforzar estructuras con planta baja flexible. Las características estructurales tipológicas fueron tomadas a partir de estadísticas de 287 dictámenes estructurales de edificios que sufrieron colapso y su posterior demolición del sismo ocurrido del 19 de septiembre de 2017. Se describen las características de los registros sísmicos del 19 de septiembre de 2017 obtenidos en sitios cercanos a las tipologías de edificios seleccionadas, y se realizan análisis dinámicos no lineales. Se seleccionó la tipología de seis edificios, de los cuales tres corresponden a edificios que sufrieron colapso y tres edificios que tuvieron que ser demolidos después del evento sísmico del 19 de septiembre de 2017. De estos seis edificios dos se localizaron en la zona sísmica II y los cuatro edificios restantes en la zona sísmica III. El suelo que circunda a los pilotes de cimentación se modeló mediante resortes lineales. Los edificios fueron diseñados utilizando el Reglamento de Construcción del Distrito Federal de 1976 ya que la mayor parte de los edificios dañados fueron construidos en la época en que ese reglamento era vigente.

Palabras clave: Sismos, Edificios, Análisis, Disipadores, Amortiguadores.

ABSTRACT

In this work, the possibility of using braces, energy dissipating devices with hysteretic behavior and viscous behavior to reinforce structures with a flexible ground floor is analyzed. The typological structural characteristics were taken from statistics of 287 structural opinions of buildings that suffered collapse and their subsequent demolition of the earthquake that occurred on September 19, 2017. The characteristics of the seismic records of September 19, 2017 obtained in sites close to the typologies of selected buildings are described, and dynamic nonlinear analyzes are carried out. The typology of six buildings was selected, of which three correspond to buildings that suffered collapse and three buildings that had to be demolished after the seismic event of September 19, 2017. Of these six buildings two were located in seismic zone II and the four remaining buildings in seismic zone III. The soil surrounding the foundation piles was modeled by linear springs. The buildings were designed using the Construction Regulations of the Federal District of 1976 since most of the damaged buildings were built at the time when that regulation was in force.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

ÍNDICE

OBJETIVO

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1

Titulo: Disipadores de energía de fricción, elastoplásticos y de comportamiento viscoso.

Objetivo del capítulo: Describir el uso de este tipo de disipadores de energía pasivos, así como su comportamiento estructural. Este capítulo se enfoca principalmente en su uso en México de edificios ubicados en suelos blandos y de transición.

Capítulo 2

Titulo: Caracterización de registros sísmicos del temblor del 19 de septiembre de 2017.

Objetivo del capítulo: Describir las características del sismo ocurrido el día 19 de septiembre de 2017. Se obtuvieron los acelerogramas de cada estación y su ubicación geográfica, para determinar en que zona sísmica se encuentra cada uno de ellos. Se calcularon espectro de respuesta de cada registro para obtener sus características dinámicas.

Capítulo 3

Titulo: Características geométricas de los edificios dañados.

Objetivo del capítulo: Mediante un análisis estadístico, se determinan las características geométricas de los edificios dañados del sismo del 19 de septiembre de 2017, considerando el uso del inmueble, número de niveles, estructuración, defecto de estructuración (planta baja flexible, columna corta, etc), torsión adicional debido a una mala distribución de sus muros que aportan rigidez, etc. Con esta información se proponen las tipologías de los edificios dañados a ser estudiados.

Capítulo 4

Titulo: Diseño estructural de los modelos de edificios y disipadores de energía.

Objetivo del capítulo: Con base en los resultados del capítulo 3, se propone seis edificios estadísticamente representativos; tres corresponden a la clasificación de derrumbes y tres a la clasificación de demoliciones. Se realizó el diseño estructural de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal de 1976.

Capítulo 5

Titulo: Análisis dinámico no lineal de las estructuras.

Objetivo del capítulo: Realizar los análisis dinámicos no lineales de los edificios anteriormente descritos en el capítulo 4. Se evalúa el comportamiento estructural de los edificios con y sin dispositivos de control.

Capítulo 6

Titulo: Discusión de los resultados.

Objetivo del capítulo: Analizar y discutir los resultados obtenidos en los capítulos 4 y 5.

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

APÉNDICE A

APÉNDICE B

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	IV
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XXX
OBJETIVO	1
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1	2
1.1 Estado del arte sobre el empleo de disipadores de energía en edificios y comportamiento estructural.....	2
1.1.1 Estudios analíticos, experimentales, y comportamiento estructural de los dispositivos estudiados.....	2
1.1.2 Disipadores tipo U	2
1.1.2.1 Comportamiento estructural de los Disipadores tipo U	5
1.1.3 Dispositivos tipo TADAS	6
1.1.3.1 Comportamiento estructural del dispositivo tipo TADAS.....	7
1.1.4 Dispositivos tipo ADAS	8
1.1.4.1 Comportamiento estructural del dispositivo tipo ADAS.....	11
1.1.5 Dispositivo tipo fricción.....	12
1.1.5.1 Comportamiento estructural de dispositivos de fricción	12
1.1.6 Dispositivos viscosos	14
1.1.6.1 Comportamiento estructural del dispositivo viscoso	17
Capítulo 2	19
2.1 Características del sismo del 19 de septiembre de 2017	19
2.2 Características de los acelerogramas registrados durante el sismo del 19 de septiembre de 2017.....	20
2.3 Relación entre las aceleraciones máximas registradas del sismo del 19 de septiembre de 2017 y daños en los inmuebles	28
2.3.1 Zonificación sísmica de los inmuebles analizados.....	29
2.4 Análisis de periodos y pseudo-aceleraciones de los acelerogramas	31
Capítulo 3	43
3.1 Niveles de los inmuebles analizados	43
3.2 Uso de los inmuebles.....	46

3.3	Uso de los inmuebles y el número de niveles correspondientes.....	49
3.4	Uso de los inmuebles, zonificación sísmica y número de niveles correspondientes.....	52
3.5	Estructuración general de los inmuebles.....	59
3.5.1	Estructuración general de los inmuebles y número de niveles	63
3.5.2	Estructuración general de los inmuebles, número de niveles y zonificación sísmica.....	72
3.6	Estructuración de los inmuebles de acuerdo a su clasificación y número de niveles.....	83
3.6.1	Estructuración de los inmuebles de acuerdo a su clasificación, número de niveles y zonificación sísmica	91
3.6	Defectos de estructuración de para las tres clasificaciones de los inmuebles.....	110
3.7	Defectos de estructuración y estructuración de los inmuebles de acuerdo a su clasificación.....	110
3.8	Efecto de torsión de los inmuebles.....	116
3.8.1	Efecto de torsión de los inmuebles de acuerdo a su clasificación	116
3.8.2	Efecto de torsión de los inmuebles de acuerdo a su clasificación y zonificación sísmica	117
3.9	Inmuebles que presentaron efecto de torsión y defecto de estructuración.....	118
3.9.1	Inmuebles que presentaron efecto de torsión, defecto de estructuración de acuerdo a su clasificación y zonificación sísmica	120
3.9.2	Inmuebles que presentaron efecto de torsión, defecto de estructuración de acuerdo a su clasificación, número de niveles, estructuración, y zonificación sísmica	122
3.10	125
	Inmuebles que presentan efecto de torsión y defecto de estructuración de acuerdo a su clasificación, estructuración y zonificación sísmica	125
3.11	Tipología de los edificios en base a las estadísticas obtenidas.....	131
Capítulo 4	132
4.1	Análisis y diseño de los marcos estructurales	132
4.2	Descripción del edificio número uno	132
4.2.1	Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número uno	133
4.3	Análisis dinámico no lineal del edificio número uno	138
4.4	Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso	141
4.5	Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS.....	147
4.6	Diseño estructural con contravientos del edificio número uno de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (2017) RCCM	155
4.7	Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS y contravientos	156
4.8	Descripción del edificio número dos.....	161
4.8.1	Diseño estructural del edificio número dos	163
4.9	Análisis dinámico no lineal del edificio número dos	166

4.10	Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso	172
4.11	Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía.....	174
4.12	Diseño estructural del edificio número dos con contravientos	176
4.13	Descripción del edificio número tres	178
4.13.1	Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número tres.....	180
4.14	Análisis dinámico no lineal del edificio número tres	182
4.15	Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso	185
4.16	Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS.....	187
4.17	Diseño estructural del edificio número tres con contravientos	189
4.18	Descripción del edificio número cuatro.....	191
4.18.1	Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número cuatro	192
4.19	Análisis dinámico no lineal del edificio número cuatro	194
4.20	Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso	197
4.21	Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS.....	199
4.22	Diseño estructural del edificio número cuatro con contravientos	201
4.23	Descripción del edificio número cinco	203
4.23.1	Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número cinco.....	203
4.24	Análisis dinámico no lineal del edificio número cinco	206
4.25	Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso	209
4.26	Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS.....	211
4.27	Diseño estructural del edificio número cinco con contravientos	213
4.28	Descripción del edificio número seis	215
4.28.1	Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número seis	216
4.29	Análisis dinámico no lineal del edificio número seis.....	220
4.30	Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso	223
4.31	Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS.....	225
4.32	Diseño estructural del edificio número seis con contravientos.....	227
Capítulo 5	229
5.1	Descripción del análisis dinámico no lineal paso a paso utilizado de los edificios	229
5.2	Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número uno.....	229
5.2.1	Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	230
5.2.1.1	Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	230
5.2.1.2	Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos	233

5.2.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos	235
5.2.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos	236
5.2.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos	238
5.2.1.6 Cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos	240
5.2.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos	241
5.2.1.8 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS y contravientos del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos	242
5.2.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	244
5.2.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	244
5.2.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	247
5.2.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	249
5.2.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	251
5.2.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	252
5.2.2.6 Cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	254
5.2.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos	256
5.2.2.8 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS y contravientos del edificio número uno con no columnas confinadas en los extremos por estribos	257
5.3 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número dos	258
5.3.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	258
5.3.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	258
5.3.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	261
5.3.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	263
5.3.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	264

5.3.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	266
5.3.1.6 Cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	267
5.3.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos	269
5.3.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	270
5.3.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	270
5.3.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	273
5.3.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	275
5.3.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	276
5.3.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	278
5.3.2.6 Cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	280
5.3.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos	282
5.4 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número tres	283
5.4.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	283
5.4.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	283
5.4.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	286
5.4.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	287
5.4.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	289
5.4.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	290
5.4.1.6 Cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	292
5.4.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	294
5.4.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos	295

5.4.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos	295
5.4.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos	298
5.4.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos	299
5.4.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.....	301
5.4.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos	302
5.4.2.6 Cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.....	305
5.4.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos	306
5.5.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos	307
5.5.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	307
5.5.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos	311
5.5.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos	312
5.5.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	314
5.5.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	315
5.5.1.6 Cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	318
5.5.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos	320
5.5.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.....	321
5.5.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	321
5.5.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.....	323
5.5.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.....	325
5.5.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos	326

5.5.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos	328
5.5.2.6 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos	330
5.6. Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	331
5.6.1. Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	331
5.6.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	334
5.6.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	335
5.6.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	337
5.6.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	338
5.6.6 Cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	340
5.6.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos	342
5.6.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	343
5.6.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	343
5.6.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	346
5.6.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	347
5.6.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	349
5.6.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	350
5.6.2.6 Cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	353
5.6.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	354
5.7.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	355
5.7.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	355

5.7.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	359
5.7.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	360
5.7.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	362
5.7.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	363
5.7.1.6 Cortante basal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	366
5.7.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos	367
5.7.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos	367
5.7.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos	368
5.7.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos	371
5.7.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos	373
5.7.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos	374
5.7.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos	376
5.7.2.6 Cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos	378
5.7.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos	380
Capítulo 6	381
6.1 Discusión de resultados del Edificio número uno	381
6.2 Discusión de resultados del Edificio número dos	390
6.3 Discusión de resultados del Edificio número tres	397
6.4 Discusión de resultados del Edificio número cuatro	403
6.5 Discusión de resultados del Edificio número cinco	410
6.5 Discusión de resultados del Edificio número seis	417
CONCLUSIONES	425
REFERENCIAS	429
APÉNDICE A	433
APÉNDICE B	443

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Dispositivo tipo U [Tena, A. 2003].	3
Figura 1.2. Prueba experimental utilizando dispositivos tipo U [Tena, A. 2003].	4
Figura 1.3. Ciclo histérico de dispositivos tipo U para diferentes amplitudes del movimiento [Ruvalcava, F. 2005].	5
Figura 1.4. Comportamiento básico de la placa triangular sometida a carga y mecanismo de disipación de energía [Ruvalcava, F. 2005].	7
Figura 1.5. Reestructuración del complejo de oficinas centrales del IMSS [Tena, A. 2003].	10
Figura 1.6. Geometría real e idealizada de los dispositivos ADAS [Santiago, E. 2009].	11
Figura 1.7. Comportamiento histérico de dispositivo tipo fricción [Soong y Dargush 1997].	13
Figura 1.8. Edificio Torre Mayor con disipadores Taylor [Tena, A. 2003].	15
Figura 1.9. Curvas fuerza desplazamiento para distintos valores de C y $\alpha = 1$. [Alotta et. al 2016].	17
Figura 1.10. Curvas fuerza desplazamiento para distintos valores de α . [Alotta et. al 2016].	18
Figura 2.1. Localización del sismo de magnitud 7.1 del 19 de septiembre de 2017 [Cruz et al. 2017].	19
Figura 2.2. Zonificación sísmica de la Ciudad de México [NTC-DF-Sismo, 2004].	20
Figura 2.3. Ubicación de acelerogramas de acuerdo a la zonificación sísmica.	21
Figura 2.4. Aceleraciones máximas para la Zona I.	22
Figura 2.5. Aceleraciones máximas para la Zona II.	22
Figura 2.6. Aceleraciones máximas para la Zona IIIa.	23
Figura 2.7. Aceleraciones máximas para la Zona IIIb.	23
Figura 2.8. Aceleraciones máximas para la Zona IIIc.	24
Figura 2.9. Aceleraciones máximas para la Zona IIId.	24
Figura 2.10. Comparación de aceleraciones máximas de zonas sísmicas.	25
Figura 2.11. Comparación de aceleraciones máximas de zona sísmica III.	26
Figura 2.12. Comparación de aceleraciones máximas Zona II, Zona IIIa, y Zona IIIb.	27
Figura 2.13. Gráfica valores máximos y mínimos de aceleración para las diferentes zonas sísmicas.	28
Figura 2.14. Zonificación sísmica para las tres categorías.	29
Figura 2.15. Zonificación sísmica para la clasificación de derrumbes.	30
Figura 2.16. Zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.	30
Figura 2.17. Zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.	31
Figura 2.18. Gráfica de dispersión de espectros de respuesta de los acelerogramas analizados en dirección N00E.	34
Figura 2.19. Gráfica de dispersión de espectros de respuesta de los acelerogramas analizados en dirección N90W.	34
Figura 2.20. Amplificación del suelo para las tres zonas sísmicas en la dirección N00E.	35
Figura 2.21. Amplificación del suelo para las tres zonas sísmicas en la dirección N90W.	35
Figura 2.22. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004).	36

Figura 2.23. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica I.	37
Figura 2.24. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica II.	38
Figura 2.25. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIIa.	39
Figura 2.26. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIIb.	40
Figura 2.27. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIIc.	41
Figura 2.28. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIId.	42
Figura 3.1. Número de niveles de los inmuebles analizados.	43
Figura 3.2. Porcentajes del número de niveles de los inmuebles analizados.	44
Figura 3.3. Número de niveles para la clasificación derrumbe.	45
Figura 3.4. Número de niveles para la clasificación demoliciones.	45
Figura 3.5. Número de niveles para la clasificación Riesgo Alto.	46
Figura 3.6. Gráfica de uso de inmuebles por derrumbes.	47
Figura 3.7. Gráfica de uso de inmuebles por demoliciones.	47
Figura 3.8. Gráfica de uso de inmuebles por riesgo alto.	48
Figura 3.9. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.	50
Figura 3.10. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.	50
Figura 3.11. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.	51
Figura 3.12. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.	51
Figura 3.13. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	52
Figura 3.14. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	53
Figura 3.15. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	53
Figura 3.16. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	54
Figura 5.17. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	54
Figura 3.18. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	55
Figura 3.19. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	55
Figura 3.20. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	56
Figura 3.21. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	56
Figura 3.22. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	57
Figura 3.23. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	57
Figura 3.24. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.	58
Figura 3.25. Estructuración de los inmuebles.	60
Figura 3.26. Gráfica de estructuración para la clasificación derrumbes.	61
Figura 3.27. Gráfica de estructuración para la clasificación demoliciones.	61
Figura 3.28. Gráfica de estructuración para la clasificación riesgo alto.	62
Figura 3.29. Gráfica de estructuración para la clasificación riesgo alto.	62
Figura 3.30. Gráfica de estructuración y número de niveles.	63

Figura 3.31. Gráfica de estructuración y número de niveles.	63
Figura 3.32. Gráfica de estructuración y número de niveles.	64
Figura 3.33. Gráfica de estructuración y número de niveles.	64
Figura 3.34. Gráfica de estructuración y número de niveles.	65
Figura 3.35. Gráfica de estructuración y número de niveles.	65
Figura 3.36. Gráfica de estructuración y número de niveles.	66
Figura 3.37. Gráfica de estructuración y número de niveles.	66
Figura 3.38. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica I.	67
Figura 3.39. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica II.	68
Figura 3.40. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIa.....	68
Figura 3.41. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIa.....	69
Figura 3.42. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIa.....	69
Figura 3.43. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIb.	70
Figura 3.44. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIb.	70
Figura 3.45. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIc.....	71
Figura 3.46. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIc.....	71
Figura 3.47. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica I.	72
Figura 3.48. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica II.	73
Figura 3.49. Gráfica de estructuración y número de niveles, de las tres clasificaciones de inmuebles para la zona sísmica II.....	73
Figura 3.50. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica II.	74
Figura 3.51. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica II.	74
Figura 3.52. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.	75
Figura 3.53. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.	75
Figura 3.54. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.	76
Figura 3.55. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.	76
Figura 3.56. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.	77
Figura 3.57. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.	77
Figura 3.58. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.	78
Figura 3.59. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.	78
Figura 3.60. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.	79
Figura 3.61. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.	79
Figura 3.62. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.	80
Figura 3.63. Gráfica de estructuración, número de niveles para la zona sísmica IIIc.	80
Figura 3.64. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIc.....	81
Figura 3.65. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIc.....	81
Figura 3.66. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIc.	82
Figura 3.67. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIc.	82
Figura 3.68. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación derrumbes. ..	84
Figura 3.69. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación derrumbes. ..	85
Figura 3.70. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación derrumbes. ..	85
Figura 3.71. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación demoliciones.	86
Figura 3.72. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación demoliciones.	86
Figura 3.73. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación demoliciones.	87
Figura 3.74. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto. ...	87

Figura 3.75. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto. ...	88
Figura 3.76. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto. ...	88
Figura 3.77. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto. ...	89
Figura 3.78. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto. ...	89
Figura 3.79. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto. ...	90
Figura 3.80. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto. ...	90
Figura 3.81. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica II.	92
Figura 3.82. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.	92
Figura 3.83. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.	93
Figura 3.84. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.	93
Figura 3.85. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.	94
Figura 3.86. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.	94
Figura 3.87. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIb.	95
Figura 3.88. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIb.	95
Figura 3.89. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIc.	96
Figura 3.90. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica II.	97
Figura 3.91. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica II.	97
Figura 3.92. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIa.	98
Figura 3.93. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIa.	98
Figura 3.94. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIa.	99
Figura 3.95. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.	99
Figura 3.96. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.	100
Figura 3.97. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.	100
Figura 3.98. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIc.	101
Figura 3.99. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica I.	102
Figura 3.100. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.	102
Figura 3.101. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.	103

Figura 3.102. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.....	103
Figura 3.103. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.....	104
Figura 3.104. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIa.....	104
Figura 3.105. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIa.....	105
Figura 3.106. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.....	105
Figura 3.107. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.....	106
Figura 3.108. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.....	106
Figura 3.109. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.....	107
Figura 3.110. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.....	107
Figura 3.111. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.....	107
Figura 3.112. Gráfica de defecto de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.....	108
Figura 3.113. Gráfica de defecto de estructuración para las tres clasificaciones de inmuebles.....	110
Figura 3.114. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de derrumbes.....	111
Figura 3.115. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de demoliciones.....	112
Figura 3.116. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de demoliciones.....	112
Figura 3.117. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.....	113
Figura 3.118. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.....	113
Figura 3.119. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.....	114
Figura 3.120. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.....	114
Figura 3.121. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.....	115
Figura 3.122. Inmuebles que presentan efecto de torsión para las tres clasificaciones.....	116
Figura 3.123. Gráfica de efecto de torsión de acuerdo a su clasificación de inmuebles.....	117
Figura 3.124. Gráfica de efecto de torsión y zonificación sísmica.....	118
Figura 3.125. Gráfica de efecto de torsión y zonificación sísmica.....	119
Figura 3.126. Gráfica de efecto de torsión, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de derrumbe.....	120
Figura 3.127. Gráfica de efecto de torsión, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.....	121
Figura 3.128. Gráfica de efecto de torsión, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de riesgo alto.....	121

Figura 3.128. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de derrumbe.	122
Figura 3.129. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de derrumbe.	123
Figura 3.130. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.	123
Figura 3.131. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.	124
Figura 3.132. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de riesgo alto.....	124
Figura 3.133. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de riesgo alto.....	125
Figura 3.134. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica II.	126
Figura 3.135. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.	126
Figura 3.136. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIb.	127
Figura 3.137. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIc.	127
Figura 3.138. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica II.	128
Figura 3.139. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.	128
Figura 3.140. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, estructuración para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II y IIIa.	129
Figura 3.141. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.....	129
Figura 3.142. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.	130
Figura 4.1. Modelo estructural edificio número uno.	133
Figura 4.2. Planta con sus respectivos ejes del edificio número uno.	136
Figura 4.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado.	139
Figura 4.4. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado.	140
Figura 4.5. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control no confinado....	140
Figura 4.6. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado.	141
Figura 4.7. Espectro de diseño elástico NTC 2017 RCDF para la zona sísmica IIIb.....	142
Figura 4.8. Espectro de diseño elástico reducido NTC 2017 RCDF para la zona sísmica IIIb. ...	144
Figura 4.9. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con amortiguadores viscosos.....	145
Figura 4.10. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control no confinado con amortiguadores viscosos.....	146
Figura 4.11. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado con amortiguadores viscosos.....	146
Figura 4.12. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control no confinado con amortiguadores viscosos.....	147
Figura 4.13 Edificio número uno con dispositivos de control tipo pasivo tipo TADAS.	151

Figura 4.14. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS.	151
Figura 4.15. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS.	152
Figura 4.16. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS.	152
Figura 4.17. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control no confinado con dispositivo de control pasivo tipo TADAS.	153
Figura 4.18. Ductilidad del dispositivo histéretico del modelo de control confinado con dispositivo de control pasivo tipo TADAS.	154
Figura 4.19. Ductilidad del dispositivo histéretico del modelo de control no confinado con dispositivo de control pasivo tipo TADAS.	154
Figura 4.20. Configuración de contravientos del edificio número uno.....	155
Figura 4.21. Distribución de contravientos y dispositivos disipadores de energía tipo TADAS.	156
Figura 4.22. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS y contravientos.....	159
Figura 4.23. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo pasivo de control tipo TADAS y contravientos.....	160
Figura 4.24. Ductilidad del dispositivo pasivo de control tipo TADAS del edificio de control confinado número uno.....	161
Figura 4.25. Modelo estructural edificio número dos.	162
Figura 4.26. Modelo estructural edificio número dos en planta.	163
Figura 4.27. Espectros de respuesta Zona II (N00E).....	167
Figura 4.28. Espectros de respuesta Zona II (N00E).....	168
Figura 4.29. Espectros de respuesta Zona II (N90E).....	168
Figura 4.30. Espectros de respuesta Zona II (N90E).....	169
Figura 4.31. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos del modelo de control confinado.	170
Figura 4.32. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos del modelo de control confinado.	170
Figura 4.33. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos del modelo de control no confinado.	171
Figura 4.34. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos del modelo de control no confinado.	171
Figura 4.35. Disposición de dispositivos de amortiguamiento viscoso en edificio número dos.	173
Figura 4.36. Disposición de contravientos del edificio número dos.	177
Figura 4.37. Modelo estructural del edificio número tres.	179
Figura 4.38. Modelo estructural edificio número tres en planta.	180
Figura 4.39. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres del modelo de control confinado.	183
Figura 4.40. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres del modelo de control confinado.	183
Figura 4.41. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres del modelo de control no confinado.	184
Figura 4.42. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres del modelo de control no confinado.	184

Figura 4.43. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número tres.....	185
Figura 4.44. Disposición de contravientos del edificio número tres.....	189
Figura 4.45. Modelo estructural edificio número cuatro.....	191
Figura 4.46. Planta con sus respectivos ejes del edificio número cuatro.	193
Figura 4.47. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control confinado.	195
Figura 4.48. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control confinado.	195
Figura 4.49. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control no confinado.....	196
Figura 4.50. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control no confinado.....	196
Figura 4.51. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número cuatro.....	197
Figura 4.52. Disposición de contravientos del edificio número cuatro.	201
Figura 4.53. Modelo estructural edificio número cinco.....	203
Figura 4.54. Planta del edificio número cinco.....	205
Figura 4.55. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control confinado.....	207
Figura 4.56. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control confinado.....	207
Figura 4.57. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control no confinado.....	208
Figura 4.58. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control no confinado.....	208
Figura 4.59. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número cinco.....	210
Figura 4.60. Disposición de contravientos del edificio número cinco.	214
Figura 4.61. Modelo estructural edificio número seis.	216
Figura 4.62. Modelo estructural edificio número seis en planta.	218
Figura 4.63. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis del modelo de control confinado.....	220
Figura 4.64. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis del modelo de control confinado.....	221
Figura 4.65. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis del modelo de control no confinado.....	221
Figura 4.66. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis del modelo de control no confinado.....	222
Figura 4.67. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número seis.....	223
Figura 4.68. Disposición de contravientos del edificio número seis.....	227
Figura 5.1. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	230
Figura 5.2. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	231
Figura 5.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	232

Figura 5.4. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.	232
Figura 5.5. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	234
Figura 5.6. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	234
Figura 5.7. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	235
Figura 5.8. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	236
Figura 5.9. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	237
Figura 5.10. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	237
Figura 5.11. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	238
Figura 5.12. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	239
Figura 5.13. Cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	240
Figura 5.14. Cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	241
Figura 5.15. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	242
Figura 5.16. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	243
Figura 5.17. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	244
Figura 5.18. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	245
Figura 5.19. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	246
Figura 5.20. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	246
Figura 5.21. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	248
Figura 5.22. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	249
Figura 5.23. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	250
Figura 5.24. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	250
Figura 5.25. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	251
Figura 5.26. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	252
Figura 5.27. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	253

Figura 5.28. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	254
Figura 5.29. Cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	255
Figura 5.30. Cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	255
Figura 5.31. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	256
Figura 5.32. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	257
Figura 5.33. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.	259
Figura 5.34. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.	259
Figura 5.35. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.	260
Figura 5.36. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.	260
Figura 5.37. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	262
Figura 5.38. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	262
Figura 5.39. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	263
Figura 5.40. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	264
Figura 5.41. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	265
Figura 5.42. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	265
Figura 5.43. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	266
Figura 5.44. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	267
Figura 5.45. Cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	268
Figura 5.46. Cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	269
Figura 5.47. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	270
Figura 5.48. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	271
Figura 5.49. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	271
Figura 5.50. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	272
Figura 5.51. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	272

Figura 5.52. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	274
Figura 5.53. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	274
Figura 5.54. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	275
Figura 5.55. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	276
Figura 5.56. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	277
Figura 5.57. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	277
Figura 5.58. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	278
Figura 5.59. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	279
Figura 5.60. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	280
Figura 5.61. Cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	281
Figura 5.62. Cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	281
Figura 5.63. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	282
Figura 5.64. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.	283
Figura 5.65. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.	284
Figura 5.66. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.	284
Figura 5.67. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.	285
Figura 5.68. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	286
Figura 5.69. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	287
Figura 5.70. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	288
Figura 5.71. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	288
Figura 5.72. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	289
Figura 5.73. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	290
Figura 5.74. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	291
Figura 5.75. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	291

Figura 5.76. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	292
Figura 5.77. Cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	293
Figura 5.78. Cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	293
Figura 5.79. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	294
Figura 5.80. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	295
Figura 5.81. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	296
Figura 5.82. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	296
Figura 5.83. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	297
Figura 5.84. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	298
Figura 5.85. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	299
Figura 5.86. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	300
Figura 5.87. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	300
Figura 5.88. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	301
Figura 5.89. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	302
Figura 5.90. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	303
Figura 5.91. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	303
Figura 5.92. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	304
Figura 5.93. Cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	305
Figura 5.94. Cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	306
Figura 5.95. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	307
Figura 5.96. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.	308
Figura 5.97. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.	308
Figura 5.98. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.	309
Figura 5.99. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.	310

Figura 5.100. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	311
Figura 5.101. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	312
Figura 5.102. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	313
Figura 5.103. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	313
Figura 5.104. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	314
Figura 5.105. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	315
Figura 5.106. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	316
Figura 5.107. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	317
Figura 5.108. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	318
Figura 5.109. Cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	319
Figura 5.110. Cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	319
Figura 5.111. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	320
Figura 5.112. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	321
Figura 5.113. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	322
Figura 5.114. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	322
Figura 5.115. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	323
Figura 5.116. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	324
Figura 5.117. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	324
Figura 5.118. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	325
Figura 5.119. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	326
Figura 5.120. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	327
Figura 5.121. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	327
Figura 5.122. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	328
Figura 5.123. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	329

Figura 5.124. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	330
Figura 5.125. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	331
Figura 5.126. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.	332
Figura 5.127. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.	332
Figura 5.128. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.	333
Figura 5.129. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.	333
Figura 5.130. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	334
Figura 5.131. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	335
Figura 5.132. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	336
Figura 5.133. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	336
Figura 5.134. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	337
Figura 5.135. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	338
Figura 5.136. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	339
Figura 5.137. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	339
Figura 5.138. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	340
Figura 5.139. Cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	341
Figura 5.140. Cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	341
Figura 5.141. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	342
Figura 5.142. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	343
Figura 5.143. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	344
Figura 5.144. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	345
Figura 5.145. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	345
Figura 5.146. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	346
Figura 5.147. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	347

Figura 5.148. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	348
Figura 5.149. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	348
Figura 5.150. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	349
Figura 5.151. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	350
Figura 5.152. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	351
Figura 5.153. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	351
Figura 5.154. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	352
Figura 5.155. Cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	353
Figura 5.156. Cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	354
Figura 5.157. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	355
Figura 5.158. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.	356
Figura 5.159. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.	357
Figura 5.160. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.	358
Figura 5.161. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.	358
Figura 5.162. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	359
Figura 5.163. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	360
Figura 5.164. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	361
Figura 5.165. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	361
Figura 5.166. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	362
Figura 5.167. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	363
Figura 5.168. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	364
Figura 5.169. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	364
Figura 5.170. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	365
Figura 5.171. Cortante basal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	366

Figura 5.172. Cortante basal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	367
Figura 5.173. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.....	368
Figura 5.174. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	369
Figura 5.175. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	369
Figura 5.176. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	370
Figura 5.177. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.	370
Figura 5.178. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	372
Figura 5.179. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	372
Figura 5.180. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	373
Figura 5.181. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	374
Figura 5.182. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	375
Figura 5.183. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	375
Figura 5.184. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	376
Figura 5.185. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	377
Figura 5.186. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	378
Figura 5.187. Cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	379
Figura 5.188. Cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	379
Figura 5.189. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.....	380
Figura B.1. Tabla 6-8 (FEMA-356).....	443

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Estaciones y aceleraciones máximas de la figura 2.9.	25
Tabla 2.3. Estaciones y aceleraciones máximas de la figura 2.11.	27
Tabla 2.4. Pseudo-aceleración máxima y periodo asociado a la misma para la zona sísmica I. .	31
Tabla 2.5. Pseudo-aceleración máxima y periodo asociado a la misma para la zona sísmica II.	32
Tabla 2.6. Pseudo-aceleración máxima y periodo asociado a la misma para la zona sísmica III.	32
Tabla 3.1. Porcentajes para las tres clasificaciones de acuerdo a su uso.	48
Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del concreto y del acero estructural.	133
Tabla 4.2. Análisis de cargas del edificio.	134
Tabla 4.3. Análisis de cargas del edificio número uno.	134
Tabla 4.4. Cargas vivas utilizadas en el modelo número uno.	135
Tabla 4.5. Parámetros del espectro de aceleración.	135
Tabla 4.6. Distorsiones de entrepiso para el edificio número uno.	136
Tabla 4.7. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del modelo estructural número uno.	137
Tabla 4.8. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del modelo estructural número uno.	137
Tabla 4.9. Registros sísmicos utilizados para el análisis dinámico no lineal del edificio uno. ..	138
Tabla 4.10. Análisis del sistema como un sistema de un grado de libertad del edificio número uno sin dispositivos.	157
Tabla 4.11. Prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.	157
Tabla 4.12. Representación tri-lineal de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.	158
Tabla 4.13. Representación tri-lineal de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.	158
Tabla 4.14. Sistema lineal equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.	158
Tabla 4.15. Sistema lineal efectivo de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.	158
Tabla 4.16. Análisis de cargas del edificio.	164
Tabla 4.17 Análisis de cargas del edificio.	164
Tabla 4.18. Distorsiones de entrepiso para el edificio número dos.	165
Tabla 4.19. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número dos.	165
Tabla 4.20. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número dos.	166
Tabla 4.21. Registros sísmicos correspondientes a la zona sísmica II.	167
Tabla 4.22. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número dos.	173
Tabla 4.23. Cálculo de amortiguadores viscosos para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número dos.	174
Tabla 4.24. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número dos.	175
Tabla 4.25. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos.	175

Tabla 4.26. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos.	175
Tabla 4.27. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos	176
Tabla 4.28. Sistema lineal equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos. ..	176
Tabla 4.29. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos.	176
Tabla 4.30. Distorsiones de entrepiso para el modelo número tres.....	180
Tabla 4.31. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número tres.....	181
Tabla 4.32. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número tres.....	181
Tabla 4.33. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número tres.....	186
Tabla 4.34. Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número dos.	186
Tabla 4.35. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número tres.....	187
Tabla 4.36. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.	188
Tabla 4.37. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.	188
Tabla 4.38. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.....	188
Tabla 4.39. Sistema lineal equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres... ..	188
Tabla 4.40. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.	189
Tabla 4.41. Distorsiones de entrepiso para el edificio número cuatro.....	192
Tabla 4.42. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número cuatro.	193
Tabla 4.43. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número cuatro.	193
Tabla 4.44. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número cuatro.....	198
Tabla 4.45. Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número cuatro.....	198
Tabla 4.46. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número cuatro.....	199
Tabla 4.47. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.	200
Tabla 4.48. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.	200
Tabla 4.49. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.	200
Tabla 4.50. Sistema lineal equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.	200
Tabla 4.51. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.....	201
Tabla 4.52. Distorsiones de entrepiso para el edificio número cinco.....	204
Tabla 4.53. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número cinco.	205
Tabla 4.54. Resultados del diseño estructural de las columnas del edificio número cinco.....	205
Tabla 4.55. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número cinco.....	210
Tabla 4.56. Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número cinco.....	210

Tabla 4.57. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número cinco.....	212
Tabla 4.58. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco.....	212
Tabla 4.59. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco. ..	212
Tabla 4.60. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco.	213
Tabla 4.61. Sistema lineal equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número cinco.....	213
Tabla 4.62. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco.....	213
Tabla 4.63. Distorsiones de entrepiso para el edificio número seis.	217
Tabla 4.64. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número seis.....	218
Tabla 4.65. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número seis.....	219
Tabla 4.66. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número seis.	224
Tabla 4.67. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número seis.	224
Tabla 4.68. Análisis del sistema como un sistema de un grado de libertad del edificio número seis sin dispositivos.	225
Tabla 4.69. Prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.....	225
Tabla 4.70. Representación tri-lineal de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.	226
Tabla 4.71. Representación elastoplástica equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.	226
Tabla 4.72. Sistema lineal equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.	226
Tabla 5.1. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	233
Tabla 5.2. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	235
Tabla 5.3. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.....	236
Tabla 5.4. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.....	238
Tabla 5.5. Valores máximos, mínimos, y promedio del Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	239
Tabla 5.6. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.....	239
Tabla 5.7. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	241
Tabla 5.8. Valores máximos, mínimos, y promedio de Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	242
Tabla 5.9. Valores máximos, mínimos, y promedio de Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.	243

Tabla 5.10. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.....	247
Tabla 5.11. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con no columnas confinadas en los extremos.	249
Tabla 5.12. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.....	251
Tabla 5.13. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.....	252
Tabla 5.14. Valores máximos, mínimos, y promedio del Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con no columnas confinadas en los extremos.	253
Tabla 5.15. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.....	254
Tabla 5.16. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	256
Tabla 5.17. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	257
Tabla 5.18. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.	258
Tabla 5.19. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.....	261
Tabla 5.20. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	261
Tabla 5.21. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	264
Tabla 5.22. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	266
Tabla 5.23. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	267
Tabla 5.24. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.....	267
Tabla 5.25. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	268
Tabla 5.26. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	269
Tabla 5.27. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	273
Tabla 5.28. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.....	273
Tabla 5.29. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.....	275
Tabla 5.30. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	278
Tabla 5.31. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.	279

Tabla 5.32. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	280
Tabla 5.33. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	282
Tabla 5.34. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.	282
Tabla 5.35. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	285
Tabla 5.36. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	286
Tabla 5.37. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	287
Tabla 5.38. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	289
Tabla 5.39. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos	290
Tabla 5.40. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	292
Tabla 5.41. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	294
Tabla 5.42. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.	295
Tabla 5.43. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	297
Tabla 5.44. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	298
Tabla 5.45. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	299
Tabla 5.46. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	301
Tabla 5.47. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	304
Tabla 5.48. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	304
Tabla 5.49. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	306
Tabla 5.50. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	307
Tabla 5.51. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	310
Tabla 5.52. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	311
Tabla 5.53. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	312

Tabla 5.54. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	314
Tabla 5.55. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	316
Tabla 5.56. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	317
Tabla 5.57. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	318
Tabla 5.58. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.	320
Tabla 5.59. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	321
Tabla 5.60. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	325
Tabla 5.61. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	326
Tabla 5.62. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	328
Tabla 5.63. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	328
Tabla 5.64. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.	329
Tabla 5.65. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.	330
Tabla 5.66. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	331
Tabla 5.67. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	335
Tabla 5.68. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	335
Tabla 5.69. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	337
Tabla 5.70. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	338
Tabla 5.71. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	340
Tabla 5.72. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	342
Tabla 5.73. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	342
Tabla 5.74. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	343
Tabla 5.75. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	347

Tabla 5.76. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	349
Tabla 5.77. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	349
Tabla 5.78. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	352
Tabla 5.79. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	352
Tabla 5.80. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	353
Tabla 5.81. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.	354
Tabla 5.82. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	357
Tabla 5.83. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	360
Tabla 5.84. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	360
Tabla 5.85. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	362
Tabla 5.86. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	365
Tabla 5.87. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	365
Tabla 5.88. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.	366
Tabla 5.89. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	368
Tabla 5.90. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	371
Tabla 5.91. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	371
Tabla 5.92. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	373
Tabla 5.93. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	374
Tabla 5.94. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	376
Tabla 5.95. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	378
Tabla 5.96. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.	378
Tabla 5.97. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.	380
Tabla 6.1. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios	382

Tabla 6.2. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número uno.....	383
Tabla 6.3. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número uno	384
Tabla 6.4. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número uno	385
Tabla 6.5. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número uno	385
Tabla 6.6. Comparación de cortante basal del edificio número uno	385
Tabla 6.7. Comparación de ductilidad del dissipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número uno.....	386
Tabla 6.8. Disipación de energía edificio número uno con dissipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos.....	387
Tabla 6.9. Disipación de energía edificio número uno con dissipadores de energía de tipo TADAS con columnas no confinadas en los extremos por estribos.....	387
Tabla 6.10. Disipación de energía edificio número uno con dissipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos	388
Tabla 6.11. Disipación de energía edificio número uno con dissipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos	389
Tabla 6.12. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de los modelos con y sin confinamiento de columnas del edificio 2	390
Tabla 6.13. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número dos.	391
Tabla 6.14. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número dos	391
Tabla 6.15. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número dos.....	392
Tabla 6.16. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número dos	392
Tabla 6.17. Comparación de cortante basal del edificio número dos.....	392
Tabla 6.18. Comparación de ductilidad del dissipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número dos	393
Tabla 6.19. Disipación de energía edificio número dos con dissipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	394
Tabla 6.20. Disipación de energía edificio número dos con dissipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	394
Tabla 6.21. Disipación de energía edificio número dos con dissipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos	395
Tabla 6.22. Disipación de energía edificio número dos con dissipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos	396
Tabla 23. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios	397
Tabla 6.24. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número tres	398
Tabla 6.25. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número tres	398
Tabla 6.26. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número tres	399
Tabla 6.27. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número tres.....	399
Tabla 6.28. Comparación de cortante basal del edificio número tres	400
Tabla 6.29. Comparación de ductilidad del dissipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número tres.....	400
Tabla 6.30. Disipación de energía edificio número tres con dissipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	401

Tabla 6.31. Disipación de energía edificio número tres con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	401
Tabla 6.32. Disipación de energía edificio número tres con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos	402
Tabla 6.33. Disipación de energía edificio número tres con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos	402
Tabla 6.34. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios ..	404
Tabla 6.35. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número cuatro.....	405
Tabla 6.36. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número cuatro	405
Tabla 6.37. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número cuatro ..	406
Tabla 6.38. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número cuatro	406
Tabla 6.39. Comparación de cortante basal del edificio número cuatro.....	406
Tabla 6.40. Comparación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número cuatro.....	407
Tabla 6.41. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	408
Tabla 6.42. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas no confinadas en los extremos por estribos	408
Tabla 6.43. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos	409
Tabla 6.44. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos	409
Tabla 6.45. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios ..	411
Tabla 6.46. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número cinco.....	412
Tabla 6.47. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número cinco	412
Tabla 6.48. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número cinco	413
Tabla 6.49. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número cinco	413
Tabla 6.50. Comparación de cortante basal del edificio número cinco.....	413
Tabla 6.51. Variación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número cinco.....	414
Tabla 6.52. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	414
Tabla 6.53. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas no confinadas en los extremos por estribos	415
Tabla 6.54. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos	416
Tabla 6.55. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos	416
Tabla 6.56. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios ..	418
Tabla 6.57. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número seis	418
Tabla 6.58. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número seis	419
Tabla 6.59. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número seis	419

Tabla 6.60. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número seis.....	419
Tabla 6.61. Comparación de cortante basal del edificio número seis	420
Tabla 6.62. Comparación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número seis	420
Tabla 6.63. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	421
Tabla 6.64. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos	422
Tabla 6.65. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos	422
Tabla 6.66. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos	423
Tabla B.1. Estado de daño del edificio número uno de control.....	444
Tabla B.2. Estado de daño del edificio número uno de control con contravientos.....	445
Tabla B.3. Estado de daño del edificio número uno de control con disipadores de energía de tipo viscoso.....	446
Tabla B.4. Estado de daño del edificio número uno de control con disipadores de energía de tipo TADAS.....	447
Tabla B.5. Estado de daño del edificio número dos de control.	448
Tabla B.6. Estado de daño del edificio número dos de control con contravientos.	448
Tabla B.7. Estado de daño del edificio número dos de control con disipadores de energía de tipo viscoso.....	449
Tabla B.8. Estado de daño del edificio número dos de control con disipadores de energía de tipo TADAS.....	449
Tabla B.9. Estado de daño del edificio número tres de control.....	450
Tabla B.10. Estado de daño del edificio número uno de control con contravientos.	451
Tabla B.11. Estado de daño del edificio número tres de control con disipadores de energía de tipo viscoso.....	452
Tabla B.12. Estado de daño del edificio número uno de control con disipadores de energía de tipo TADAS.....	453
Tabla B.13. Estado de daño del edificio número cuatro de control.....	454
Tabla B.14. Estado de daño del edificio número cuatro de control con contravientos.....	454
Tabla B.15. Estado de daño del edificio número cuatro de control con disipadores de energía de tipo viscoso.....	455
Tabla B.16. Estado de daño del edificio número cuatro de control con disipadores de energía de tipo TADAS.....	455
Tabla B.17. Estado de daño del edificio número cinco de control.....	456
Tabla B.18. Estado de daño del edificio número cinco de control con contravientos.....	457
Tabla B.19. Estado de daño del edificio número cinco de control con disipadores de energía de tipo viscoso.....	458
Tabla B.20. Estado de daño del edificio número cinco de control con disipadores de energía de tipo TADAS.....	459
Tabla B.21. Estado de daño del edificio número seis de control.	460
Tabla B.22. Estado de daño del edificio número seis de control con contravientos.	461
Tabla B.23. Estado de daño del edificio número seis de control con disipadores de energía de tipo viscoso.....	462

Tabla B.24. Estado de daño del edificio número seis de control con disipadores de energía de tipo TADAS..... 463

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es analizar el uso de dispositivos disipadores de energía de comportamiento viscoso, de comportamiento histerético del tipo TADAS, y de contravientos para la rehabilitación de edificios con planta baja flexible, sometidos a registros sísmicos sin escalar del temblor del 19 de septiembre de 2017, registrados en sitios cercanos a los edificios analizados.

INTRODUCCIÓN

El sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 causó daños importantes en la Ciudad de México. Nuevamente, se presentaron edificios con planta baja flexible con daños severos, otros edificios que tuvieron que ser demolidos y algunos que colapsaron durante el evento sísmico. Actualmente existen un gran número de edificios con este sistema estructural no solo en la Ciudad de México, sino también en el resto del país.

Las enormes pérdidas humanas y materiales que dejan los grandes temblores, han originado que muchos países, incluido México utilizan cada vez con más frecuencia dispositivos disipadores de energía para reducir las demandas de distorsión de entrepiso en la rehabilitación y refuerzo de edificios. En México se han colocado, con más frecuencia, amortiguadores viscosos para disminuir la respuesta de estructuras ante la acción de sismos por el incremento del amortiguamiento de la estructura. Este tipo de dispositivo tiene la desventaja de que para incorporarse se tiene un costo elevado.

Los dispositivos de comportamiento histerético tipo TADAS tienen la ventaja de que el dispositivo adiciona rigidez, resistencia y amortiguamiento adecuados, por tal motivo en este trabajo se analiza también la incorporación de este tipo de dispositivos.

Finalmente, se analiza la incorporación de contravientos para reducir la respuesta sísmica. Este sistema proporciona rigidez adicional a la estructura. Los contravientos en comparación a los dos dispositivos disipadores de energía tienen un menor costo en su incorporación, por tal motivo se analiza la posibilidad de su uso.



Capítulo 1

1.1 Estado del arte sobre el empleo de disipadores de energía en edificios y comportamiento estructural

1.1.1 Estudios analíticos, experimentales, y comportamiento estructural de los dispositivos estudiados

En la actualidad se tienen una gran cantidad de artículos publicados a nivel mundial sobre este tipo de dispositivos, en este trabajo se enfocará en estudios realizados en México de los dispositivos de energía de tipo fricción, de comportamiento histéretico, y viscosos, tomando el tipo de zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) del Tipo II y Tipo III. A continuación, se describen los dispositivos de energía para este trabajo, así como su comportamiento estructural de los mismos.

1.1.2 Disipadores tipo U

De las primeras publicaciones de este tipo de dispositivo se encuentra la realizada por Kelly *et al.* (1972), en donde se propone utilizar soleras de acero en forma de U, donde la disipación de energía se realiza a través de dos superficies transversales que se mueven a lo largo de la solera. En esta publicación realiza experimentalmente aplicando cargas cíclicas de compresión y de tensión a este tipo de dispositivos. Los resultados de estas pruebas experimentales se observan que antes de llegar a la fluencia sigue un comportamiento elasto-plástico y al pasar del punto de fluencia, en este tipo de dispositivo las curvas de respuesta difieren sustancialmente del comportamiento elasto-plástico idealizado.

En México el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Aguirre y Sánchez 1992) han realizado pruebas experimentales utilizando dispositivos en forma de U (figura 1.1), en donde se estudió la diferencia entre el comportamiento de comportamiento plástico idealizado y el comportamiento real de este tipo de dispositivo. Los resultados de estas pruebas experimentales mostraron que los dispositivos son estables al ser sometidos a un gran número de ciclos simulando lo que ocurriría en un evento sísmico, este tipo de dispositivo es adecuado para reducir hasta cierto punto la respuesta sísmica de la estructura cuando la misma puede experimentar resonancia o casi llegar a ella.

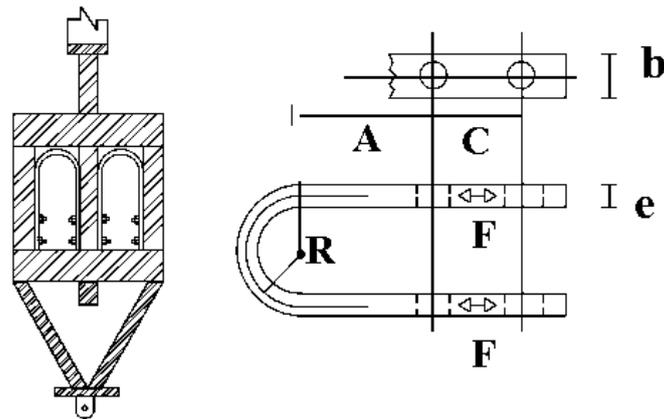


Figura 1.1. Dispositivo tipo U [Tena, A. 2003].

Jara *et al.* (1992) realizaron una investigación acerca de las respuestas analíticas utilizando este tipo de dispositivo, utilizando una tipología de edificios de la ciudad de México, estudiaron la respuesta sísmica en un edificio de acero de diez niveles considerando la interacción suelo estructura, y un edificio de nueve niveles de concreto armado. En ambos modelos se utilizaron registros sísmicos característicos a la ciudad de México. El resultado obtenido en esta investigación se obtuvo que para edificios de acero se logró una reducción en la respuesta sísmica en zonas de suelo blando de la ciudad de México.

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM entre los años 1990 y 1993 pruebas experimentales realizadas por González *et al.* (1994) y González (1998), se probó una estructura metálica con dispositivos tipo U colocados sobre diagonales concéntricas (figura 1.2), sobre una mesa vibratoria en donde se aplicó excitaciones armónicas en el intervalo comprendido entre los 3 y los 7 Hertz. El estudio comprobó la eficiencia de disipar energía de manera estable con este tipo de dispositivo.

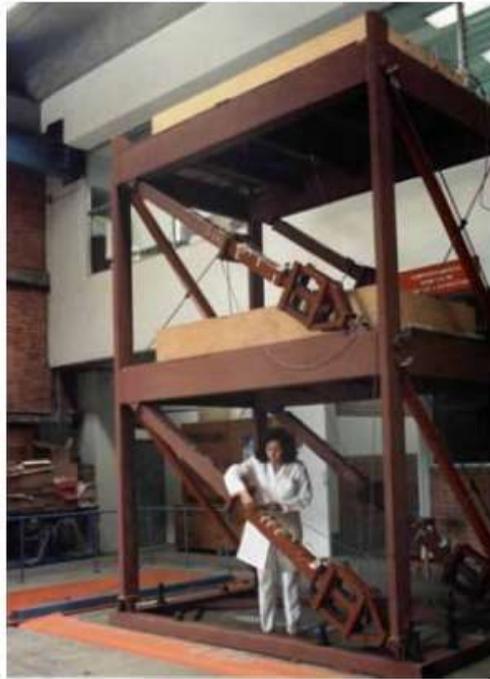


Figura 1.2. Prueba experimental utilizando dispositivos tipo U [Tena, A. 2003].

Gómez *et al.* (1993) realizó estudios utilizando dispositivos en forma de U, sobre el análisis paramétrico de sistemas de un grado de libertad, y demandas de ductilidad de dos y cuatro. Los resultados muestran que para suelos blandos la aplicación de este tipo de dispositivo está limitado a estructuras con periodos inferiores de 1.6 segundos.

Torres y Ruiz (2004) en base al análisis de demanda sísmica probabilística proponen un algoritmo de diseño para la rehabilitación de edificios con disipadores de energía de acero de tipo U. Se analizó un edificio de diez niveles y tres crujeas de concreto reforzado ubicado en suelo blando de la Ciudad de México, donde se rehabilitó el mismo con disipadores de energía de tipo U. En este algoritmo propuesto se tiene como objetivo que en su aplicación las condiciones de distorsiones máximas y las demandas máximas de ductilidad de los dispositivos de disipación satisfagan de manera confiable a los límites específicos para diferentes intensidades de eventos sísmicos. Los resultados de esta investigación demostraron que la demanda sísmica probabilística se aplicó con éxito al modelo del edificio propuesto en su investigación.

Ruvalcava (2005) presentó en su trabajo de tesis de Maestría modelos analíticos de 14 pisos de concreto reforzado, del cual se tomó como características del suelo la zona sísmica III de la ciudad de México, y con tres tipos de dispositivos disipadores de energía sísmica los cuales son: TADAS, U, y viscoelásticos. Se consideraron las características de los sismos de acuerdo a un temblor fuerte para un periodo de retorno de 100 años y de acuerdo con la sismicidad de la zona se simularon sismos sintéticos. En este trabajo de investigación se usaron dispositivos tipo U de 3.81 cm de ancho, un espesor de solera de 1.27 cm, y $\sigma_u = 4200 \text{ kg/cm}^2$; la cantidad colocada en los modelos estudiados fue de cuatro a 22. De acuerdo con los resultados analíticos de esta investigación, los dispositivos U y TADAS presentaron índices de confiabilidad adecuados y similares en el caso de un sismo fuerte. Con el uso de un sismo aleatorio el

dispositivo U tiene un mayor índice de confiabilidad en comparación con el dispositivo tipo TADAS.

1.1.2.1 Comportamiento estructural de los Disipadores tipo U

Este tipo de dispositivo tiene un comportamiento histerético es muy estable como se mencionó anteriormente (figura 1.3).

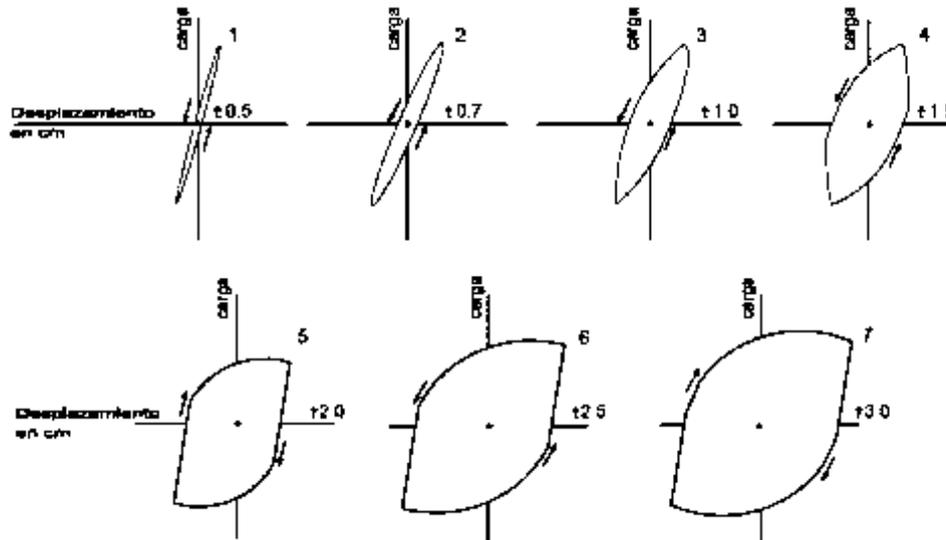


Figura 1.3. Ciclo histerético de dispositivos tipo U para diferentes amplitudes del movimiento [Ruvalcava, F. 2005].

Las ecuaciones para describir su comportamiento estructural se muestran a continuación:

Rigidez elástica del dispositivo:

$$K_d = n(0.297 \sigma_u b) \quad (1)$$

Donde.

n = Número de placas en forma de U que forman el dispositivo.

σ_u = Esfuerzo último del acero de la solera.

b = Ancho de cada solera.

b_e = Ancho efectivo de la solera

e = Espesor de solera

Capacidad última F_u de la solera:

$$F_u = n(0.07 \sigma_u b_e) \quad (2)$$

Desplazamiento de fluencia del dispositivo:



$$\Delta_y = 0.1782e \quad (3)$$

Desplazamiento ultimo del dispositivo:

$$\Delta_u = 2e \quad (4)$$

Esfuerzo de fluencia F_y y rigidez posterior a la fluencia K_2 del dispositivo de acuerdo a su comportamiento bilineal está dado por:

$$F_y = 0.756F_u \quad (5)$$

$$K_2 = 0.032K_d \quad (6)$$

1.1.3 Dispositivos tipo TADAS

A principio de la década de los años noventa se desarrolló el sistema TADAS (Triangular-plate Added Damping and Stiffnes). Su (1990), implementó este tipo de dispositivo formado con placas de acero en forma triangular y los resultados de esta investigación demuestran que el dispositivo adiciona rigidez, resistencia y amortiguamiento adecuados, sin embargo, ante eventos sísmicos severos la ductilidad y capacidad de energía no fue la adecuada.

En México Ruiz *et al.* (1996) realizó una comparación entre la respuesta sísmica de dos marcos de concreto reforzado de veinte niveles con una altura total de 60.50 metros la localización de los marcos se hizo con la suposición de estar en suelo blando de la Ciudad de México, utilizando disipadores de energía tipo TADAS y sin ellos. Se utilizaron los acelerogramas correspondientes del sismo del 19 de septiembre de 1985 de la Ciudad de México. De acuerdo con los resultados de su investigación, este dispositivo puede reducir significativamente los daños durante un evento sísmico. En los niveles inferiores de los marcos de concreto se tiene la mayor cantidad de disipación de energía. Al ser aplicado este tipo de dispositivo la respuesta inelástica estructural de los marcos mejoro con respecto al no tener este tipo de dispositivo.

Yen *et al.* (2001) probaron un modelo a escala real tridimensional de un marco de acero de 13.75 metros de altura, con cinco niveles de 2.60 metros cada uno y seis metros por cuatro de base, con vibración forzada utilizando dispositivos de disipación de energía tipo TADAS. En este trabajo de investigación, utilizando el método de mínimos cuadrados no lineales, se obtuvieron las frecuencias modales, relaciones de amortiguamiento y las formas modales del marco de acero. Con base en los resultados obtenidos, la rigidez del marco aumentó significativamente al utilizar los dispositivos tipo TADAS en comparación al marco sin disipadores de energía.

Khosravian y Osseini (2009) en su trabajo de investigación utilizaron algoritmos genéticos para obtener el número de óptimo de dispositivos tipo TADAS en cada nivel de un edificio de 10 niveles. El objetivo fue obtener el menor cortante basal, y las menores distorsiones de entrepiso utilizando el menor número de dispositivos. Se realizó un ejemplo numérico comparando el resultado del marco con los dispositivos optimizados y sin optimizar, para un marco plano de diez niveles donde se asumió una distorsión máxima de entrepiso de 1.5% (FEMA 356). De acuerdo con la investigación realizada, se demostró que el uso de algoritmos genéticos puede ser utilizado para un óptimo diseño de dispositivos disipadores de energía

pasivos, con el número óptimo de dispositivos se obtuvo una reducción deseada en la respuesta.

1.1.3.1 Comportamiento estructural del dispositivo tipo TADAS

Al aplicar un desplazamiento lateral finito al marco de la figura 1.4 que incluye una placa triangular empotrada en su lado superior y simplemente apoyada en su extremo inferior, se produce la fluencia simultánea a todo lo alto de la placa y la carga aplicada produce la curvatura de la placa (Ruvalcava, F. 2005).

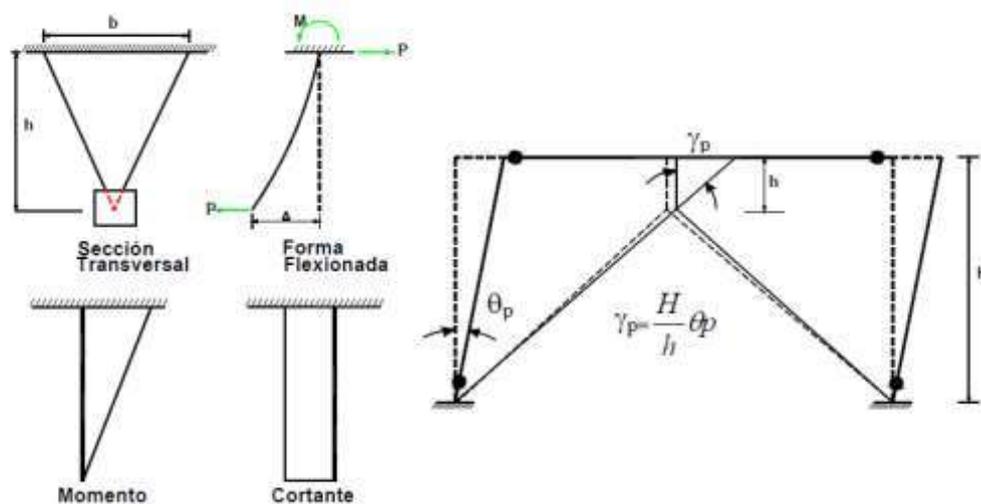


Figura 1.4. Comportamiento básico de la placa triangular sometida a carga y mecanismo de disipación de energía [Ruvalcava, F. 2005].

Las ecuaciones para describir su comportamiento estructural son las siguientes:

Rigidez lateral K_d :

$$K_d = \frac{NEbt^3}{6h^3} \quad (7)$$

Donde.

E = Módulo de Young.

N = Número de placas triangulares.

b = Ancho de la placa.

t = Espesor de la placa.

h = Altura de la placa.

F_y = Esfuerzo de fluencia de las placas.

Fuerza de fluencia P_y del dispositivo:

$$P_y = \frac{F_y N b t^2}{6h} \quad (8)$$



Fuerza plástica del dispositivo:

$$P_p = \frac{F_y N b t^2}{4h} \quad (9)$$

Desplazamiento de fluencia del dispositivo:

$$\Delta_y = \frac{F_y h^2}{Et} \quad (10)$$

Ángulo de giro γ_y del dispositivo:

$$\gamma_y = \frac{F_y h}{Et} \quad (11)$$

Demanda rotacional inelástica del dispositivo:

$$\gamma_y = \theta_p \frac{H}{h} \quad (12)$$

Donde.

θ_p = Ángulo de rotación plástico.

H = Altura del entrepiso.

1.1.4 Dispositivos tipo ADAS

Este tipo de dispositivos fueron desarrollados en Estados Unidos con base a estudios experimentales y analíticos realizados en la universidad de California en Berkeley (Whittaker et al. 1989). Este tipo de dispositivos denominado ADAS, por sus siglas en inglés (Added Damping and Stiffnes) trabaja a través de la deformación histerética de placas de acero en forma de reloj de arena y pueden ser implementados en edificios nuevos o a edificios existentes. Las ventajas en su utilización es que incrementan sustancialmente la capacidad de disipar energía, incrementan la resistencia, y rigidez del sistema estructural utilizado. Los beneficios más importantes en cuanto a la disipación de energía se encuentran, que este tipo de dispositivo ha sido diseñado para restringir la localización de la disipación de energía, e incrementa el amortiguamiento viscoso equivalente durante un evento sísmico de moderada y severa intensidad. La evaluación de este tipo de dispositivo lo hace recomendable para ser utilizado en zonas de alto peligro sísmico. Los resultados de pruebas experimentales de los dispositivos ADAS mostraron un comportamiento histéretico estable en la cual no se presentó degradación de rigidez y resistencia, este tipo de dispositivo también mostro ser estable ante un gran número de cargas cíclicas acumulando una deformación plástica importante.

Jara *et al.* (1992) realizaron estudios analíticos utilizando este tipo de dispositivos con edificios cuyas características se mencionaron anteriormente. Los resultados de este trabajo de investigación muestran reducciones de alrededor del 50% al implementar los dispositivos en el edificio de concreto, en comparación con el modelo sin ningún dispositivo. El modelo sin dispositivos tuvo una demanda de ductilidad máxima de nueve; al utilizar los ADAS, esta



demanda se redujo a seis. Con los registros sísmicos de Viveros y Tacubaya se encontró que el cortante basal también se redujo.

En 1989, en México comenzó el interés de realizar investigaciones analíticas sobre este tipo de dispositivos (Tena, A. 2003). Entre las primeras aplicaciones se encuentra la reestructuración del edificio Izazaga la cual fue realizada por el Ing. Enrique Martínez Romero (Martínez, E. 1993). Este edificio fue construido en el año 1970 en la calle Izazaga de la ciudad de México y está estructurado con base en marcos de concreto reforzado, muros de cortante de concreto armado y losa aligerada de concreto armado. El edificio presentó daños estructurales moderados durante el sismo de 1985, como consecuencia de su estructuración flexible de marcos de concreto reforzado. Se realizaron reparaciones estructurales hasta el año de 1989 sin obtener resultados satisfactorios. Al tener en el edificio una distorsión de entrepiso de 0.019 que era superior a la permitida de 0.012 en el código de construcción de la Ciudad de México vigente en esa época, se implementaron dispositivo ADAS con lo que se logró una disminución en la distorsión de entrepiso de hasta 0.0076. Los resultados analíticos de reestructurar este edificio con dispositivo tipo ADAS fueron que se incrementó la resistencia, rigidez, disipación de energía, y se logró reducir las distorsiones laterales de los entrepisos cerca del 40%. Al reducir las distorsiones laterales se reduce el daño esperado de los elementos estructurales y no estructurales. El análisis con simulaciones sísmicas, mostró que al utilizar este tipo de dispositivo el edificio tiene un buen desempeño ante sismos de larga duración.

El hospital de cardiología de la ciudad de México fue reestructurado con este tipo de dispositivo. Este edificio fue construido en los años de 1970 y está ubicado en la zona del lago, su estructuración es con base en marcos de concreto armado, su sistema de piso consiste de vigas doble T de concreto post-tensado de concreto semi-ligero. Durante el sismo del 19 de septiembre de 1985 este edificio tuvo daño estructural y no estructural moderado debido a las distorsiones laterales de entrepiso. El análisis estructural realizado para su reestructuración mostró que los efectos de interacción suelo estructura son altamente significativos en el comportamiento no lineal del edificio. Los resultados analíticos al utilizar dispositivos tipo ADAS mostraron una reducción en el cortante basal del edificio cercana al 50% en comparación del edificio original. También se redujeron cerca del 50% los desplazamientos superiores, con una distorsión promedio de entrepiso de entre 0.006 o inferior, y las aceleraciones de azotea fueron reducidas de entre el 4 y 32% (Martínez, E. 1993).

El complejo de oficinas centrales del IMSS ubicado en la Ciudad de México en Avenida Paseo de la Reforma 476 está sobre la frontera de la zona del lago y la de la transición de la Ciudad de México. Este edificio fue reestructurado con dispositivo tipo ADAS, su estructuración original es con base en marcos de concreto reforzado. Se decidió reestructurar el edificio ya que, en ese momento de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal vigente en la fecha de evaluación del proyecto, la estructura no cumplía con los requisitos de seguridad estructural ante la acción de sismos intensos. La estructura se reestructuró utilizando disipadores de energía tipo ADAS montados en contravientos tipo chevrón en toda su elevación, muros estructurales en el nivel de sótano y encamisados locales (Figura 1.5).



Figura 1.5. Reestructuración del complejo de oficinas centrales del IMSS [Tena, A. 2003].

De acuerdo con los resultados analíticos de la reestructuración, se tiene un importante incremento en la rigidez de la estructura; con los dispositivos ADAS se logró reducir las distorsiones de entrepiso, se redujeron las aceleraciones experimentadas por la estructura, así como una reducción de 20% de las cargas transmitidas a la cimentación (Martínez, E. 1993).

Estudios posteriores de la estructura anteriormente mencionada (Tena *et al.* 1994), se determinó que debido a los dispositivos tipo ADAS, de los contraventeos y muros estructurales del sótano, la rigidez lateral del edificio teóricamente se incrementó un 7.4% en la dirección longitudinal y del 6.7% en la dirección transversal. Al incorporar este tipo de dispositivo analíticamente se encontró que los elementos estructurales tienen menores demandas inelásticas que los elementos estructurales originales, y las distorsiones de entrepiso se redujeron con respecto a la estructura original.

En investigaciones realizadas en los años 1997 y 1998 se compara la respuesta sísmica de estructuras con marcos contraventeados y de marcos contraventeados con disipadores localizadas en suelo blando. Los resultados de estos estudios muestran que las estructuras con disipadores tipo ADAS tienen un comportamiento más dúctil en comparación con la estructura original, y en este tipo de dispositivo concentra el comportamiento inelástico de la estructura (Tena-Colunga y Vergara 1997, Tena Colunga 1998).

Tena (2000) realiza una revisión para discutir los principales modelos analíticos que se han utilizado para el estudio de estructuras con disipadores de energía en México; hace un especial énfasis en los dispositivos tipo ADAS y los TADAS. Compara los modelos analíticos para estudiar los dispositivos ADAS utilizando un modelo estructural de tres pisos ensayados en una mesa vibratoria de la Universidad de California en Berkley, obteniendo como resultado que los modelos analíticos que utiliza el autor predicen de manera razonablemente aproximada los resultados obtenidos experimentalmente.

Jara *et al.* (2000) realizan un estudio acerca del comportamiento de un sistema de un grado de libertad utilizando dispositivos de comportamiento elastoplástico. Se estudió principalmente los estados límite de comportamiento, tomando principalmente las demandas de ductilidad del marco y de los disipadores. Las aportaciones principales de esta investigación es que se pueden definir preliminarmente las propiedades mecánicas y geométricas de los dispositivos de comportamiento elastoplástico colocados en estructuras.

Ruiz *et al.* (2008) proponen una expresión para encontrar el amortiguamiento crítico viscoso equivalente para un sistema equivalente con disipadores histeréticos. Este trabajo de investigación tiene como objetivo el incorporar esta expresión en el Capítulo “Diseño de Estructuras con Disipadores de Energía Sísmica” del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad que en aquel momento estaba en revisión.

1.1.4.1 Comportamiento estructural del dispositivo tipo ADAS

El comportamiento histerético del dispositivo ADAS depende principalmente de su resistencia y desplazamiento de fluencia (Δ_y). El dispositivo trabaja a cortante, con lo que puede soportar un gran número de ciclos de carga y acumula una gran cantidad de deformación plástica sin perder resistencia o rigidez (Whittaker *et al.* 1989).

El modelo idealizado de este tipo dispositivo (figura 1.6b), fue propuesto por Whittaker *et al.* (1989). consta de n placas y las ecuaciones para describir su comportamiento estructural se muestran a continuación:

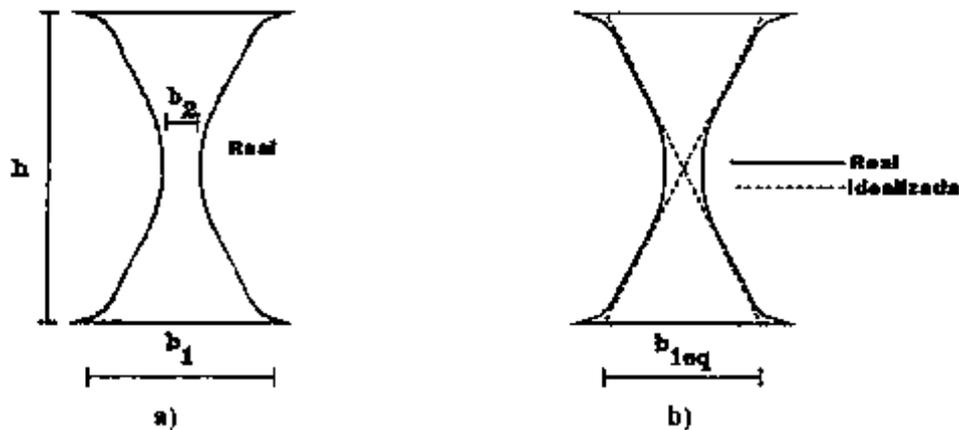


Figura 1.6. Geometría real e idealizada de los dispositivos ADAS [Santiago, E. 2009].

Desplazamiento de fluencia:

$$\Delta_y = \frac{3\sigma_y h^2}{4Et} \quad (13)$$

Cortante de fluencia:

$$V_y = \frac{n\sigma_y b_{1eq} t^2}{2h} \quad (14)$$

Rigidez elástica a cortante:

$$K = \frac{2}{3} n \frac{Et^3}{h^3} b_{1eq} \quad (15)$$



Donde.

t = Espesor de la placa.

h = Altura de la placa.

$b_{1eq} = h/2$

n = Número de placas.

σ_y = Esfuerzo de fluencia de las placas.

E = Módulo de elasticidad de las placas.

1.1.5 Dispositivo tipo fricción

Este tipo de dispositivos fueron propuestos en Canadá (Pall y Marsh 1982). Disipan la energía del evento sísmico por fricción al conectar en los marcos contravientos de acero que al desplazarse una diagonal con respecto de otra se logra la disipación de energía a través de la fricción mecánica. Se estudiaron analíticamente tres marcos de acero de diez niveles de altura con este tipo de dispositivo. Los resultados analíticos de esta investigación mostraron que, al utilizar el dispositivo en un marco, este tiene muy poca o ninguna deformación permanente, se obtiene amortiguamiento adicional y se reducen las vibraciones y aceleraciones considerablemente.

En México se utilizó este tipo de dispositivo en el hospital 20 de noviembre del Instituto de Servicios y Seguridad Social para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), que se encuentra ubicado en la zona sísmica II correspondiente a la zona de suelo de transición. El edificio está estructurado con base en marcos de concreto reforzado, fue construido a finales de la década de los años cuarenta, y fue reforzado en la década de los años setenta (Sánchez y Urrutia 1994).

Se optó por utilizar dispositivos de tipo fricción ya que al ser evaluado se demostró que la estructura original era muy flexible y no cumplía con las deformaciones requeridas con el Reglamento vigente (RCDF-87 1987). Se realizó el trabajo de reestructuración para que cumpliera dicha norma, pero sin alterar el funcionamiento del hospital. La estructura externamente fue rigidizada por medio de contrafuertes tubulares metálicos, se logró disipar energía por medio de fricción al utilizar conexiones atornilladas donde se dejaron holguras en las placas con el fin de inmovilizar las conexiones atornilladas (Sánchez y Urrutia 1994).

1.1.5.1 Comportamiento estructural de dispositivos de fricción

El funcionamiento de este tipo de dispositivo consiste en disipar la energía del evento sísmico a través de fricción mecánica, a partir de este principio la fuerza de fricción se determina con la siguiente ecuación:

$$F = \mu N \quad (16)$$

donde,

F = Fuerza friccionante.

N = Fuerza normal.

μ = Coeficiente de fricción.

Con el fin de determinar el modelo matemático más apropiado y coeficiente de fricción se deben realizar pruebas experimentales (Soong y Dargush 1997). En la figura 1.7 se muestra la gráfica del comportamiento histéretico de este tipo de dispositivo.

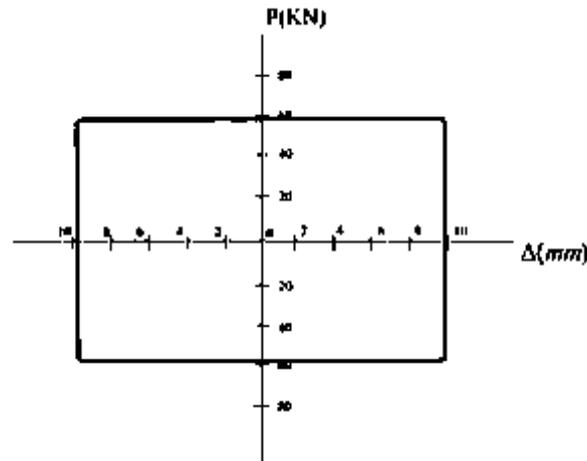


Figura 1.7. Comportamiento histéretico de dispositivo tipo fricción [Soong y Dargush 1997].

De acuerdo con el sistema propuesto por Pall y Marsh (1982), el dispositivo de tipo fricción se incorpora en los contraventeos de los marcos. Los contravientos están diseñados para que el pandeo a compresión no se presente ante las cargas sísmicas y el dispositivo actúa cuando se le es sometido a tensión y compresión para tener un comportamiento más eficiente. En su modelo inicial se utilizó el modelo de comportamiento elastoplástico para representar el comportamiento de del dispositivo de fricción en contraventeos en forma de X. Estudios posteriores de Filiatrault y Cherry (1987) determinaron que este comportamiento anteriormente descrito es válido si el dispositivo se desliza durante cada ciclo.

El modelo matemático propuesto por Soong y Dargush (1997) para calcular la rigidez efectiva, propone que cuando se aplica una fuerza P en tensión o compresión, el resorte, con rigidez K_s se comprime y el desplazamiento total del dispositivo Δ resulta de sumar el desplazamiento del resorte Δ_s más el desplazamiento de las conexiones Δ_r .

$$\Delta = \Delta_s + \Delta_r \quad (17)$$

A partir del planteamiento anterior y de la ecuación 2, Soong y Dargush (1997) determinaron las siguientes fórmulas para calcular la rigidez efectiva del disipador de energía tipo fricción:

$$K_1 = \frac{(1 + \alpha)K_s K_3}{(1 + \alpha)K_s + K_3} \quad (18)$$

Donde.

K_3 = Rigidez de las conexiones.



K_s = Rigidez del resorte cuando se aplica una carga de compresión o tensión P.

α = Factor de diseño que incorpora los efectos geométricos y de fricción de Coulomb.

1.1.6 Dispositivos viscosos

Este dispositivo basa su funcionamiento en el flujo de un fluido viscoso a través de los orificios de un pistón de acero inoxidable de una cámara a otra dentro del amortiguador. La diferencia de presión entre las dos cámaras transforma la energía sísmica en calor, que se disipa a la atmósfera. Este fluido viscoso consiste en aceite de silicona que es no tóxico, no inflamable, inerte, y estable durante periodos de tiempo extremadamente largos (Taylor y Duffly. 2002).

La fuerza que se desarrolla en el dispositivo depende de la velocidad y no del desplazamiento. En estructuras convencionales su amortiguamiento es bajo y al ser sometidas a movimientos fuertes como sismos, la mayor parte de la energía disipada es absorbida por la propia estructura a través de daños locales. Al incrementar el amortiguamiento en la estructura se logra obtener un rendimiento óptimo al ser sometido a sismos ya que gran parte de la energía de entrada de la estructura será absorbida por el elemento incorporado.

El desarrollo inicial de este tipo de dispositivos fue para uso militar como parte de sus programas de defensa. Al término de la Guerra Fría en 1990 se empezó a utilizar este tipo de dispositivo para uso del público en general.

Makris y Constantinou (1991) proponen el modelo de Maxwell de deriva fraccional para amortiguadores viscosos que se utiliza en aislamiento sísmico de estructuras aplicadas a la construcción, el cual está basado en características dinámicas observadas experimentalmente. El modelo propuesto predice adecuadamente el comportamiento histéretico del amortiguador viscoso en comparación con las pruebas experimentales.

Symans y Constantinou (1998) examinan las características de disipación de energía de amortiguadores de fluido viscoso con base en una estructura idealizada de un nivel. Los resultados de esta investigación demostraron que este tipo de dispositivo es capaz de absorber cantidades significativas de energía sísmica. Las estructuras estudiadas produjeron simultáneamente una reducción en las fuerzas cortantes de entrepiso, así como una reducción de distorsiones de entrepiso. Se demostró que las características de disipación de energía y los beneficios del comportamiento no lineal son una buena protección sísmica para el sistema de un grado de libertad. Se propone la aplicación de amortiguadores de fluido viscoso para protección de edificios y puentes.

Lin y Chopra (2002) investigaron la respuesta sísmica de un sistema de un grado de libertad con amortiguadores de fluido no lineal viscosos. Los resultados de esta investigación muestran que el uso de amortiguadores de fluido no lineal viscoso es más ventajoso ya que logran la misma reducción en el sistema, pero con una fuerza de amortiguación significativamente menor, en comparación con los amortiguadores de fluido viscoso lineales.

En México se implementó por primera vez amortiguadores Taylor en el proyecto de reestructuración fue el edificio de Fray Servando de la Ciudad de México el cual está estructurado con base a marcos de concreto reforzado. Su forma en planta es irregular con forma de (L), cuenta con 15 niveles y está ubicado en suelo blando. Se decidió reestructurar el

edificio para rentarlo como una estructura del Tipo A, por lo cual de acuerdo con el RCDF vigente se debían incrementar las fuerzas sísmicas de diseño en un 50% (Tena, A. 2003).

El proyecto propuesto por EMRSA consistió en adicionar amortiguadores tipo Taylor en los marcos perimetrales paralelos a la fachada del inmueble, así como en un marco perimetral de colindancia y en uno interior en la dirección perpendicular a la fachada. Al incrementar el amortiguamiento a la estructura se logró compensar el incremento ante fuerzas sísmicas (Tena, A. 2003).

La estructuración del edificio de la Torre Mayor incluyó amortiguadores tipo Taylor, este edificio es el segundo más alto de la Ciudad de México y está destinado para oficinas de lujo. Se encuentra ubicado en Av. Paseo de la Reforma sobre terreno tipo III (figura 1.8).



Figura 1.8. Edificio Torre Mayor con disipadores Taylor [Tena, A. 2003].

Debido a que la torre presenta una relación de esbeltez (altura/ancho de la base igual a cinco), un diseño sísmico resistente convencional presenta en la cimentación tracciones muy elevadas, lo que tenía como consecuencia un diseño en la cimentación muy costoso. Por tal motivo en el diseño estructural se decidió emplear una estructuración con base en marcos perimetrales continuos con elementos de acero A-572-50. Todas las columnas hasta el piso 37 son de sección compuesta (ahogadas en concreto), donde se alojan los elevadores, estructurados con base en un núcleo rígido central, y marcos contraventeados con amortiguadores Taylor en el perímetro (Tena, A. 2003).

Se justifica el uso de amortiguadores viscosos en esta estructura debido a la demanda de desplazamientos en el sitio. La gran esbeltez de la estructura podría generar problemas ocasionados por los efectos $P-\Delta$. Al incrementar el amortiguamiento en la estructura se logran reducir los desplazamientos (Tena, A. 2003).

Suárez (2012) en su investigación presenta un marco general para el diseño óptimo de amortiguadores viscosos basado en un modelo de búsqueda y optimización. En este estudio se



presentó un caso de aplicación real en la rehabilitación de un edificio alto de la Ciudad de México en el Centro Cultural Universitario Tlatelolco (CCUT), que de acuerdo a su localización se encuentra en zona III. Se utilizaron algoritmos genéticos para determinar la cantidad de disipadores y su distribución óptima dentro de la estructura. Se realizó un modelo tridimensional y se calibró el modelo a partir de la técnica de vibración y ruido ambiental de las mediciones de los periodos del edificio realizadas por Ávila (2007). Se determinó la respuesta del edificio antes de su rehabilitación de 2007 a partir de un análisis modal espectral. Con base en un modelo tridimensional, se realizó un modelo bidimensional y con este modelo se llevó a cabo un análisis lineal paso a paso para evaluar el arreglo de los amortiguadores viscosos y su optimización empleando algoritmos genéticos. El número de dispositivos que se adicionaron a la estructura propuesta optimizada fueron: seis con $C=120$ kips-s/in, cuatro con $C=80$ kips-s/in, y cuatro con $C = 60$ kips-s/in con $\alpha = 1.0$ para todos los dispositivos, y $k_b = \infty$.

Los resultados numéricos de esta investigación demostraron que este tipo de dispositivo de disipación de energía es muy eficaz en la reducción de la respuesta estructural ante eventos sísmicos. Al utilizar algoritmos genéticos se aplica una técnica de optimización para resolver el problema de determinar la cantidad, ubicación dentro de la estructura y las propiedades mecánicas de los amortiguadores viscosos.

López *et al.* (2014) muestran la mejor opción de rehabilitación estructural para un edificio de 16 niveles de concreto reforzado con muros de mampostería acoplados, ubicado en la zona de transición de la Ciudad de México. En el modelo sin incorporar los amortiguadores viscosos se tienen las distorsiones de entrepiso de 0.0078 en dirección longitudinal y 0.010 en dirección transversal. En la dirección longitudinal se excede al valor de 0.006, que de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) rebasa un 30% lo máximo permitido. En este estudio se sugiere alcanzar un amortiguamiento de 25% del crítico, para lograrlo se propuso colocar 76 amortiguadores de 60 y 80 toneladas de capacidad en ambas direcciones.

En su propuesta de rehabilitación del edificio se instalan los amortiguadores viscosos y se desligan los muros de mampostería de los marcos de concreto. Al proponer este tipo de estructuración, se logra reducir el costo y el tiempo para la rehabilitación estructural del edificio estudiado. Adicionalmente, se hace una comparativa de los sistemas tradicionales el cual implica rigidizar la estructura.

Parcianello *et al.* (2017) realiza un trabajo de investigación enfocado a la optimización de amortiguadores no lineales puramente viscosos; para llevar a cabo el proceso de optimización se utiliza un software que utiliza algoritmos genéticos. En esta investigación se tiene una aplicación de ejemplo el cual consiste en un marco de concreto armado de seis niveles y cuatro crujiás, con una altura de entrepiso de 3.50 metros y 6.00 metros de separación entre columnas. Se analizó la estructura anteriormente descrita para $\alpha = 0.3$ para 6 dispositivos, $\alpha = 0.15$ para 6 dispositivos, y los otros análisis restantes de $\alpha = 0.15$ para 2 dispositivos. Los intervalos de variación para las constantes de amortiguamiento c_i se establecieron como $[0, 300 \text{ kN(s/m)}^\alpha]$. Se limitó la distorsión de entrepiso al 0.40% un poco menos que el recomendado por la norma italiana NTC 2008.

En las variables de entrada y salida se consideró un amplio intervalo de posibilidades. Las variables de entrada definen los parámetros del número y características de los

amortiguadores, y las variables de salida definen los parámetros de distorsiones de entepiso, fuerza transmitida por los amortiguadores, etc.

1.1.6.1 Comportamiento estructural del dispositivo viscoso

El modelo matemático aceptado para este dispositivo con base en pruebas experimentales (Seleemah y Constantinou 1997), donde se tomó en cuenta a la relación entre la fuerza aplicada al pistón y a la velocidad relativa entre el pistón y el cilindro es el siguiente:

$$F = C * |\dot{x}|^\alpha * \text{sign}(\dot{x}) \quad (19)$$

donde,

F = Fuerza del amortiguador.

\dot{x} = Velocidad del piston.

C = Constante dependiente del área del orificio anular, diámetro del pistón y propiedades del fluido viscoso.

El valor de α es una constante que generalmente varia de 0.15 a 1.00 y depende de la forma de la cabeza del pistón. En teoría con valores pequeños de α se tiene una mayor disipación de energía (Alotta, *et. al.* 2016). La figura 1.9 muestra la curva fuerza – desplazamiento para diferentes valores de C y en figura 1.10 se muestra la influencia de α en la curva fuerza – desplazamiento .

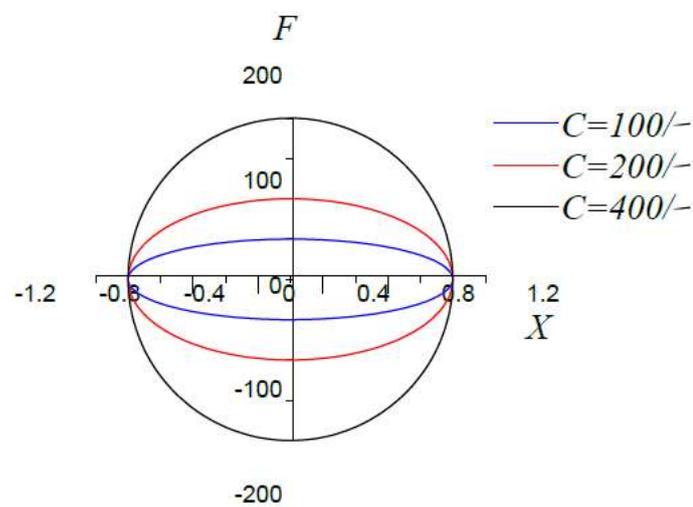


Figura 1.9. Curvas fuerza desplazamiento para distintos valores de C y $\alpha = 1$. [Alotta et. al 2016].

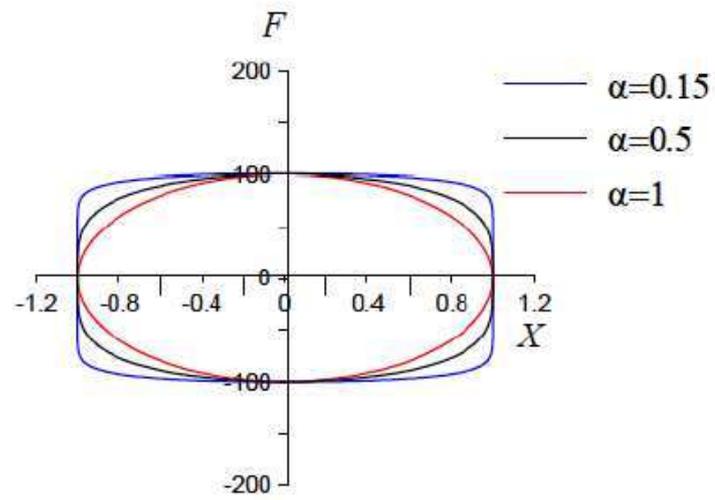


Figura 1.10. Curvas fuerza desplazamiento para distintos valores de α . [Alotta et. al 2016].

Capítulo 2

2.1 Características del sismo del 19 de septiembre de 2017

El Servicio Sismológico Nacional reportó el sismo ocurrido el día 19 de septiembre de 2017 con magnitud 7.1 a las 13:14 horas, localizado entre los Estados de Puebla y Morelos, a 120 km de la Ciudad de México. Las coordenadas del epicentro son 18.40 latitud Norte y -98.72 latitud Oeste y a una profundidad de 57 km (SSN 2017).

El sismo del 19 de septiembre de 2017 fue ocasionado por una falla del tipo normal, este sismo tiene la característica de ser de tipo intraplaca en donde la placa de Cocos subduce por debajo de la placa de Norteamérica. El sismo se produjo a una profundidad intermedia a causa de los esfuerzos excesivos a lo largo de la placa de Cocos; en la figura 2.1 se muestra este tipo de falla que ocasionó el sismo anteriormente mencionado (Cruz *et al.* 2017). En la figura 2.1 las “pelotas de playa” muestran la orientación de las fallas y la dirección en que deslizaron.

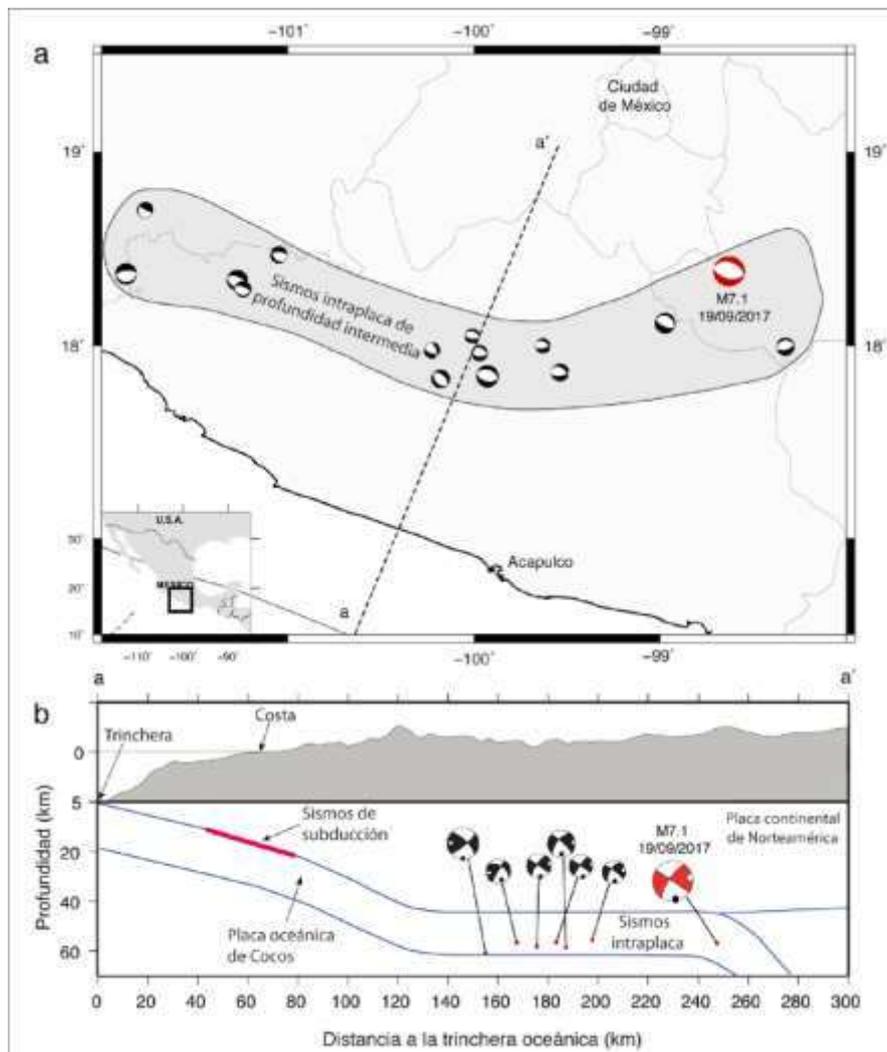


Figura 2.11. Localización del sismo de magnitud 7.1 del 19 de septiembre de 2017 [Cruz et al. 2017].

2.2 Características de los acelerogramas registrados durante el sismo del 19 de septiembre de 2017

De acuerdo a Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), la Ciudad de México está dividida en tres zonas sísmicas I, II, III, y la zona III a su vez está dividida en subzonas (IIIa, IIIb, IIIc, y IIId), en la figura 2.2 se muestra la zonificación sísmica de la Ciudad de México.

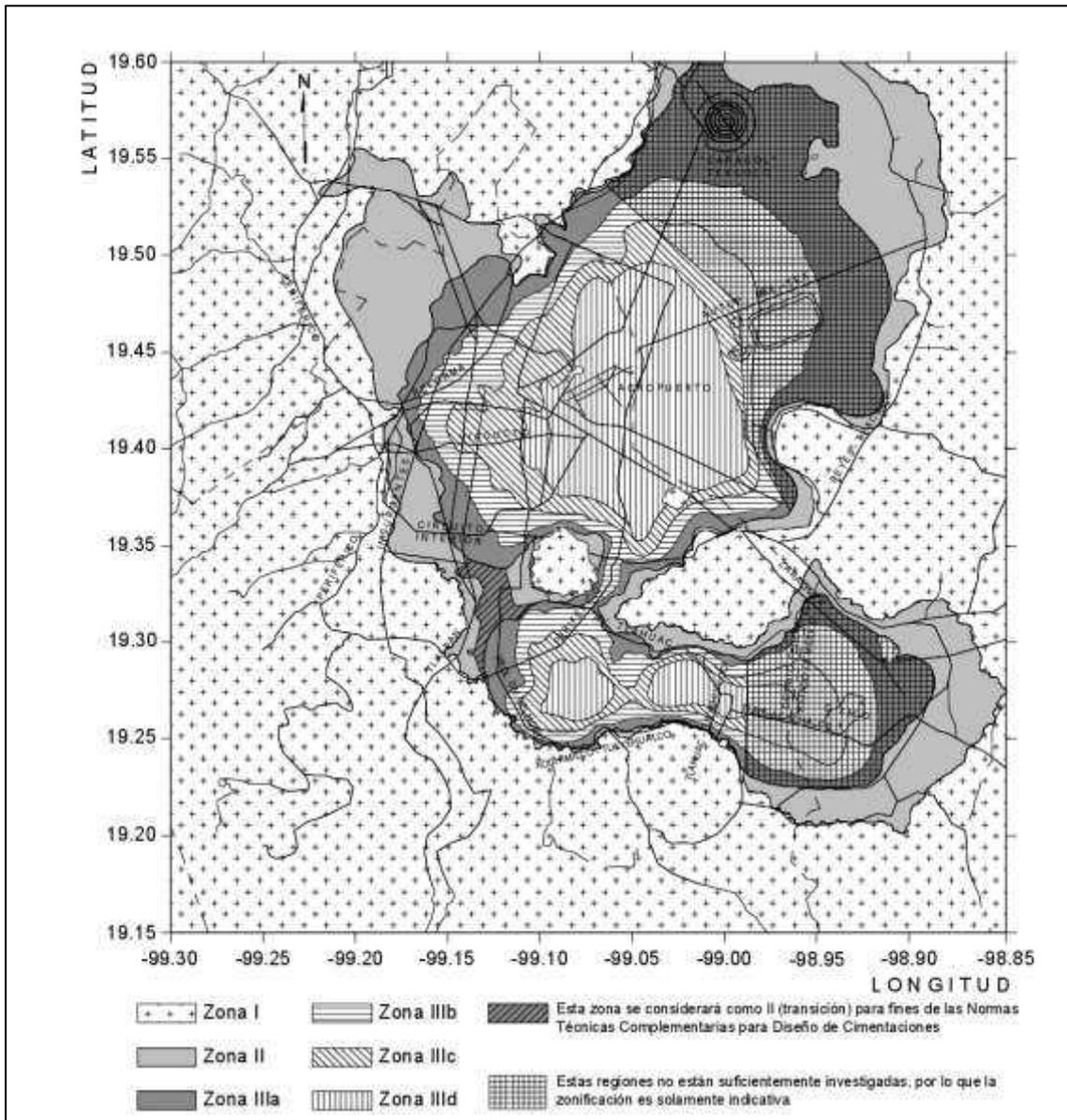


Figura 2.12. Zonificación sísmica de la Ciudad de México [NTC-DF-Sismo, 2004].

Para este trabajo de investigación se tienen 61 acelerogramas proporcionados por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C. (CIRES), y siete del Departamento de Sismología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con la ubicación geográfica de cada acelerograma y con ayuda del mapa interactivo de la página de internet <https://www.sismosmexico.org/> se identificó el tipo de zona sísmica donde se encuentran ubicados, el resultado se muestra en la figura 2.3.

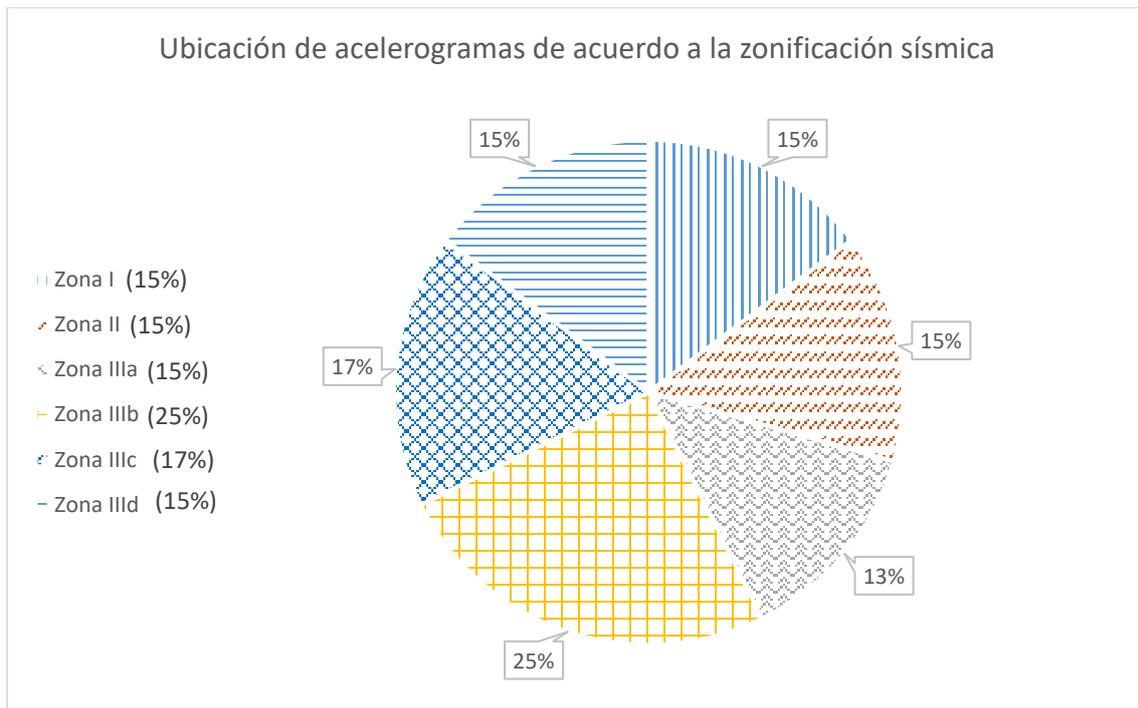


Figura 2.13. Ubicación de acelerogramas de acuerdo a la zonificación sísmica.

En las figuras 2.4 a 2.9 se muestran las aceleraciones máximas del terreno, de acuerdo con los registros sísmicos y clasificándolos de acuerdo con su zona sísmica.

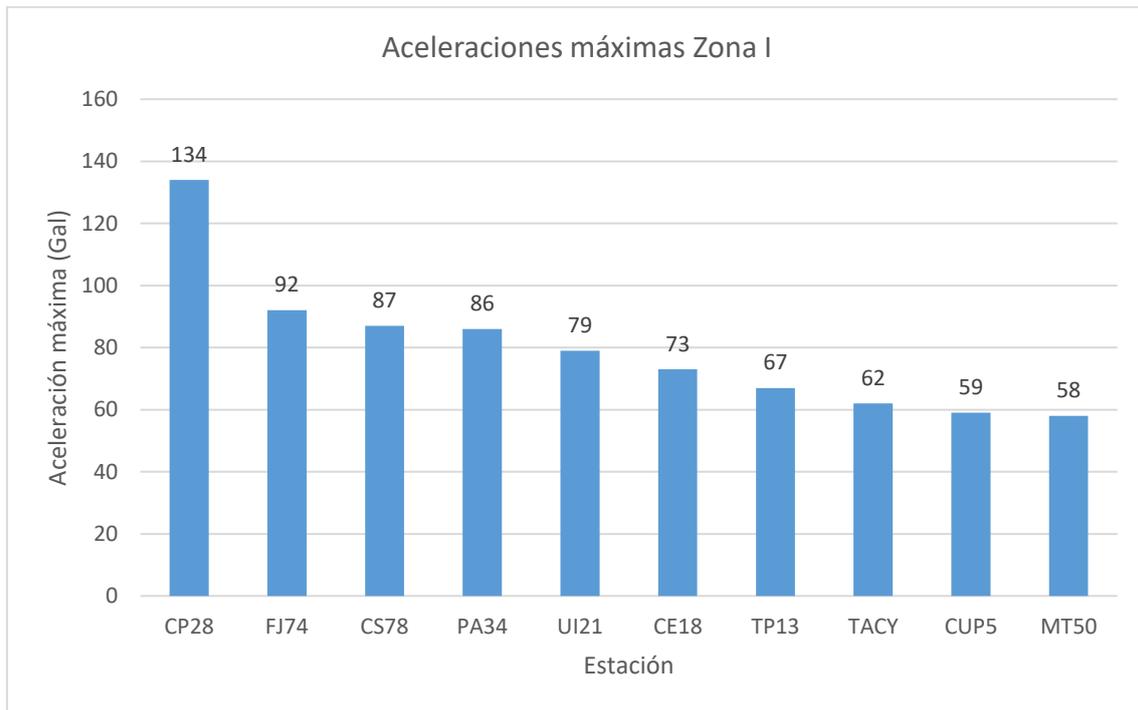


Figura 2.14. Aceleraciones máximas para la Zona I.

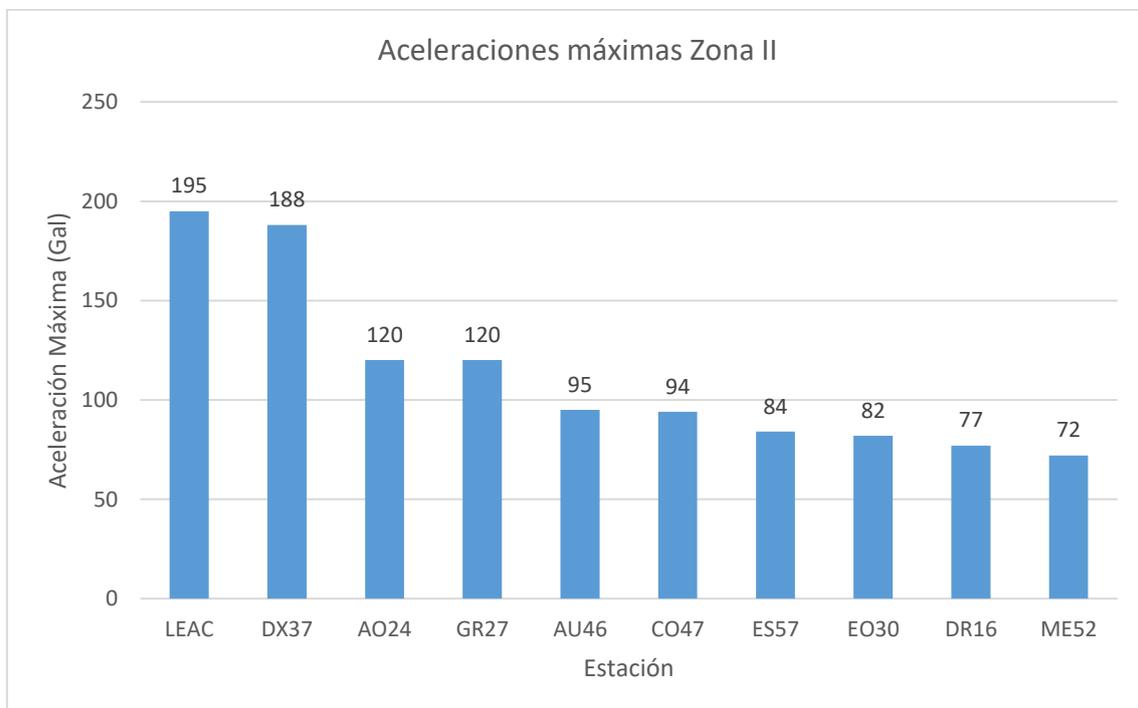


Figura 2.15. Aceleraciones máximas para la Zona II.

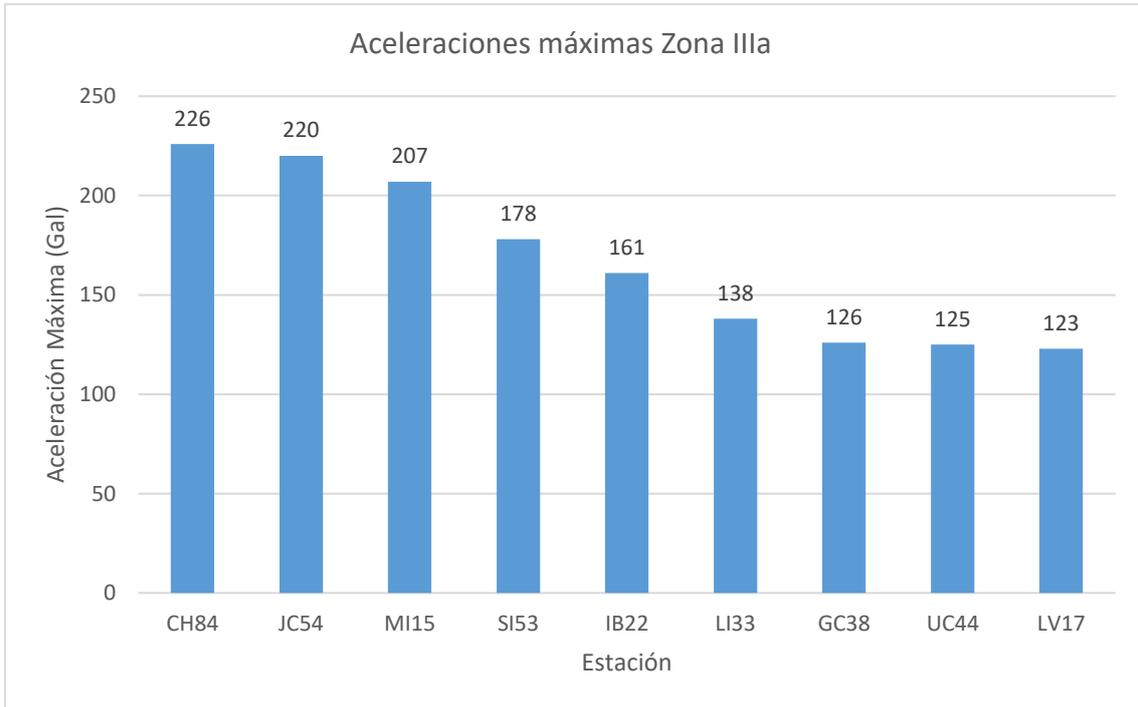


Figura 2.16. Aceleraciones máximas para la Zona IIIa.

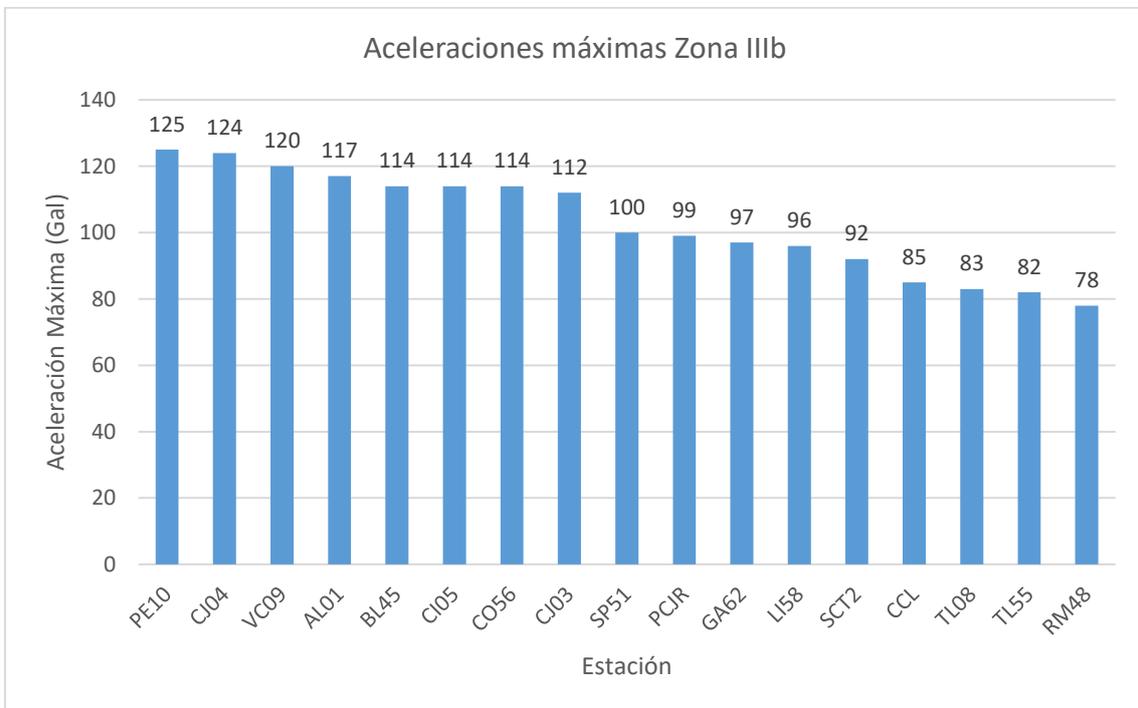


Figura 2.17. Aceleraciones máximas para la Zona IIIb.

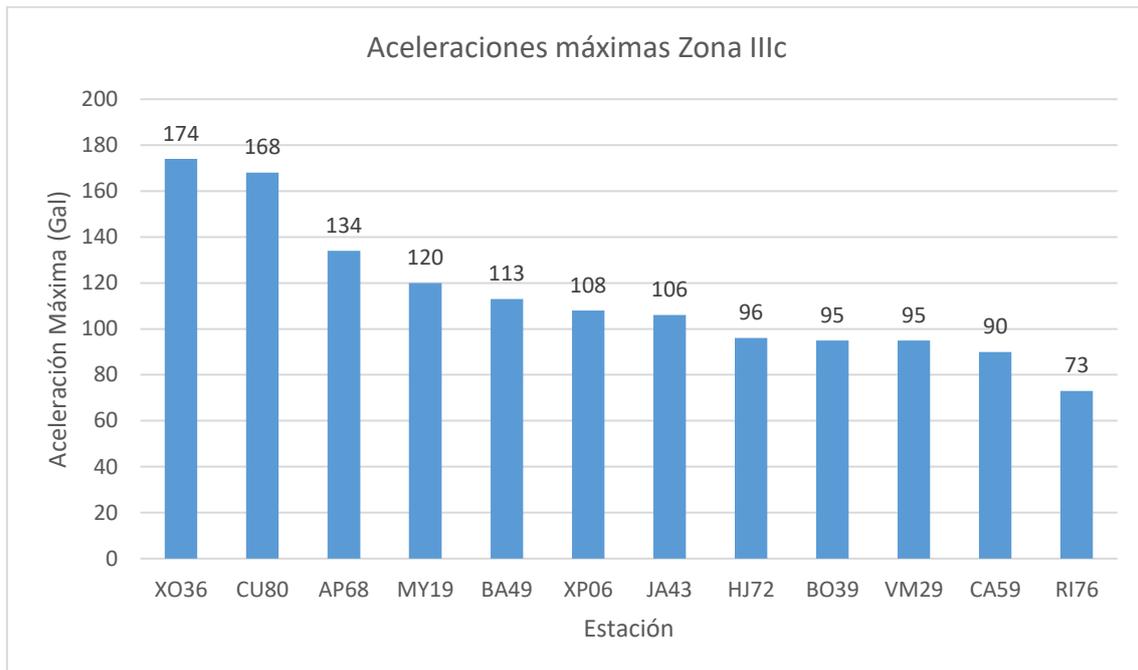


Figura 2.18. Aceleraciones máximas para la Zona IIIc.

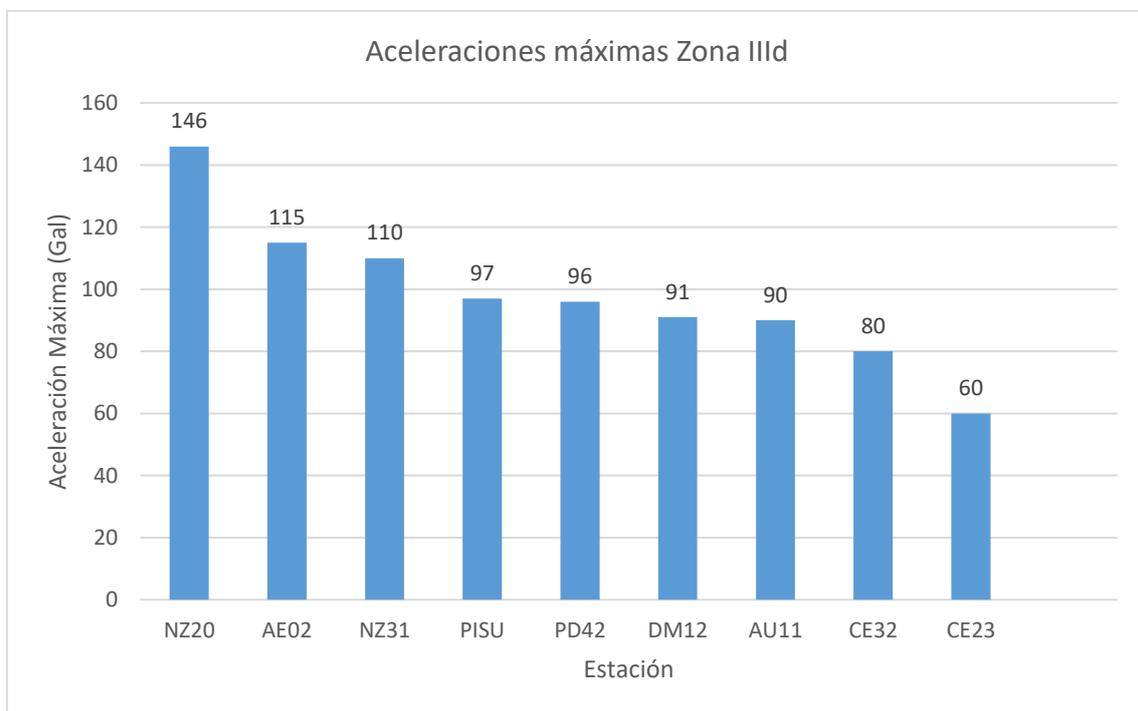


Figura 2.19. Aceleraciones máximas para la Zona III d.



A partir de los datos anteriores, las figuras 2.10 a 2.12 muestran las cinco mayores aceleraciones de los registros sísmicos de las tres zonas sísmicas. En las tablas 2.1 a 2.3 se muestra esta misma información y se muestra también el nombre de la estación sísmica de donde provienen los datos.

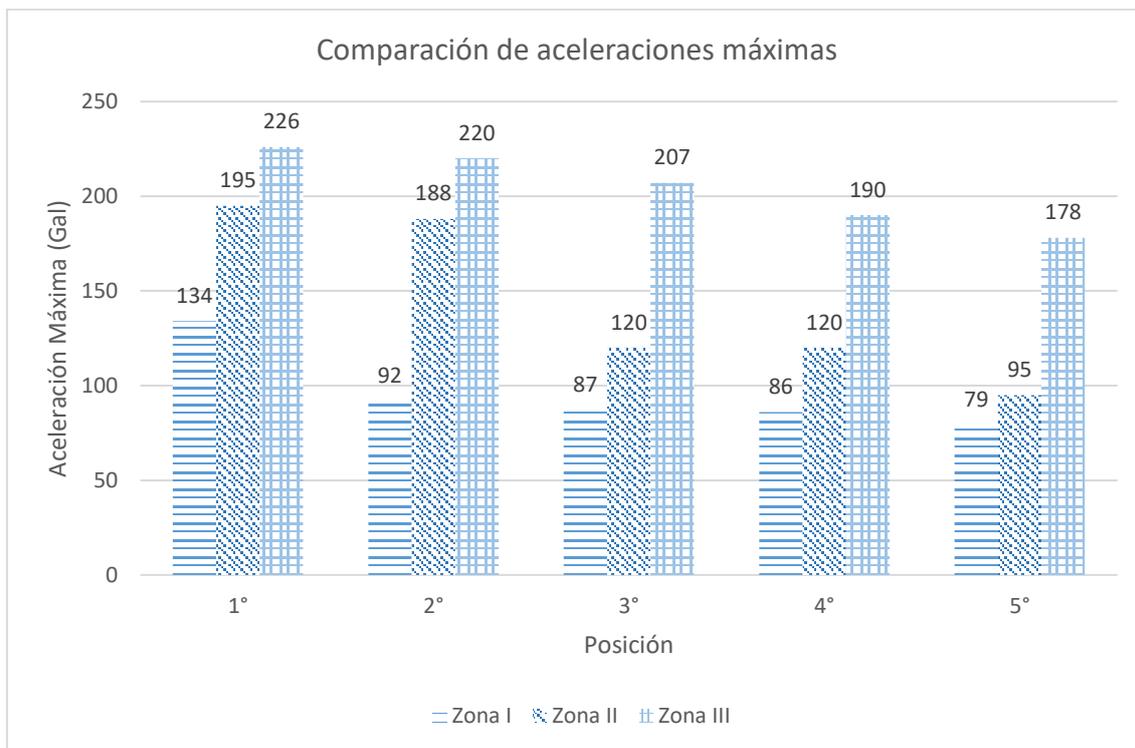


Figura 2.20. Comparación de aceleraciones máximas de zonas sísmicas.

Tabla 2.1. Estaciones y aceleraciones máximas de la figura 2.9.

Posición	Zona I		Zona II		Zona III	
	Estación	A máx. (Gal)	Estación	A máx. (Gal)	Estación	A máx. (Gal)
1°	CP28	134	LEAC	195	CH84	226
2°	FJ74	92	DX37	188	JC54	220
3°	CS78	87	AO24	120	MI15	207
4°	PA34	86	GR27	120	TH35	190
5°	UI21	79	AU46	95	SI53	178

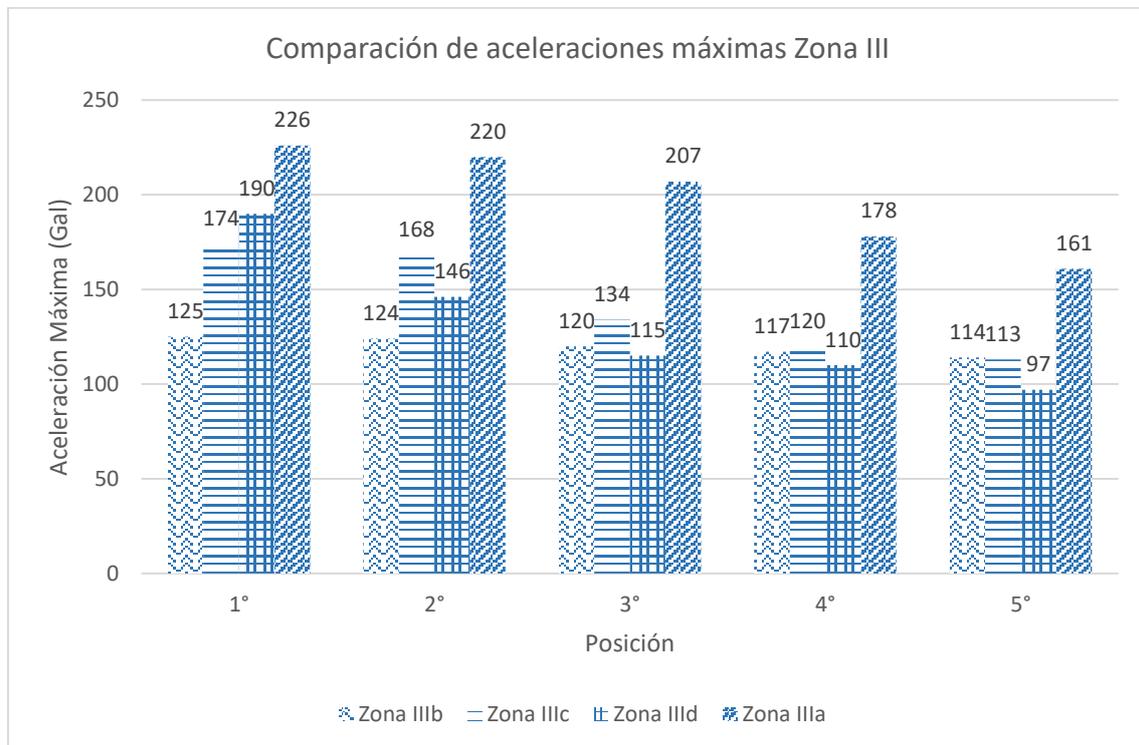


Figura 2.21. Comparación de aceleraciones máximas de zona sísmica III.

Posición	Zona IIIb		Zona IIIc		Zona IIId		Zona IIIa	
	Estacion	A máx (Gal)	Estacion	A máx (Gal)	Estacion	A máx (Gal)	Estación	A máx. (Gal)
1°	PE10	125	XO36	174	TH35	190	CH84	226
2°	CJ04	124	CU80	168	NZ20	146	JC54	220
3°	VC09	120	AP68	134	AE02	115	MI15	207
4°	AL01	117	MY19	120	NZ31	110	SI53	178
5°	BL45	114	BA49	113	PISU	97	IB22	161



De las figuras 2.10 y 2.11 se tiene que las mayores aceleraciones máximas registradas ocurrieron en las zonas sísmicas II, IIIa, y IIIb, de la cual se presenta una gráfica en la figura 2.11.

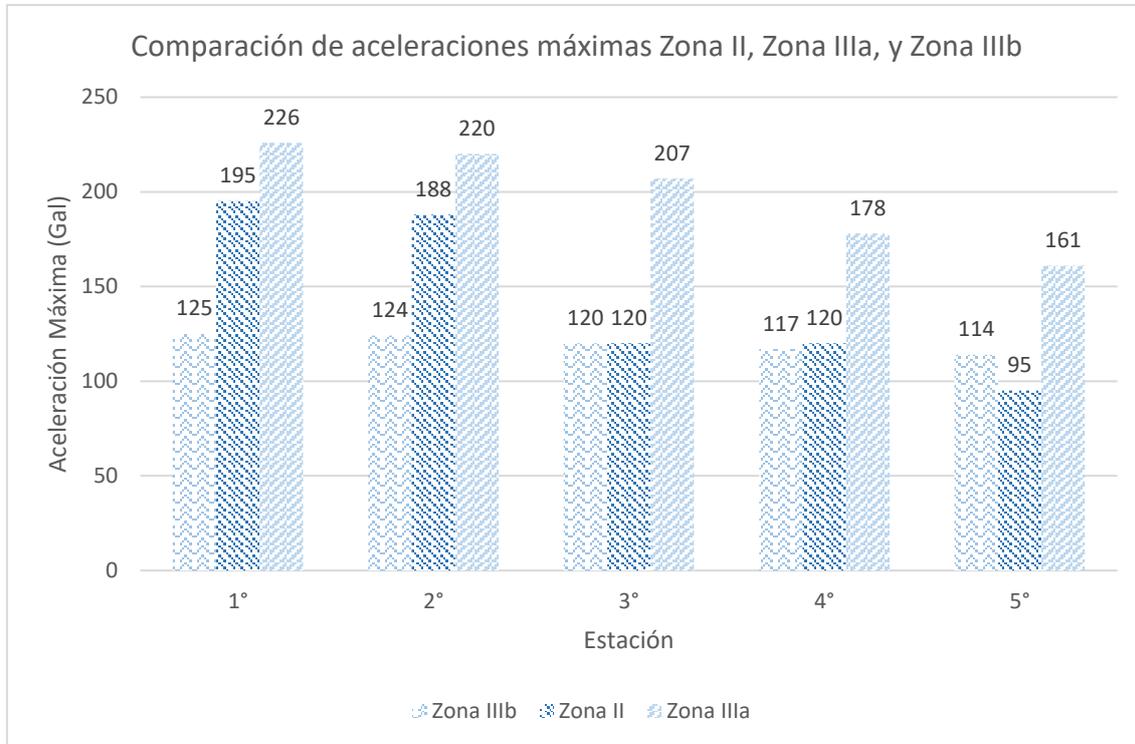


Figura 2.22. Comparación de aceleraciones máximas Zona II, Zona IIIa, y Zona IIIb.

Tabla 2.2. Estaciones y aceleraciones máximas de la figura 2.11.

Posición	Zona IIIb		Zona II		Zona IIIa	
	Estación	A máx (Gal)	Estación	A máx. (Gal)	Estación	A máx. (Gal)
1°	PE10	125	LEAC	195	CH84	226
2°	CJ04	124	DX37	188	JC54	220
3°	VC09	120	AO24	120	MI15	207
4°	AL01	117	GR27	120	SI53	178
5°	BL45	114	AU46	95	IB22	161

En la figura 2.13 se muestran los valores máximos y mínimos de aceleración para las diferentes zonas sísmicas.

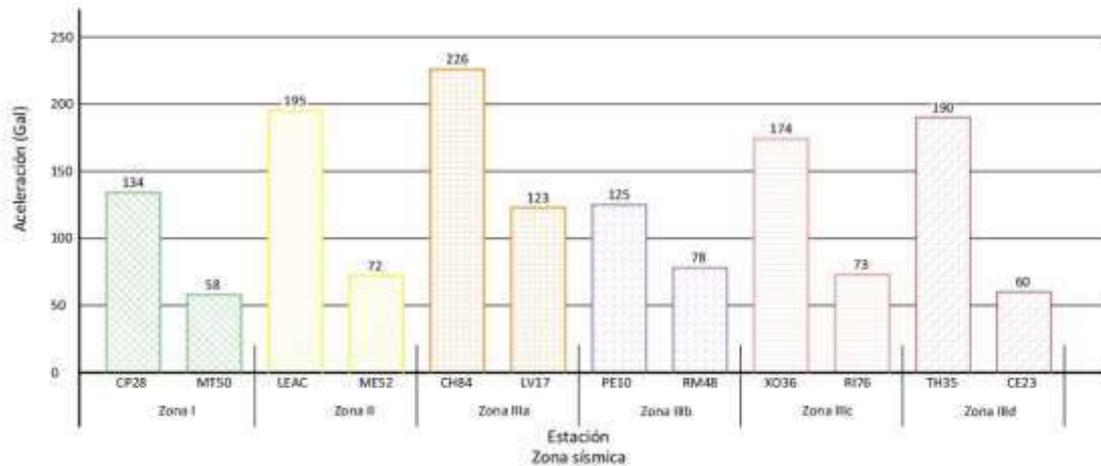


Figura 2.23. Gráfica valores máximos y mínimos de aceleración para las diferentes zonas sísmicas.

2.3 Relación entre las aceleraciones máximas registradas del sismo del 19 de septiembre de 2017 y daños en los inmuebles

Con base en 287 dictámenes estructurales de los inmuebles afectados por el sismo del 19 de septiembre de 2017 se realizó esta comparativa. Estos dictámenes fueron obtenidos de la página de internet <https://plataforma.cdmx.gob.mx/comision> de la cual se tomaron en cuenta tres clasificaciones de acuerdo al daño estructural presentado las cuales son:

- Derrumbe: El cual consiste en los inmuebles que sufrieron colapso inmediatamente en el sismo del 19 de septiembre de 2017.
- Demoliciones: Son los inmuebles que de acuerdo al dictamen emitido por el instituto de seguridad de las construcciones del Distrito Federal (ISCDF) presentan condiciones de inestabilidad y pone en riesgo la seguridad de los ocupantes, vecinos y peatones.
- Riesgo alto: En este tipo de inmuebles se debe de garantizar la seguridad estructural para poder ser habitadas, por lo cual deben de ser sometidas a un proyecto de reconstrucción y refuerzo estructural avalado por un Corresponsable de Seguridad Estructural.

Las definiciones de las clasificaciones anteriormente descritas fueron tomadas de la siguiente página de internet:

<https://plataforma.cdmx.gob.mx/contenido>

De los 287 dictámenes estructurales obtenidos se tiene que 38 (13.24%) corresponden a la clasificación de derrumbe, 62 (21.60%) a la clasificación de demoliciones, y 187 (65.16%) a la clasificación de riesgo alto.

2.3.1 Zonificación sísmica de los inmuebles analizados

La figura 2.14 muestra la ubicación de los inmuebles en cada zona sísmica, para las tres categorías anteriormente descritas.

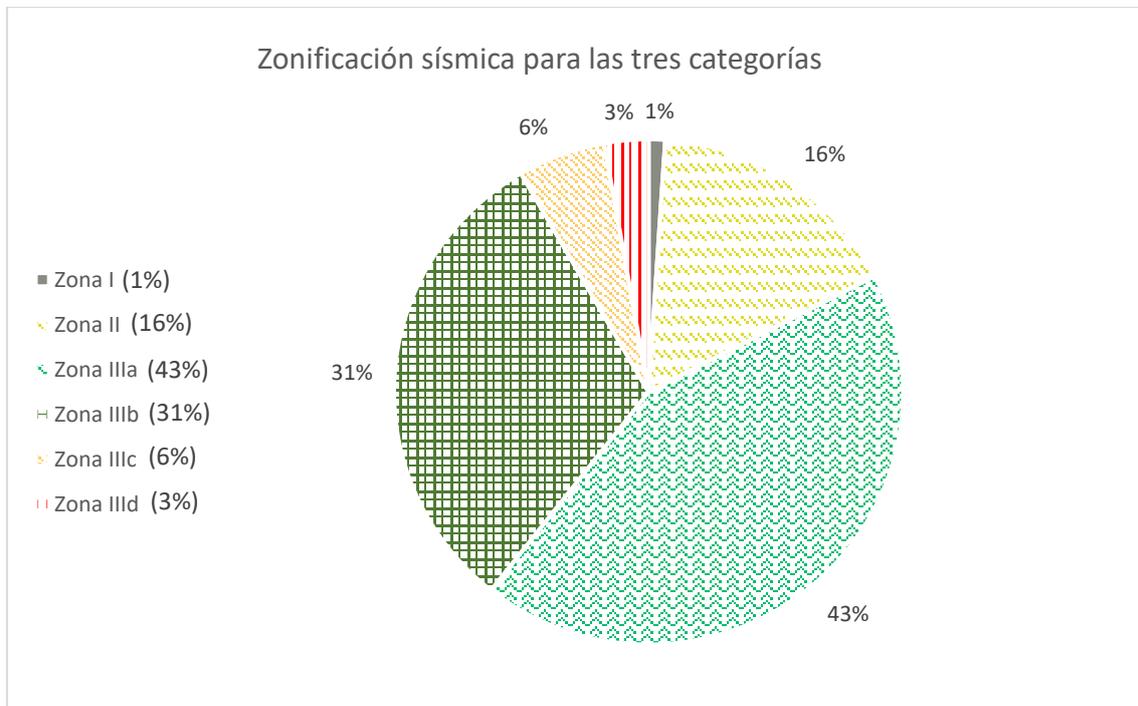


Figura 2.24. Zonificación sísmica para las tres categorías.

Las figuras 2.15 a 2.17 muestran la localización de los edificios como función de la clasificación del daño.

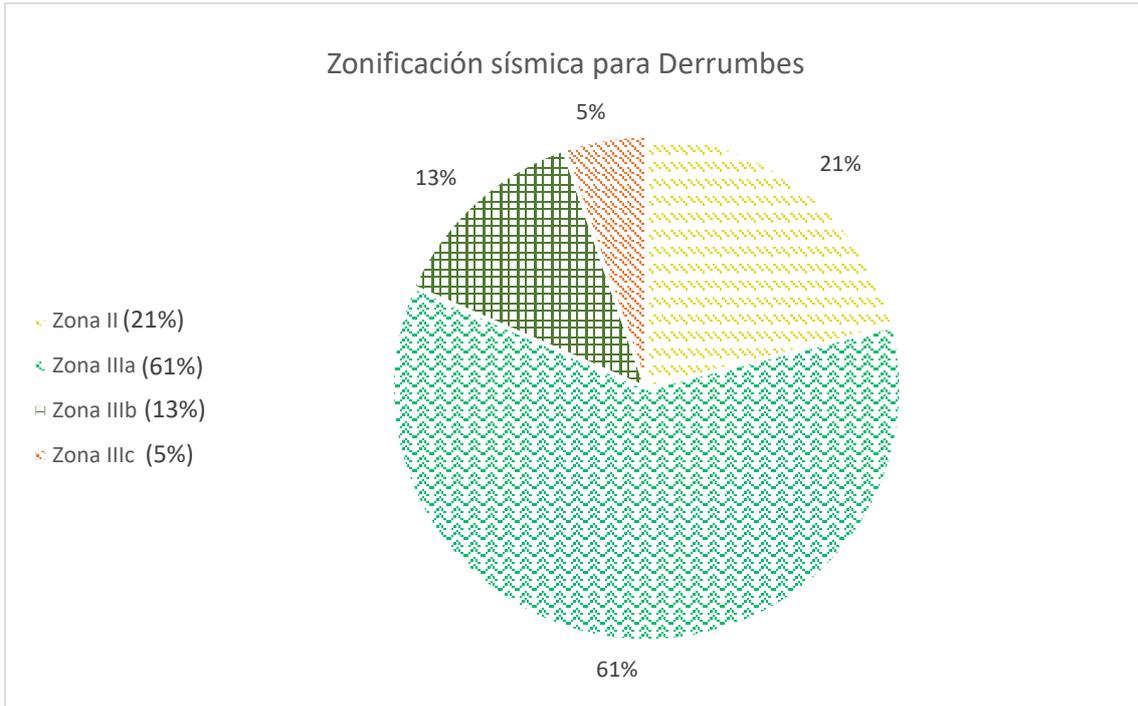


Figura 2.25. Zonificación sísmica para la clasificación de derrumbes.

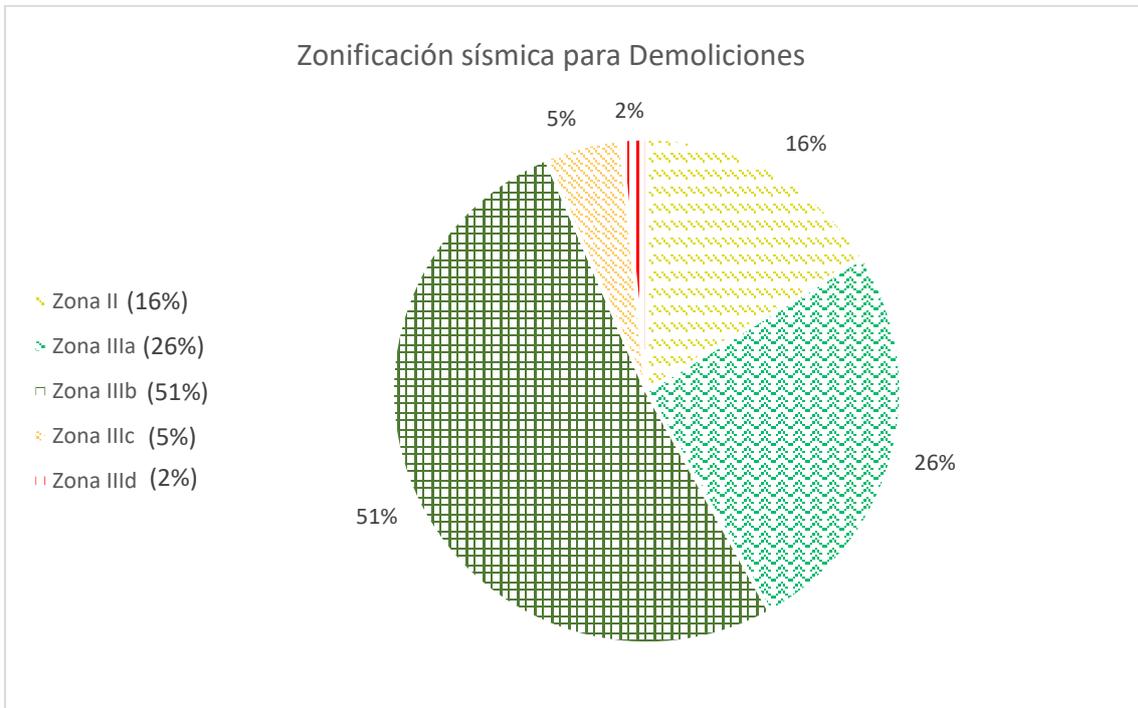


Figura 2.26. Zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.

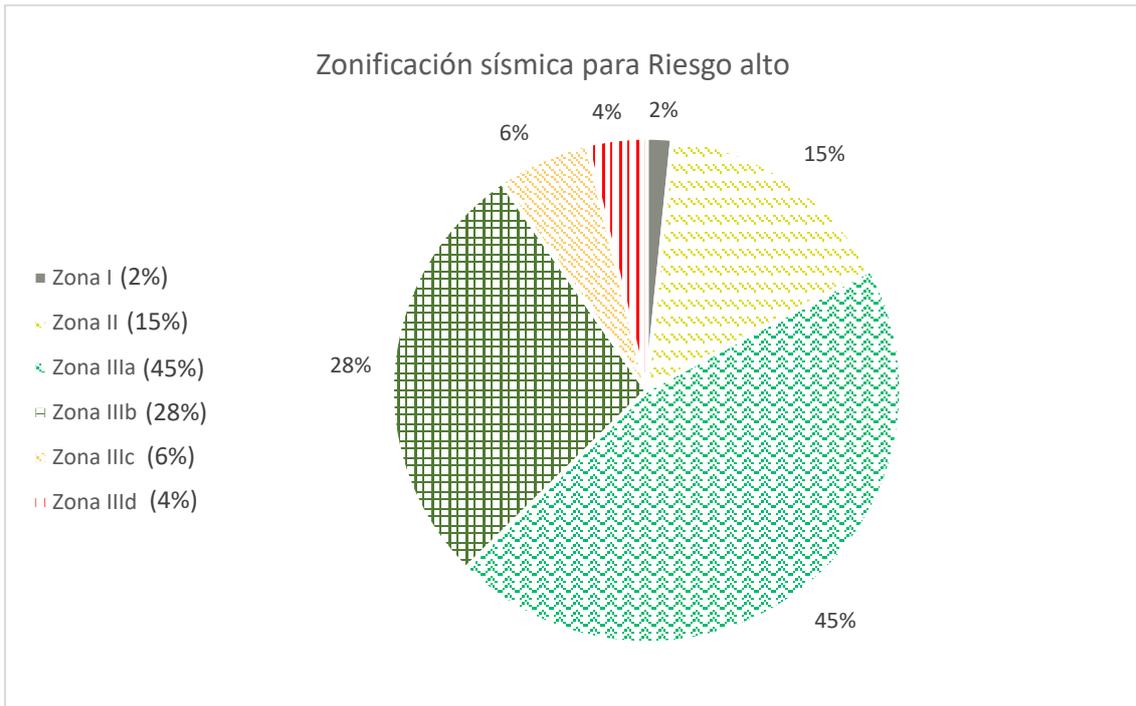


Figura 2.27. Zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.

De las figuras 2.14 a 2.17 se aprecia que la mayor concentración de inmuebles dañados corresponde a las zonas IIIa y IIIb. Las zonas II, IIIa y IIIb, según las NTCS-04, corresponden a las zonas de mayor demanda sísmica, y en estas tres zonas se presentaron las mayores aceleraciones máximas registradas de acuerdo a la sección 2.2. La anterior muestra una relación entre los inmuebles dañados, su zonificación sísmica, y aceleraciones máximas registradas.

2.4 Análisis de periodos y pseudo-aceleraciones de los acelerogramas

Se obtuvieron los espectros de respuesta de pseudo-aceleración de los 68 registros sísmicos del sismo del 19 de septiembre de 2017 en las direcciones N90W y N00E. Los resultados se muestran en las tablas 2.4 a 2.6 y en las figuras 2.18 y 2.19.

Tabla 2.3. Pseudo-aceleración máxima y periodo asociado a la misma para la zona sísmica I.

Estación	Zona sísmica	Dirección	Sa (g)	T (s)	Dirección	Sa (g)	T (s)
CE18	Zona I	N00E	0.26	0.3	N90W	0.14	0.64
CS78	Zona I	N00E	0.28	0.74	N90W	0.22	0.22
CP28	Zona I	N00E	0.28	0.74	N90W	0.22	0.22
FJ74	Zona I	N00E	0.38	0.34	N90W	0.30	0.3
MT50	Zona I	N00E	0.19	0.57	N90W	0.27	0.4
PA34	Zona I	N00E	0.24	0.57	N90W	0.31	0.64
TP13	Zona I	N00E	0.21	0.16	N90W	0.21	0.38



UI21	Zona I	N00E	0.25	0.22	N90W	0.30	0.51
CUP5	Zona I	N00E	0.09	0.06	N90W	0.22	0.1
TACY	Zona I	N00E	0.28	0.25	N90W	0.26	0.23

Tabla 2.4. Pseudo-aceleración máxima y periodo asociado a la misma para la zona sísmica II.

Estación	Zona sísmica	Dirección	Sa (g)	T (s)	Dirección	Sa (g)	T (s)
DX37	Zona II	N00E	1.03	1.1	N90W	0.69	1.03
LEAC	Zona II	N00E	0.68	1.19	N90W	0.74	1.26
AO24	Zona II	N00E	0.50	1.03	N90W	0.58	0.98
AU46	Zona II	N00E	0.40	0.79	N90W	0.42	0.92
GR27	Zona II	N00E	0.38	0.73	N90W	0.86	0.77
DR16	Zona II	N00E	0.36	0.6	N90W	0.42	0.59
CO47	Zona II	N00E	0.31	0.41	N90W	0.46	0.49
ES57	Zona II	N00E	0.31	0.93	N90W	0.33	0.75
EO30	Zona II	N00E	0.26	0.54	N90W	0.42	0.6
ME52	Zona II	N00E	0.25	0.7	N90W	0.26	0.69

Tabla 2.5. Pseudo-aceleración máxima y periodo asociado a la misma para la zona sísmica III.

Estación	Zona sísmica	Dirección	Sa (g)	T (s)	Dirección	Sa (g)	T (s)
AE02	Zona III d	N00E	0.43	0.96	N90W	0.40	0.80
AL01	Zona III b	N00E	0.36	0.55	N90W	0.37	0.38
AP68	Zona III c	N00E	0.38	0.93	N90W	0.53	0.63
AU11	Zona III d	N00E	0.46	1.41	N90W	0.34	1.35
BA49	Zona III c	N00E	0.65	2.35	N90W	0.42	2.50
BL45	Zona III b	N00E	0.34	2.04	N90W	0.39	0.76
BO39	Zona III c	N00E	0.37	2.21	N90W	0.52	2.65
CA59	Zona III c	N00E	0.30	1.00	N90W	0.37	2.49
CCCL	Zona III b	N00E	0.36	0.84	N90W	0.30	0.72
CE23	Zona III d	N00E	0.14	2.14	N90W	0.19	2.73
CE32	Zona III d	N00E	0.40	1.37	N90W	0.39	1.39
CH84	Zona III a	N00E	0.61	1.36	N90W	1.59	1.39
CI05	Zona III b	N00E	0.48	1.58	N90W	0.47	1.57
CJ03	Zona III b	N00E	0.47	1.93	N90W	0.57	1.83
CJ04	Zona III b	N00E	0.46	1.93	N90W	0.57	1.83
CO56	Zona III b	N00E	0.45	0.76	N90W	0.33	2.14
CU80	Zona III c	N00E	0.85	1.19	N90W	0.82	1.26
DM12	Zona III d	N00E	0.33	0.75	N90W	0.30	1.52
GA62	Zona III b	N00E	0.45	1.80	N90W	0.31	1.90
GC38	Zona III a	N00E	0.62	1.73	N90W	0.65	1.68
HJ72	Zona III c	N00E	0.36	2.02	N90W	0.30	1.51
IB22	Zona III a	N00E	0.58	1.46	N90W	0.65	1.26
JA43	Zona III c	N00E	0.35	0.49	N90W	0.33	0.54



JC54	Zona IIIa	N00E	0.81	1.20	N90W	1.01	1.28
LI33	Zona IIIa	N00E	0.43	0.67	N90W	0.49	0.37
LI58	Zona IIIb	N00E	0.37	1.95	N90W	0.42	1.43
LV17	Zona IIIa	N00E	0.51	1.15	N90W	0.46	0.97
MI15	Zona IIIa	N00E	1.15	1.47	N90W	0.57	1.58
MY19	Zona IIIc	N00E	0.57	0.95	N90W	0.54	0.95
NZ20	Zona IIId	N00E	0.53	1.94	N90W	0.58	1.86
NZ31	Zona IIId	N00E	0.49	1.57	N90W	0.42	1.08
PCJR	Zona IIIb	N00E	0.41	2.15	N90W	0.39	2.16
PD42	Zona IIId	N00E	0.35	0.52	N90W	0.40	0.53
PE10	Zona IIIb	N00E	0.37	1.95	N90W	0.39	1.94
PISU	Zona IIId	N00E	0.41	1.48	N90W	0.38	2.13
RI76	Zona IIIc	N00E	0.20	1.22	N90W	0.27	2.40
RM48	Zona IIIb	N00E	0.29	1.61	N90W	0.28	2.38
SCT2	Zona IIIb	N00E	0.59	1.78	N90W	0.38	1.74
SI53	Zona IIIa	N00E	0.59	1.41	N90W	0.65	1.24
SP51	Zona IIIb	N00E	0.33	1.92	N90W	0.44	1.83
TH35	Zona IIId	N00E	0.69	2.24	N90W	0.82	0.53
TL08	Zona IIIb	N00E	0.34	1.40	N90W	0.35	1.92
TL55	Zona IIIb	N00E	0.33	1.27	N90W	0.35	1.36
UC44	Zona IIIa	N00E	0.40	1.10	N90W	0.49	1.46
VG09	Zona IIIb	N00E	0.37	0.44	N90W	0.36	2.46
VM29	Zona IIIc	N00E	0.48	2.27	N90W	0.56	2.36
XO36	Zona IIIc	N00E	0.47	1.54	N90W	0.65	0.53
XP06	Zona IIIc	N00E	0.38	1.99	N90W	0.57	2.35

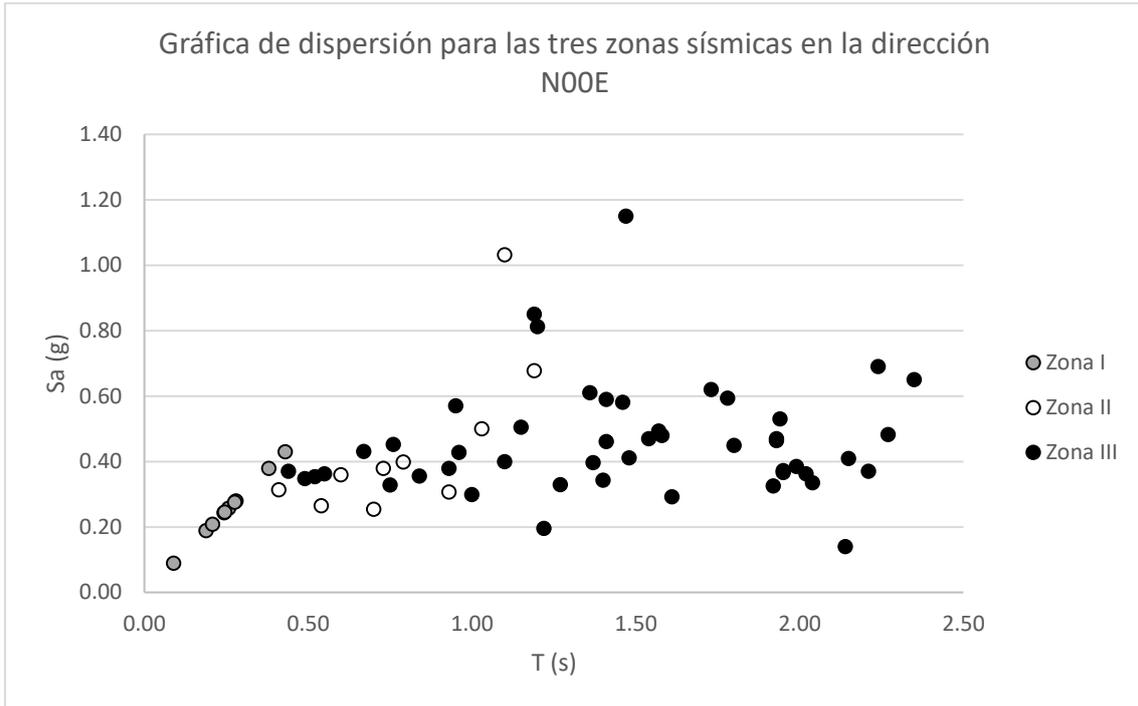


Figura 2.28. Gráfica de dispersión de espectros de respuesta de los acelerogramas analizados en dirección N00E.

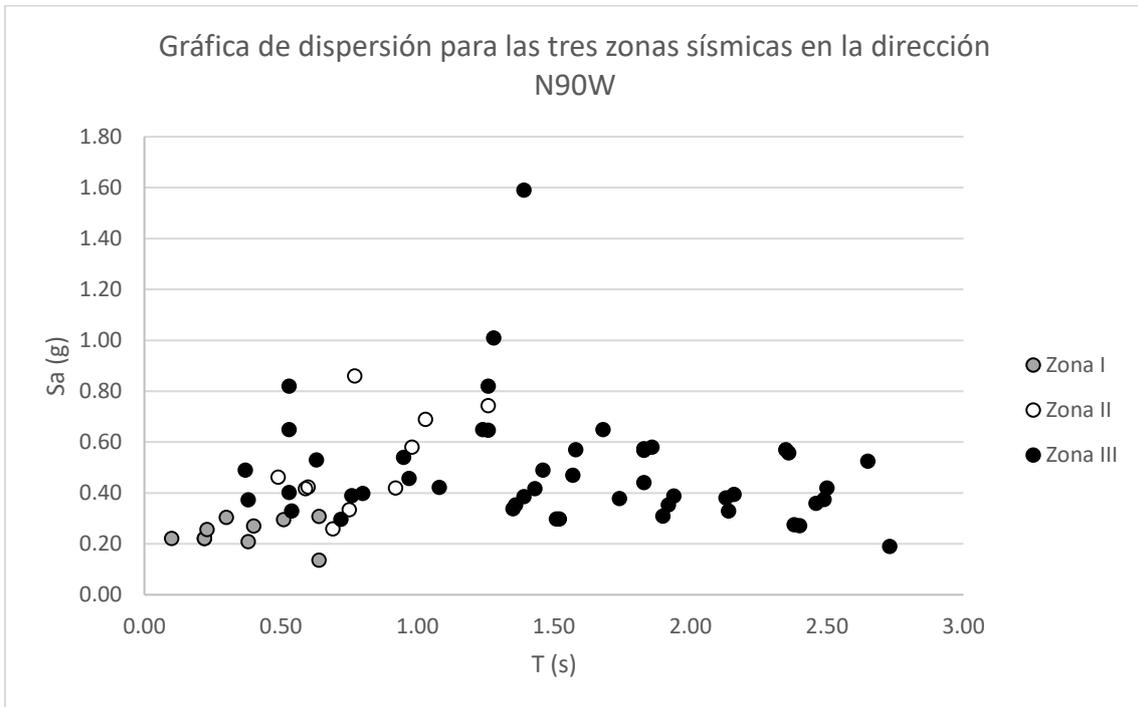


Figura 2.29. Gráfica de dispersión de espectros de respuesta de los acelerogramas analizados en dirección N90W.



Para obtener la amplificación del suelo en las tres zonas sísmicas se dividió la pseudo-aceleración máxima registrada entre la aceleración máxima registrada de los 68 acelerogramas registrados, los resultados se muestran en las gráficas de dispersión en las figuras 2.20 y 2.21.

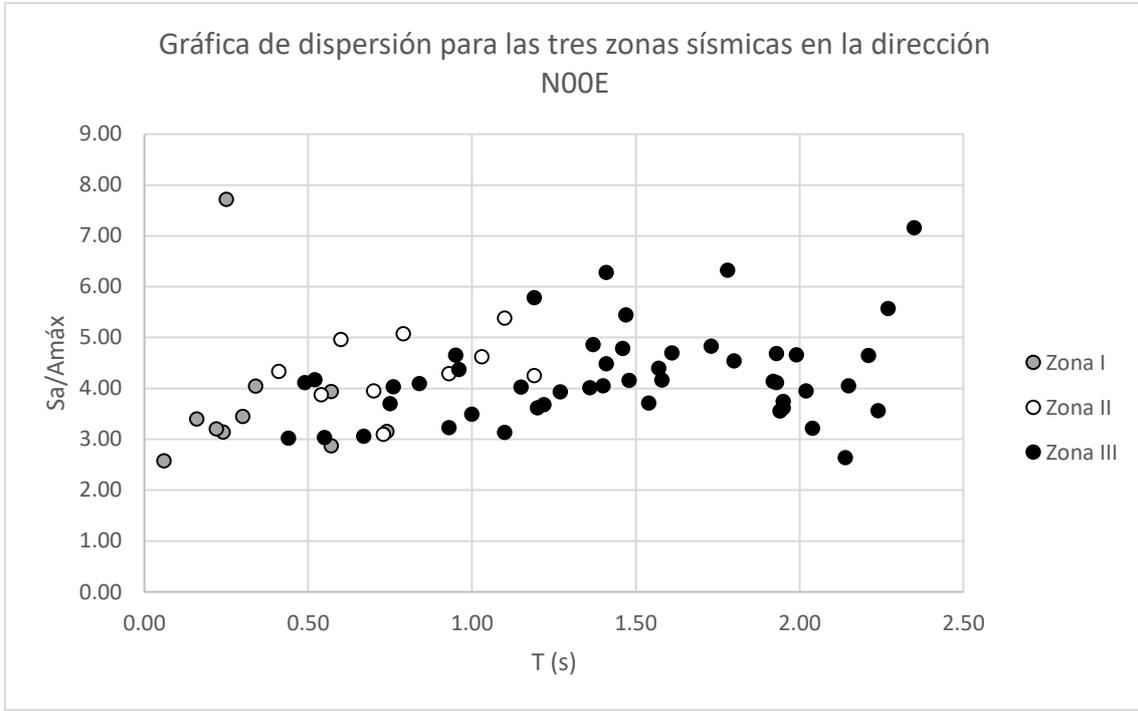


Figura 2.30. Amplificación del suelo para las tres zonas sísmicas en la dirección N00E.

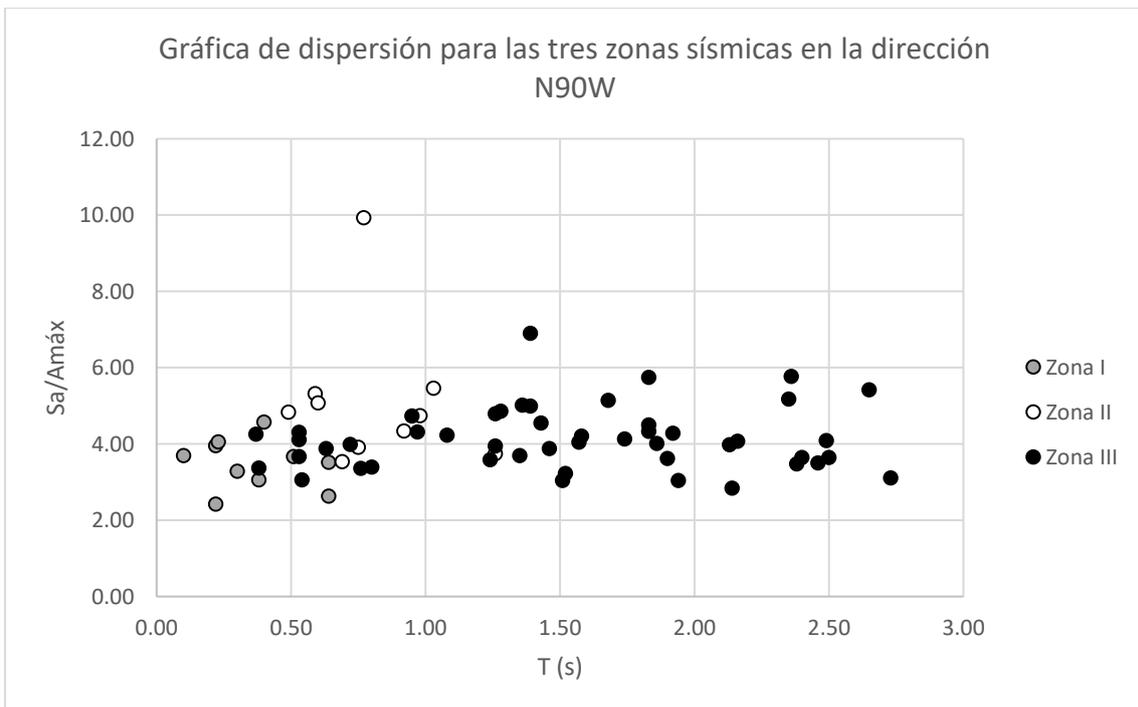


Figura 2.31. Amplificación del suelo para las tres zonas sísmicas en la dirección N90W.

En la figura 2.22 se muestra el mapa con la zonificación sísmica de acuerdo a Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), donde se marcaron los inmuebles colapsados y sus estaciones sísmicas más cercanas.

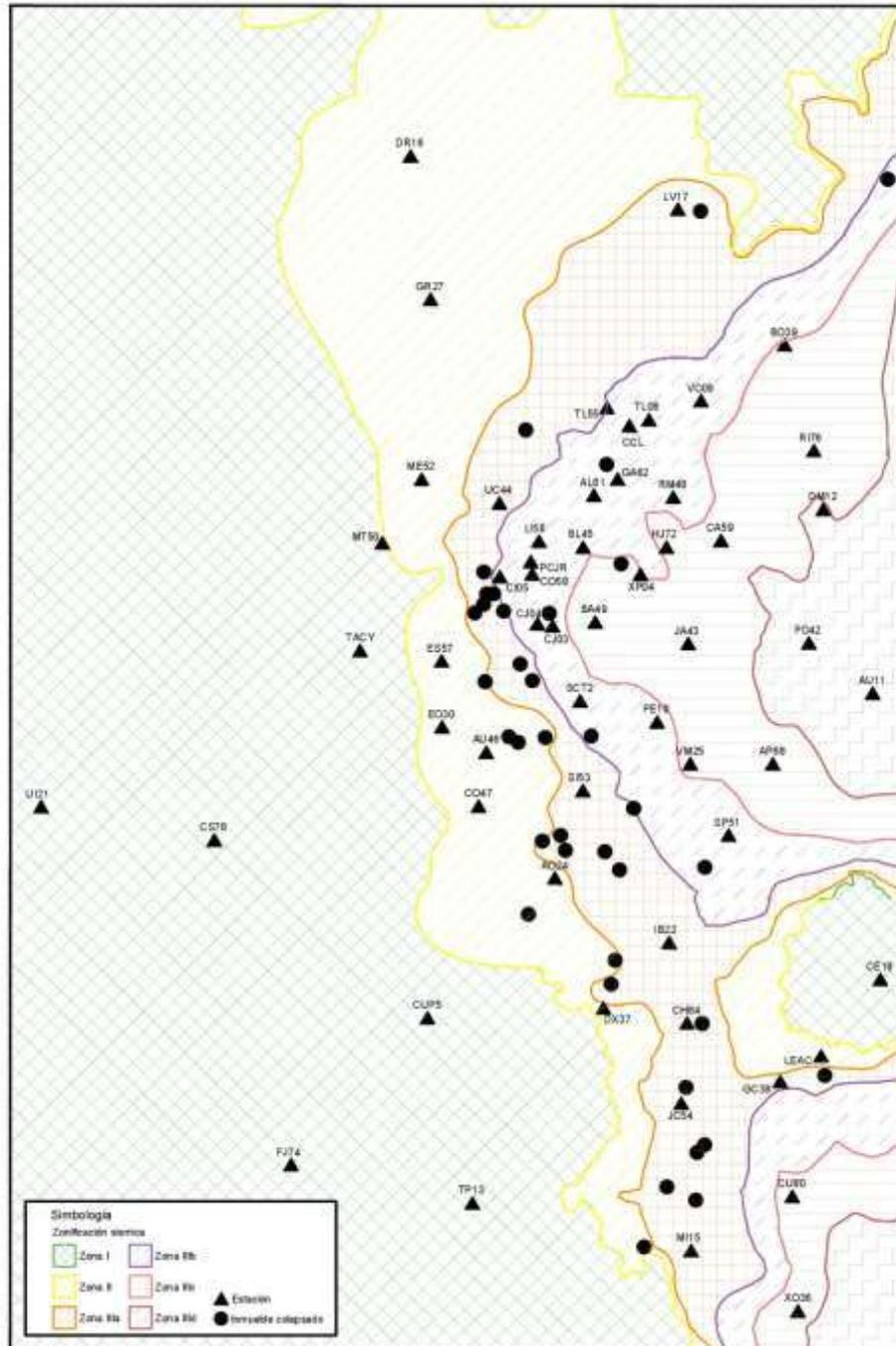


Figura 2.32. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004).

En las figuras 2.23 a 2.28, de la figura anterior se separó por zona sísmica y se indica en cada estación la aceleración máxima registrada, la pseudo-aceleración calculada, y su periodo correspondiente a la pseudo-aceleración calculada.

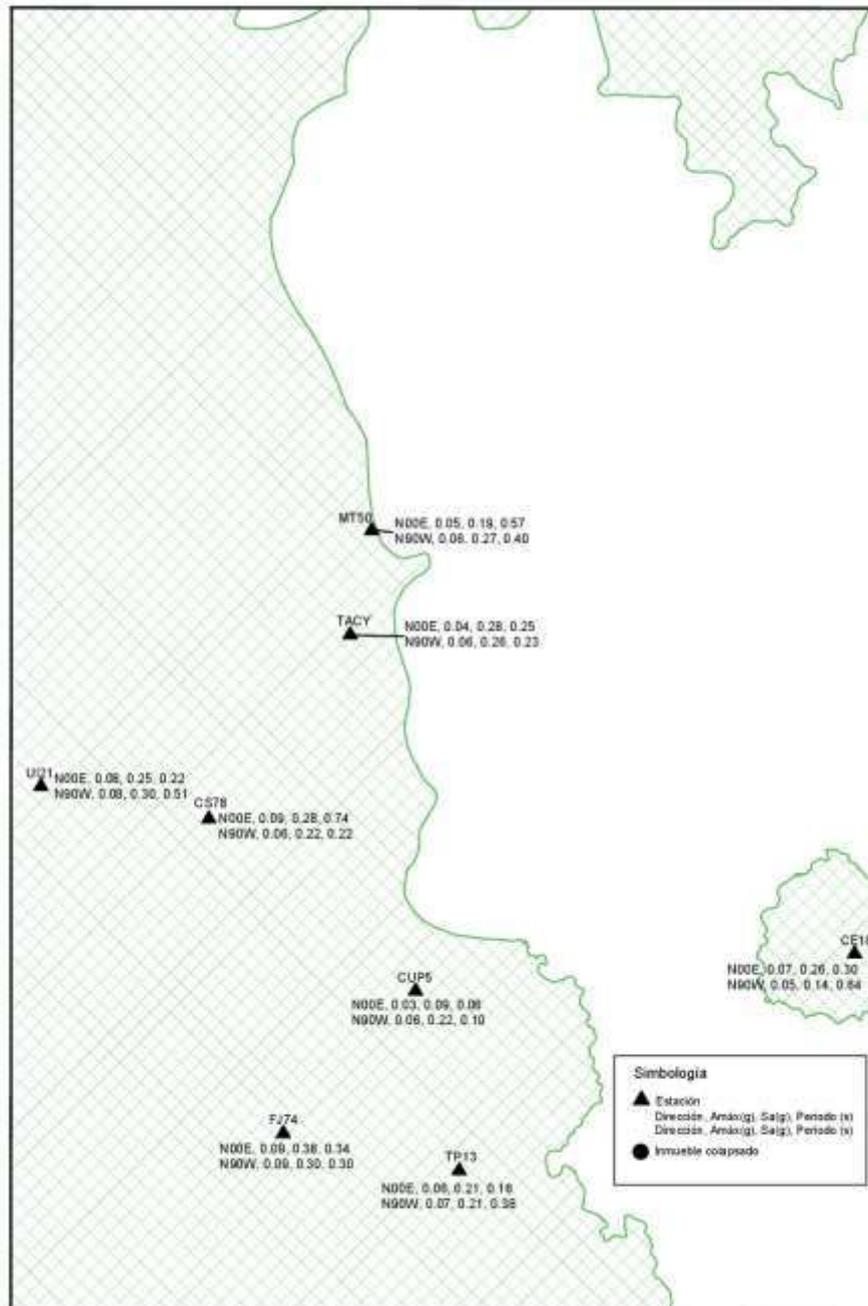


Figura 2.33. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica I.

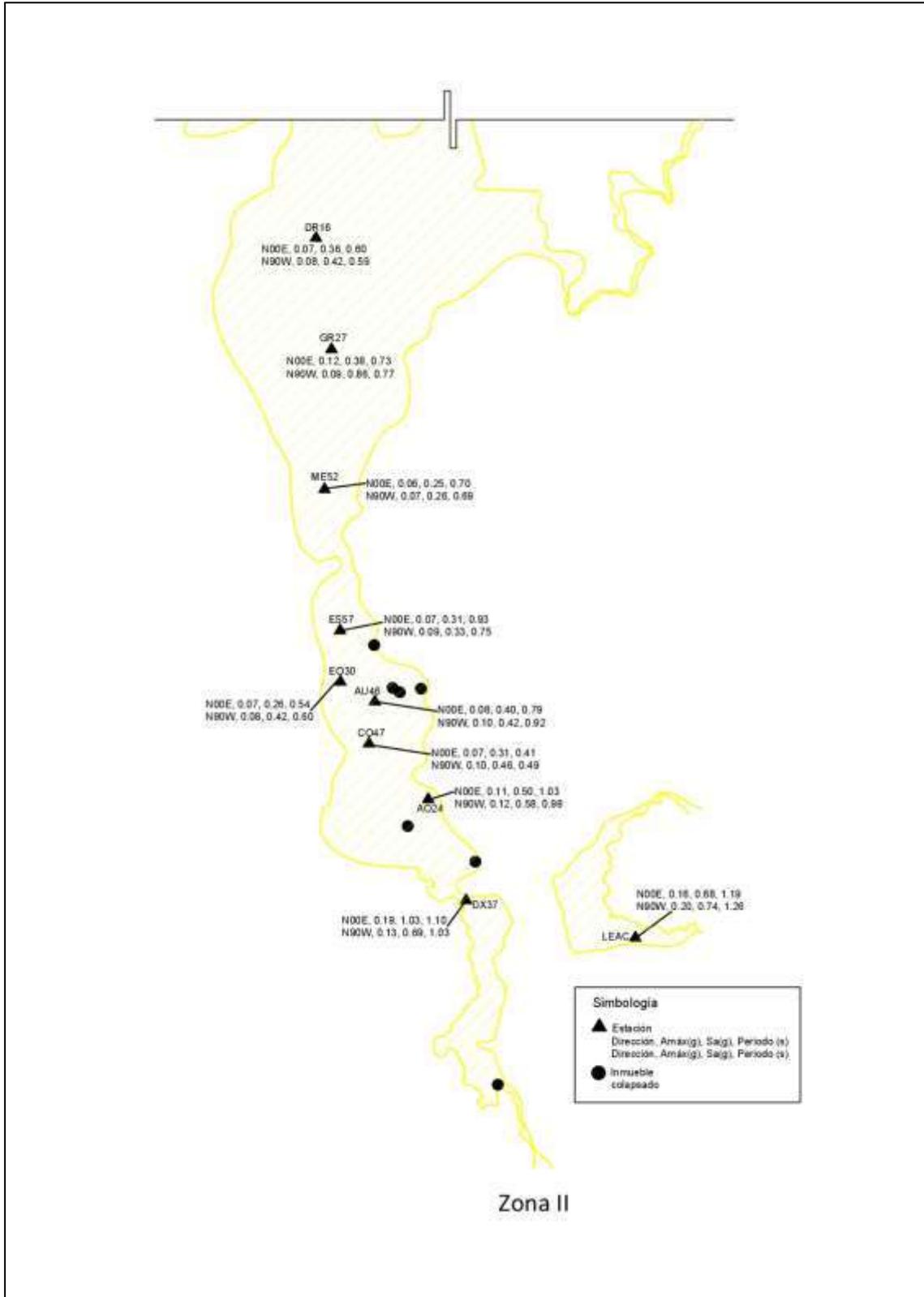


Figura 2.34. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica II.

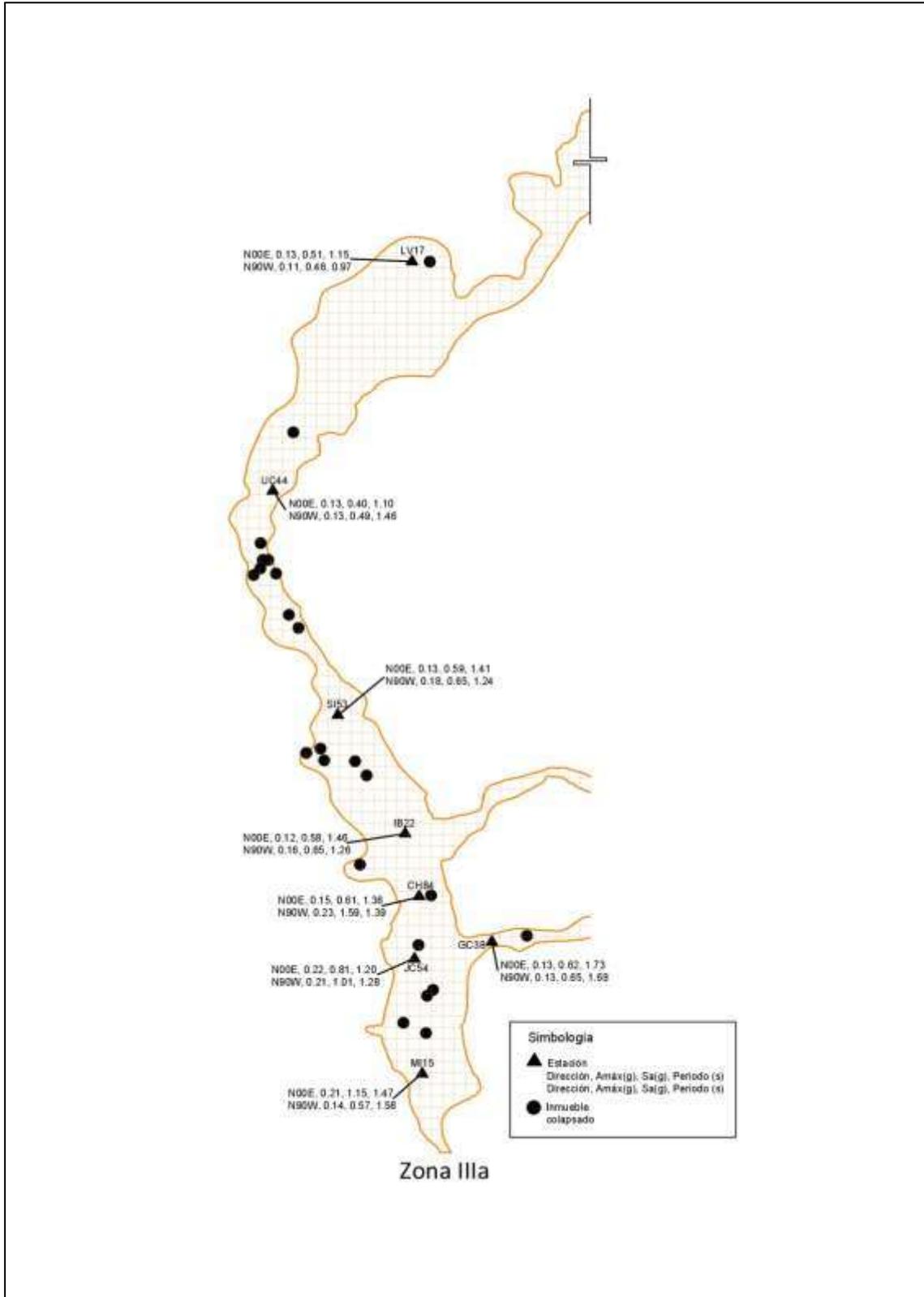


Figura 2.35. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIIa.

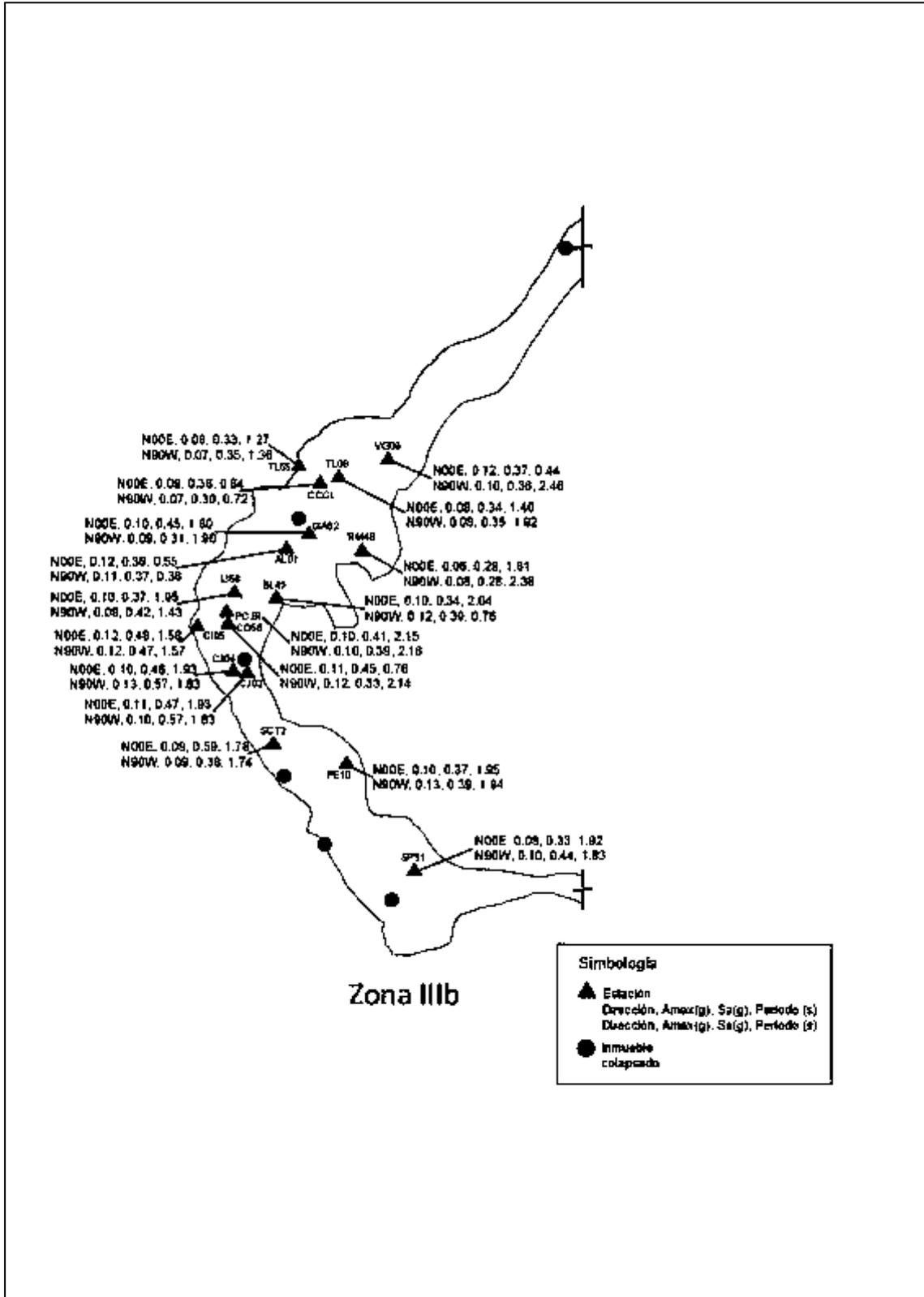


Figura 2.36. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIIb.

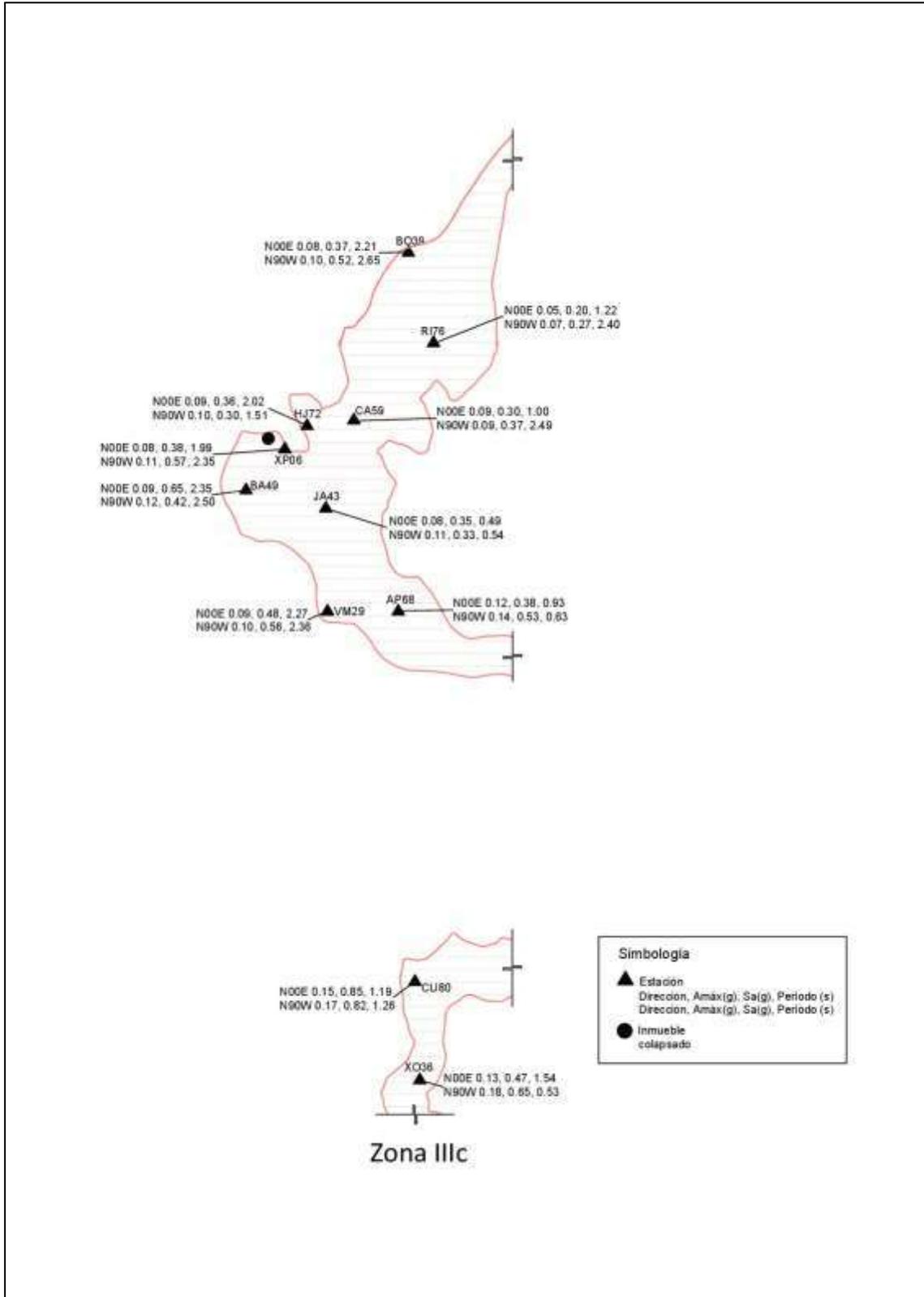


Figura 2.37. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIIc.

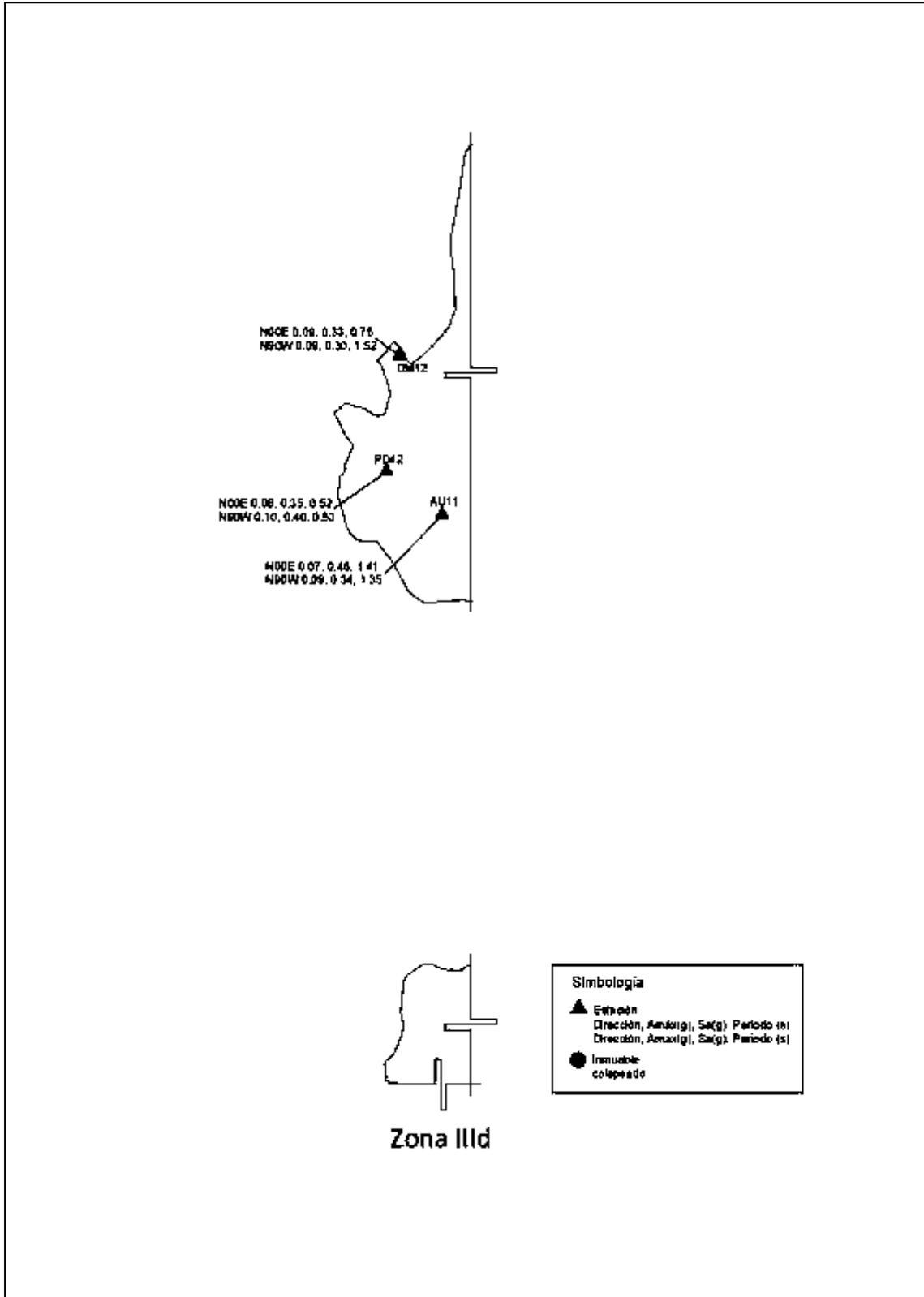


Figura 2.38. Mapa de inmuebles colapsados, estaciones sísmicas, y zonificación sísmica de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), para la zona sísmica IIIId.

Capítulo 3

3.1 Niveles de los inmuebles analizados

A partir de los 287 dictámenes estructurales analizados se determinó el número de niveles correspondientes a cada inmueble. En la figura 3.1 se muestra los resultados del número de niveles de los 287 inmuebles analizados.

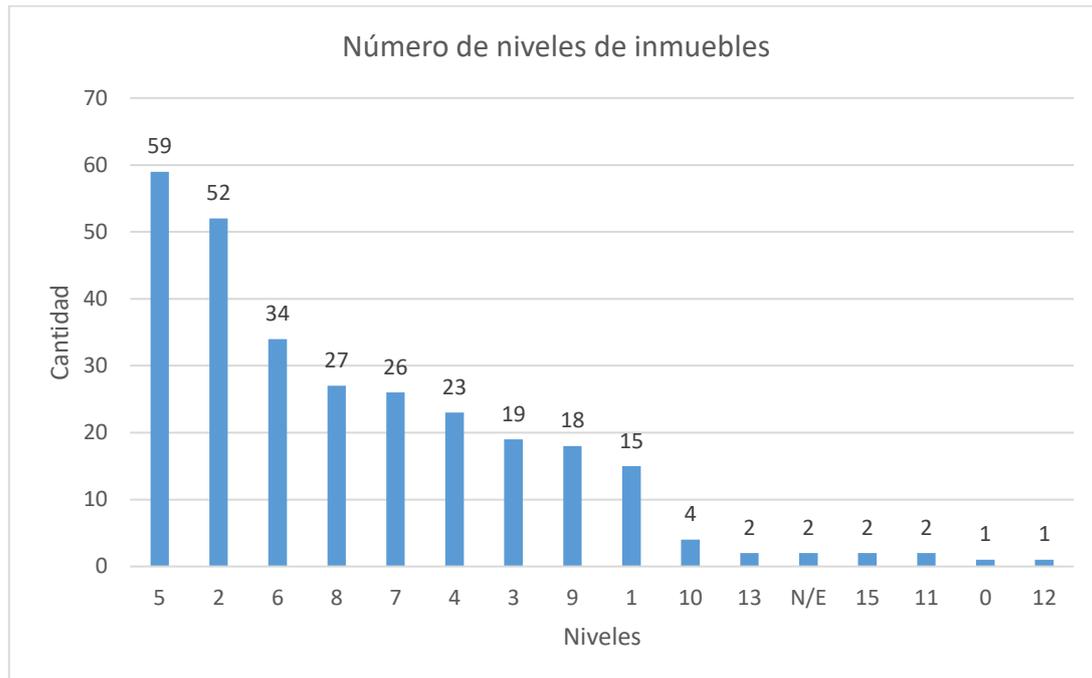


Figura 3.39. Número de niveles de los inmuebles analizados.

De la figura 3.1 se tienen dos inmuebles en los que el número de niveles no está especificado “N/E”, los cuales son. Número de niveles de los inmuebles analizados. un templo donde su dictamen estructural no se especifica el número de niveles, y el otro a un puente colapsado durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 en un centro educativo.

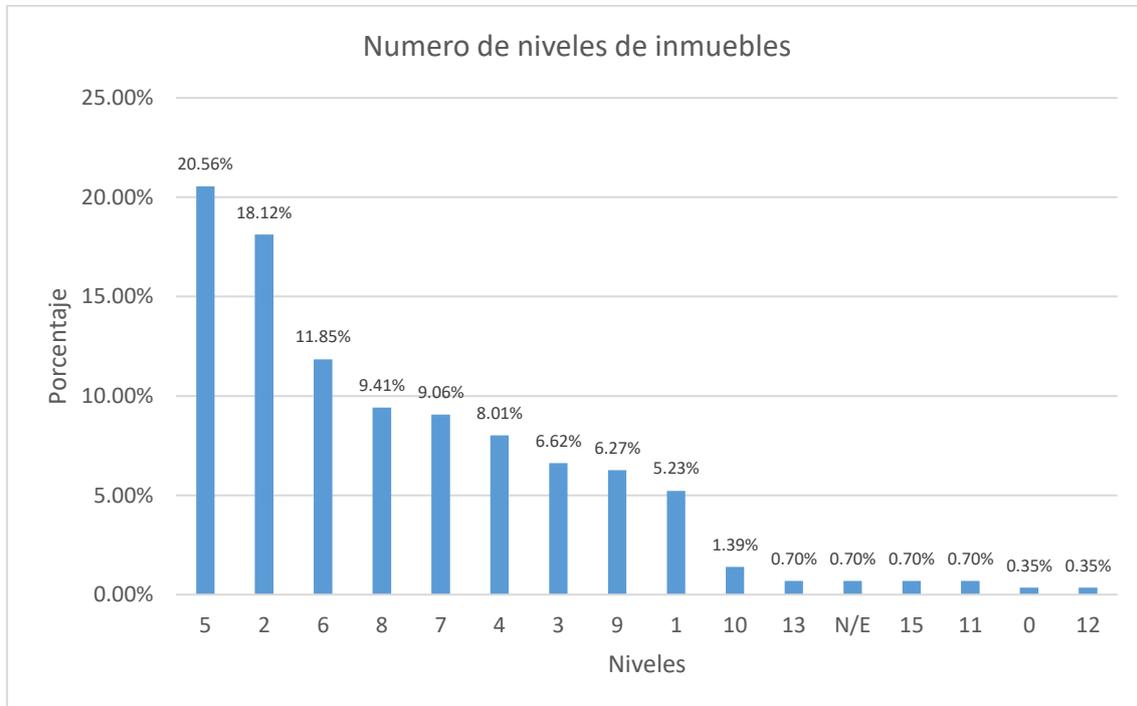


Figura 3.40. Porcentajes del número de niveles de los inmuebles analizados.

La gráfica correspondiente a la clasificación de derrumbes se muestra en la figura 3.3.

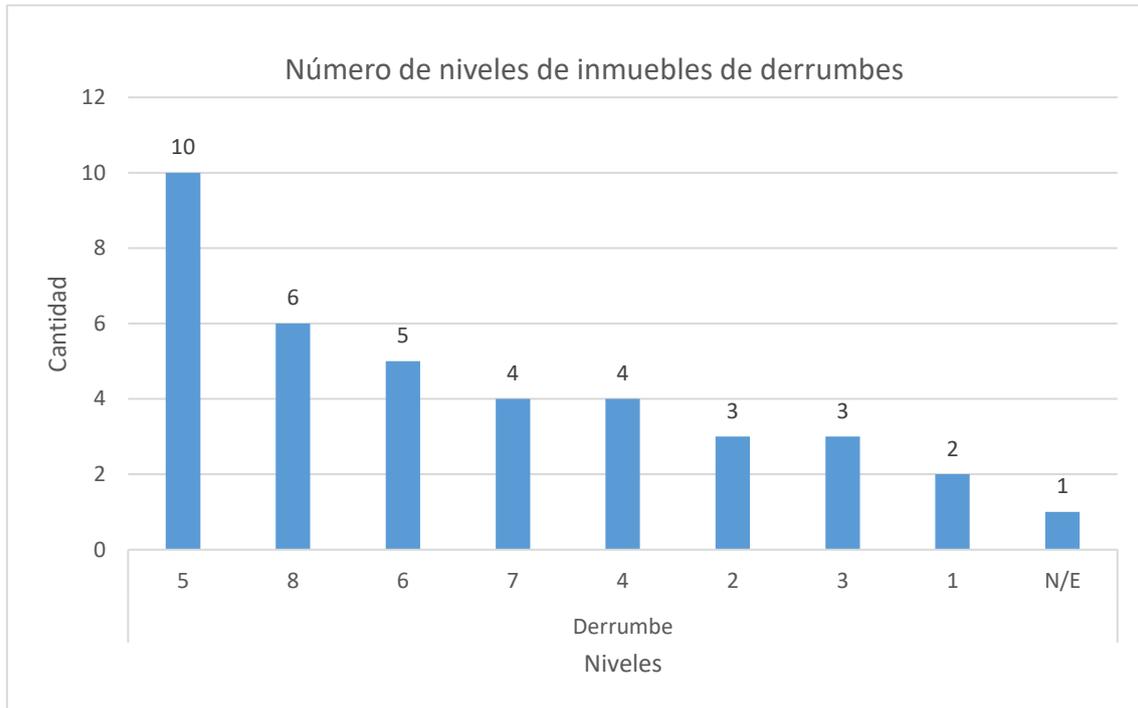


Figura 3.41. Número de niveles para la clasificación derrumbe.

La gráfica correspondiente a la clasificación de demoliciones se muestra en la figura 3.4.

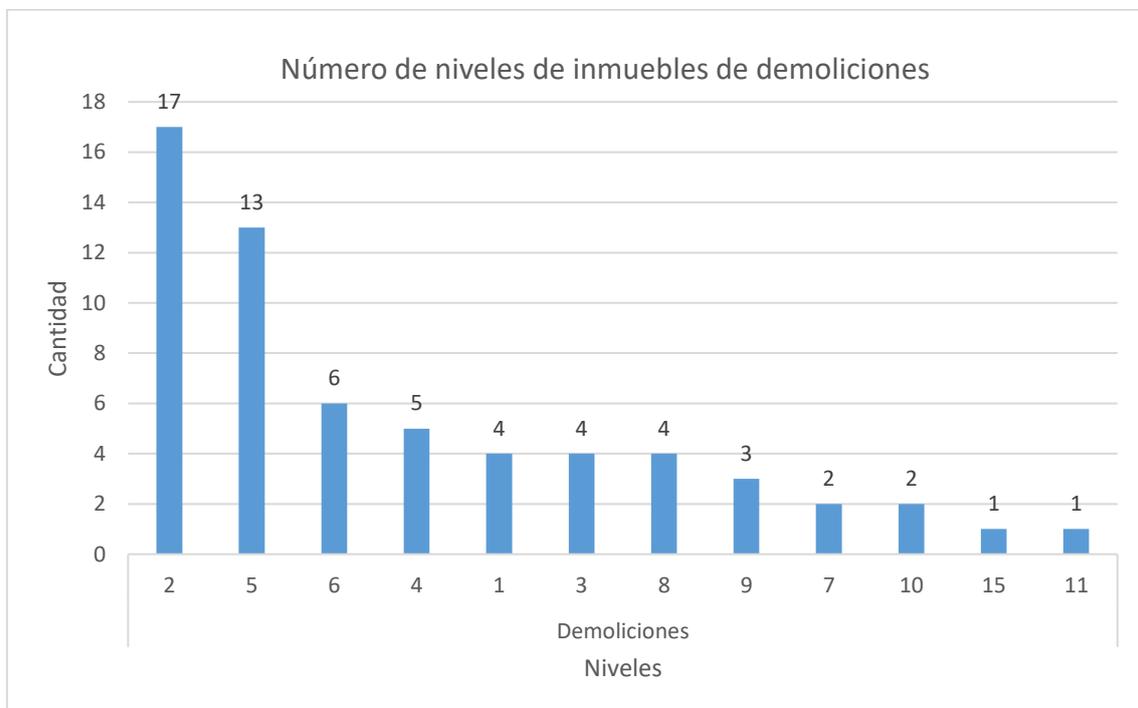


Figura 3.42. Número de niveles para la clasificación demoliciones.

La gráfica correspondiente a la clasificación de riesgo alto se muestra en la figura 3.5.

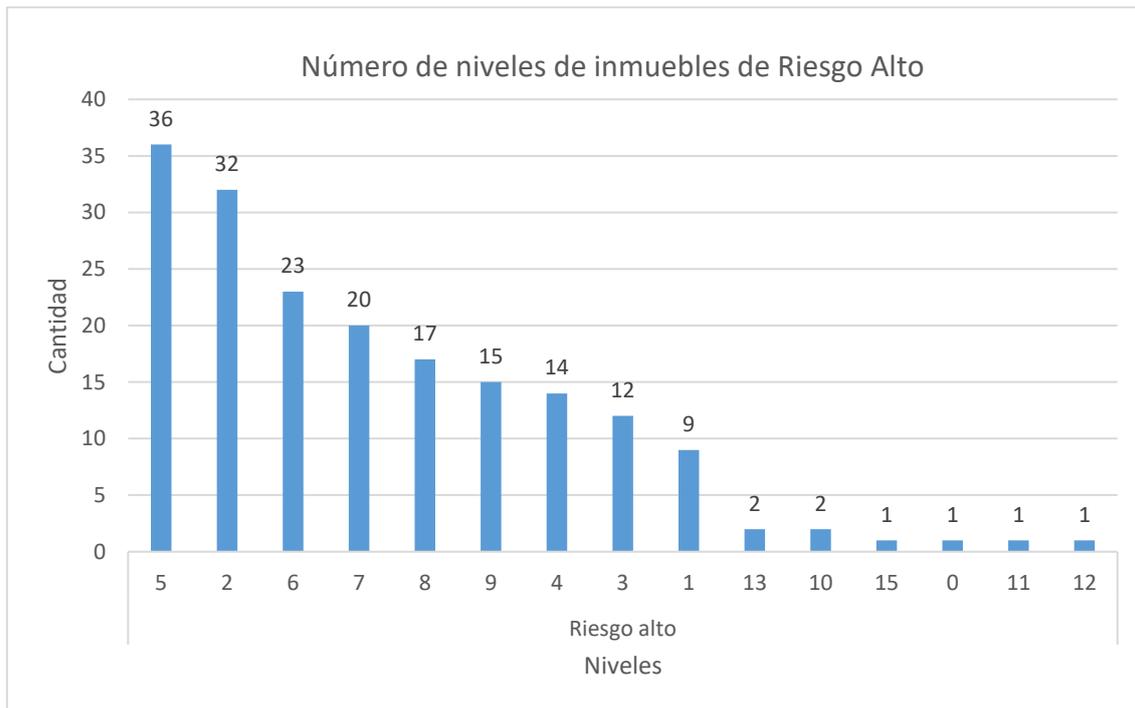


Figura 3.43. Número de niveles para la clasificación Riesgo Alto.

De los 287 inmuebles analizados, con base en los dictámenes estructurales, los porcentajes más significativos del número de niveles de los inmuebles son los comprendidos entre 1 y 9 niveles, que alcanza un porcentaje del 95.1%. El inmueble con nivel cero es el correspondiente a un terreno baldío donde presenta riesgo la barda y el portón existente en la fachada y acceso al mismo.

De los 38 inmuebles correspondientes a la clasificación de derrumbes, 92.1% corresponden a inmuebles entre 2 y 8 niveles.

De los 62 inmuebles correspondientes a la clasificación de demoliciones, 93.6% corresponde a inmuebles de entre 1 y 9 niveles.

De los 187 inmuebles correspondientes a la clasificación de riesgo alto, 95.7% de ellos corresponde a inmuebles con 1 a 9 niveles.

3.2 Uso de los inmuebles

En base a los 287 dictámenes estructurales se determinó el uso de los inmuebles estudiados en las tres categorías anteriormente descritas en el capítulo 2. La figura 3.6 corresponde para la clasificación de derrumbes y se muestran a continuación.

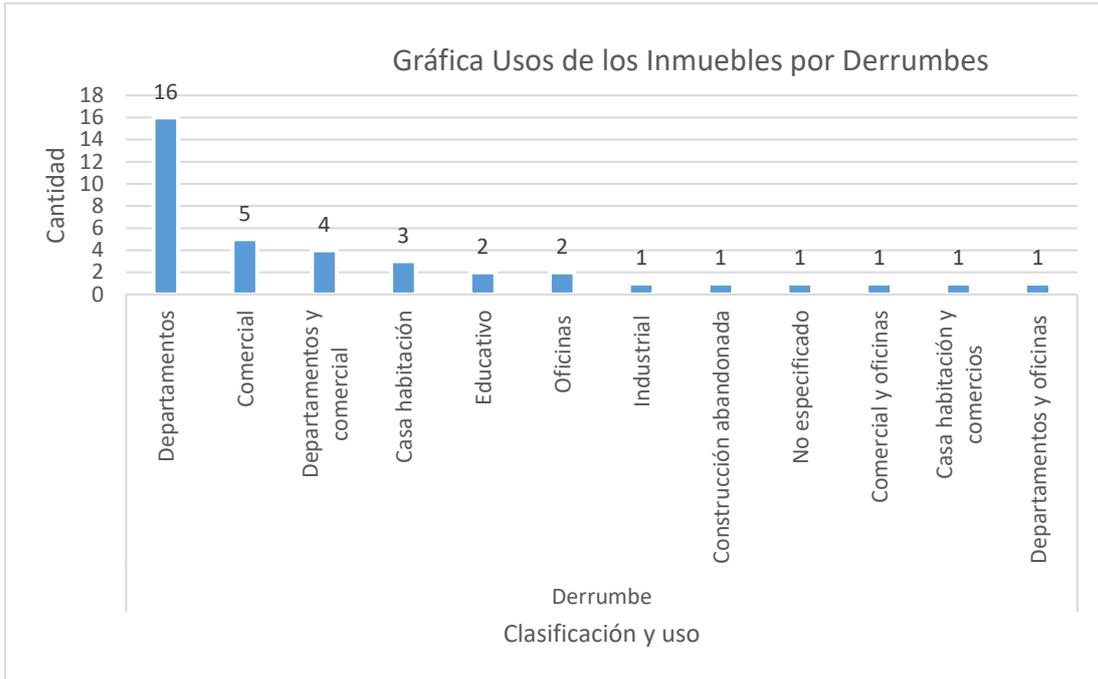


Figura 3.44. Gráfica de uso de inmuebles por derrumbes.

En la figura 3.7 se muestra la gráfica correspondiente para la clasificación de demoliciones.

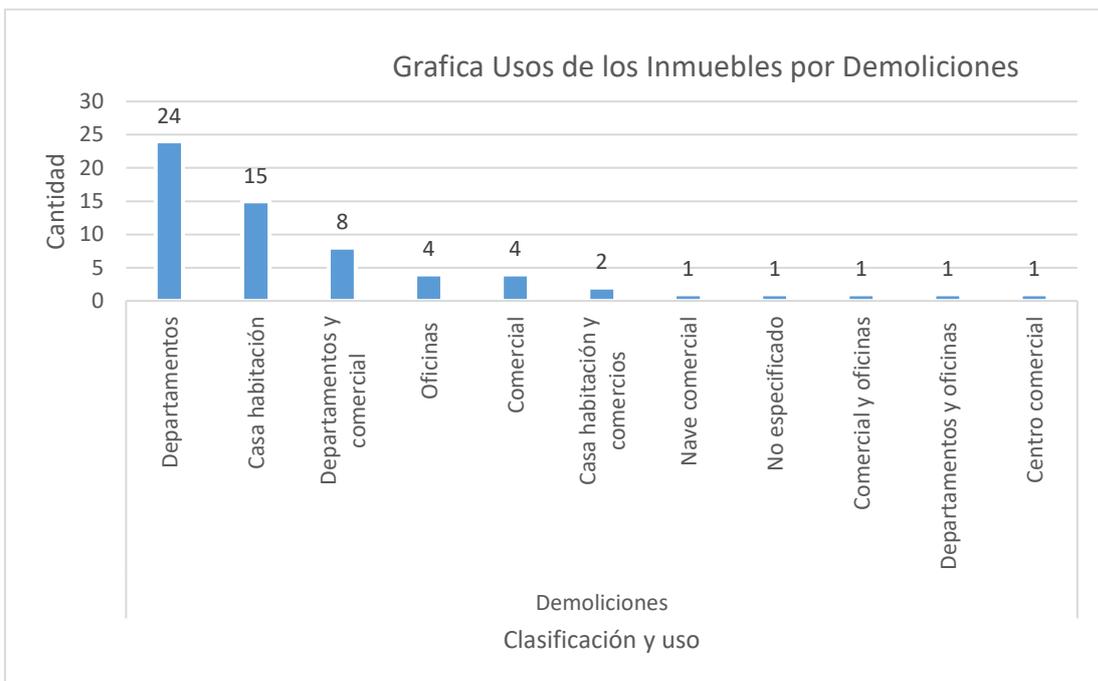


Figura 3.45. Gráfica de uso de inmuebles por demoliciones.

La figura 3.8 se muestra la gráfica correspondiente a la clasificación de riesgo alto.

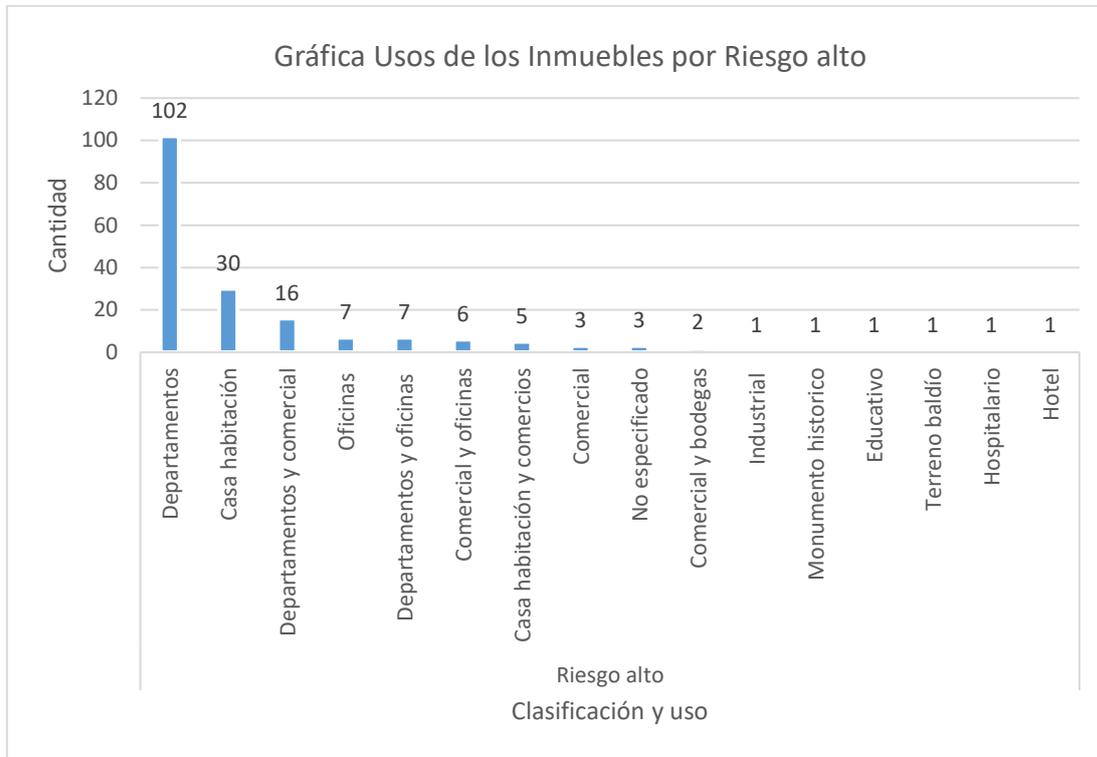


Figura 3.46. Gráfica de uso de inmuebles por riesgo alto.

De los datos anteriores se determinó el uso correspondiente para las tres clasificaciones de inmuebles, donde se muestran a continuación la tabla 3.1.

Tabla 3.6. Porcentajes para las tres clasificaciones de acuerdo a su uso.

Uso	Porcentaje
Departamentos	49.48%
Casa habitación	16.72%
Departamentos y comercial	9.76%
Oficinas	4.53%
Comercial	4.18%
Departamentos y oficinas	3.14%
Comercial y oficinas	2.79%
Casa habitación y comercios	2.79%
No especificado	1.74%
Educativo	1.05%
Industrial	0.70%
Comercial y bodegas	0.70%
Monumento histórico	0.35%
Nave comercial	0.35%



Centro comercial	0.35%
Construcción abandonada	0.35%
Terreno baldío	0.35%
Hospitalario	0.35%
Hotel	0.35%

De la tabla anteriormente mostrada para las tres clasificaciones se tiene que, al sumar los porcentajes de departamentos, casa habitación, departamentos y comercial, departamentos y oficinas, y por último casa habitación y comercios, da como resultado el 81.88% que sería este porcentaje correspondiente a un uso habitacional.

3.3 Uso de los inmuebles y el número de niveles correspondientes

Con base en la información proporcionada a en los 287 dictámenes estructurales se obtuvo las gráficas correspondientes a las figuras 3.9 a 3.12 donde se muestra el uso de los inmuebles y el número de niveles correspondiente a los inmuebles analizados para las clasificaciones de derrumbes, demoliciones, y riesgo alto.

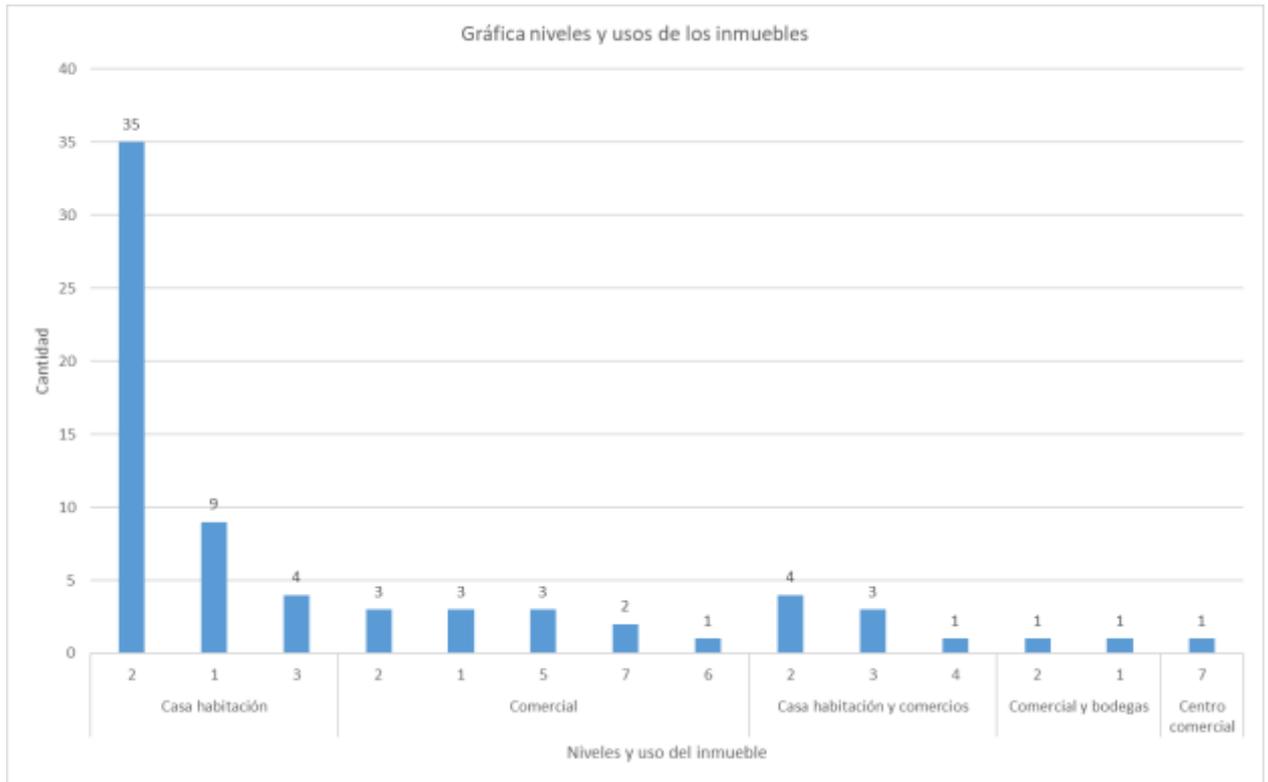


Figura 3.47. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.

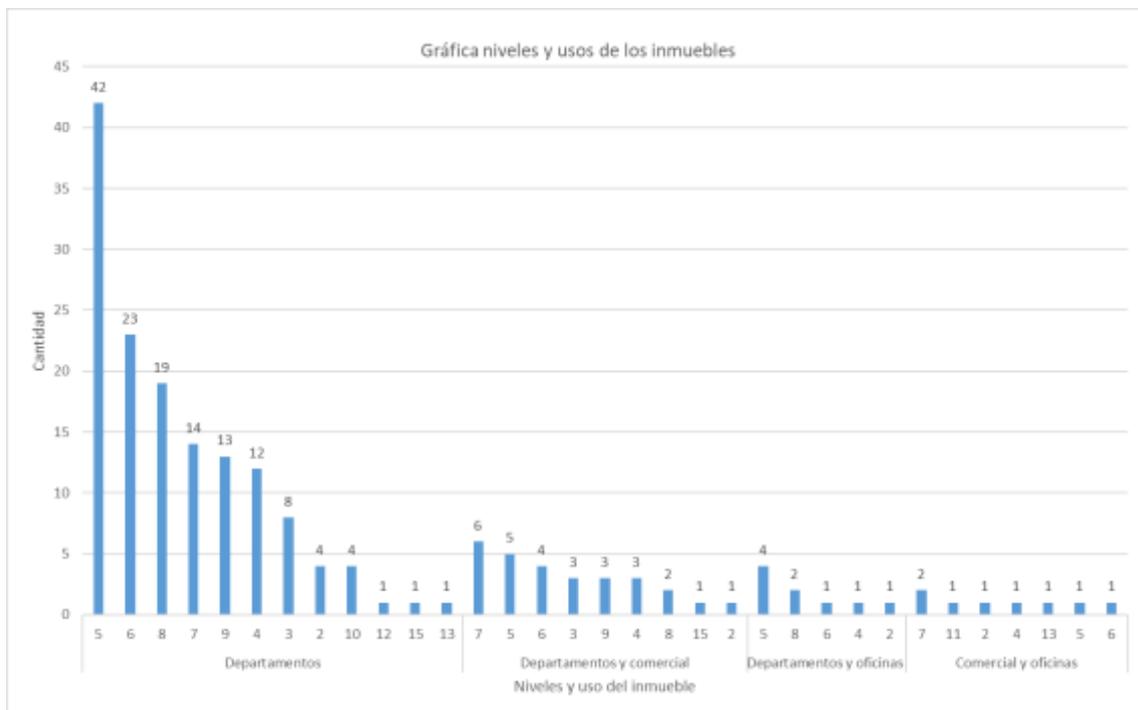


Figura 3.48. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.

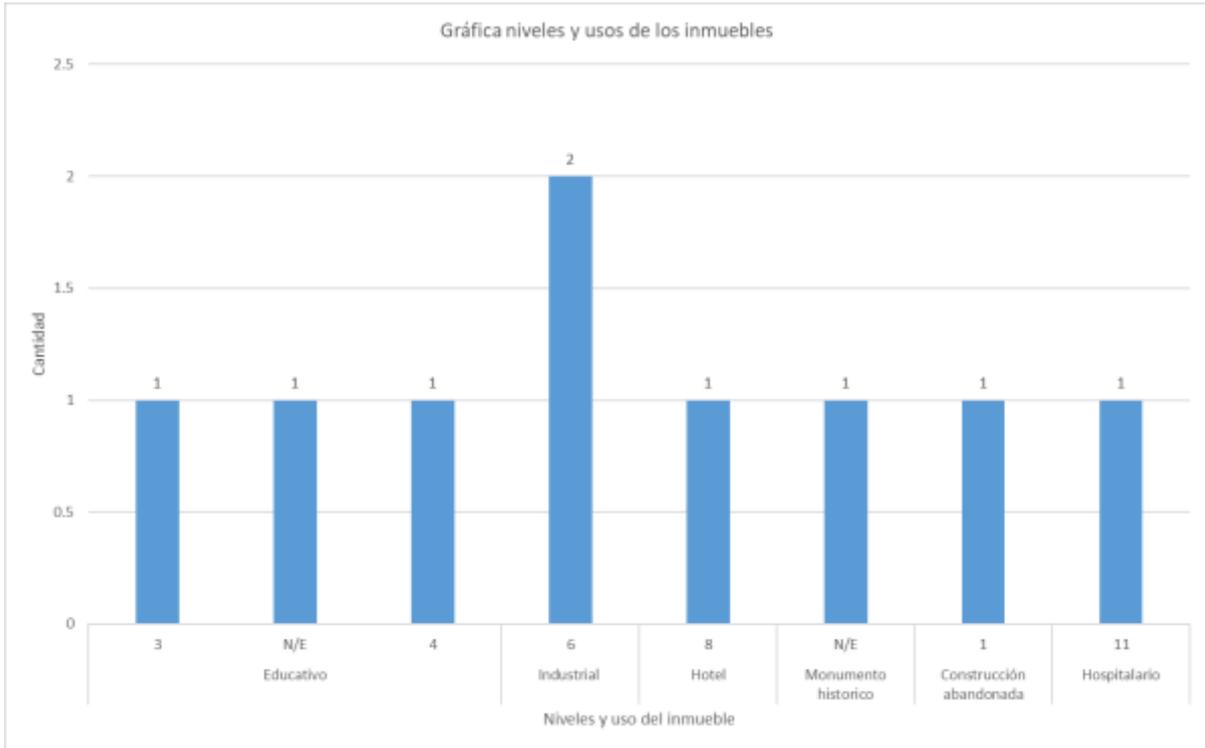


Figura 3.49. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.

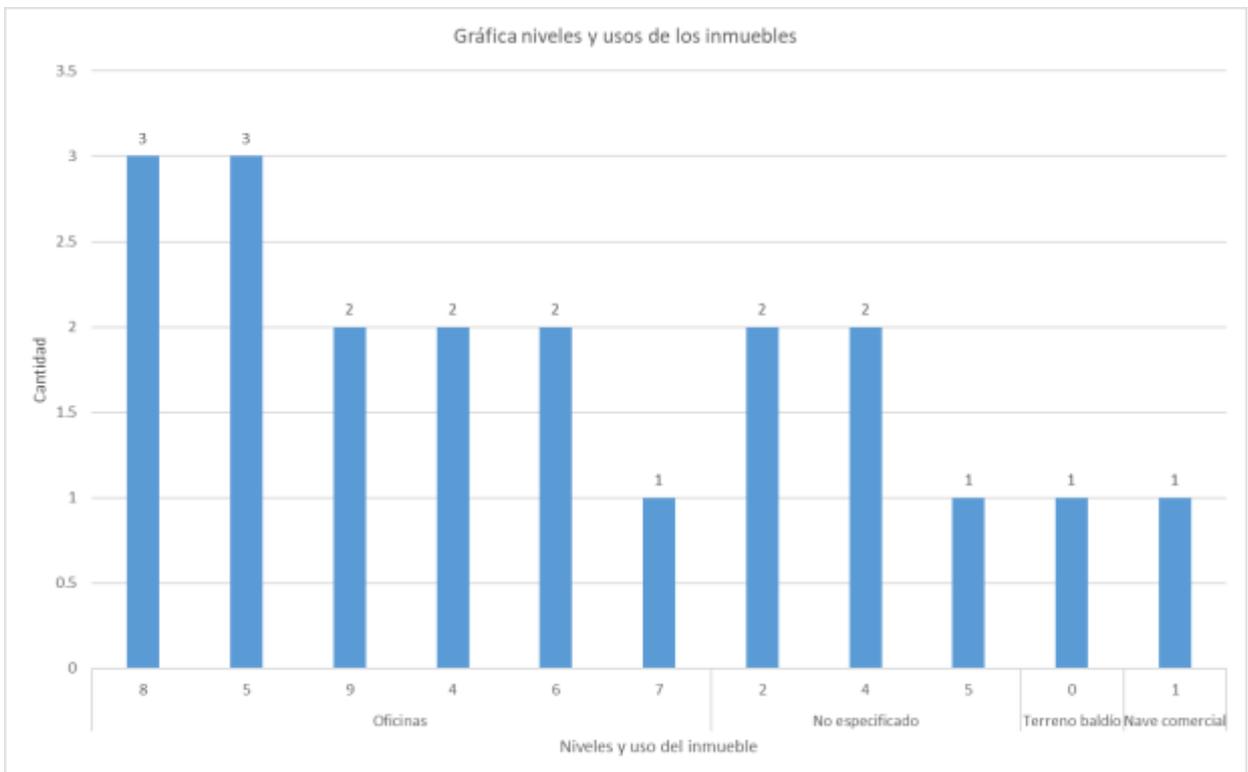


Figura 3.50. Gráfica número de niveles y uso del inmueble.



La figura 3.9 muestra que para el caso de casa habitación, el 16.7% corresponde a edificaciones de entre uno y tres niveles. En la figura 3.10 se tiene un mayor porcentaje con un 45.65% para el uso de departamentos comprendidos tres y nueve niveles.

3.4 Uso de los inmuebles, zonificación sísmica y número de niveles correspondientes

Con base en los 287 dictámenes estructurales de acuerdo a su ubicación geográfica, niveles, y uso de los inmuebles, se obtuvieron las siguientes graficas representadas de las figuras 3.13 a 3.24 que se muestran a continuación. Para la zona sísmica II se muestran en las figuras 3.14 y 3.15, para la zona sísmica IIIa se muestran en las figuras 3.16 a 3.18, para la zona sísmica IIIb se muestran en las figuras 3.19a 3.22.

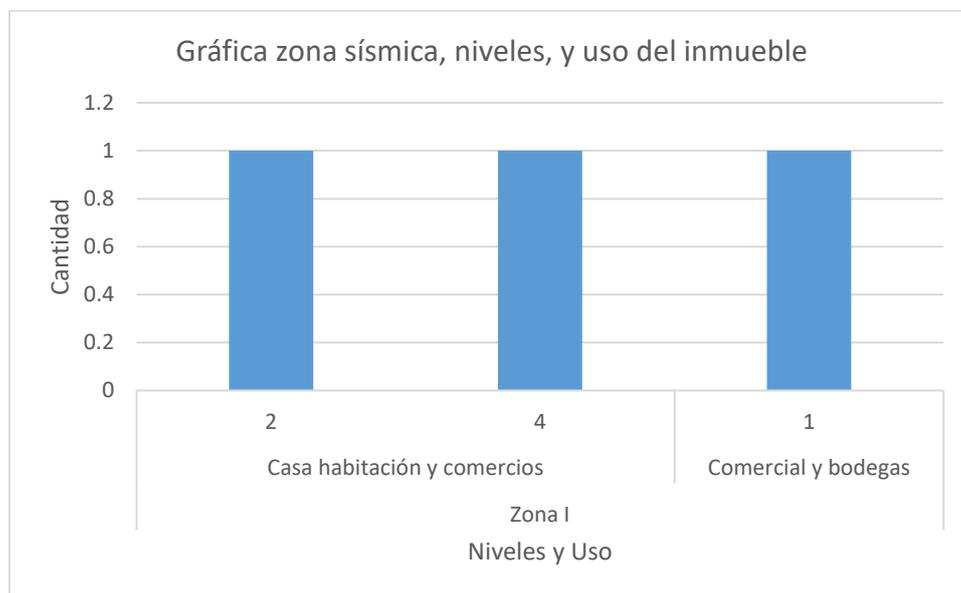


Figura 3.51. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

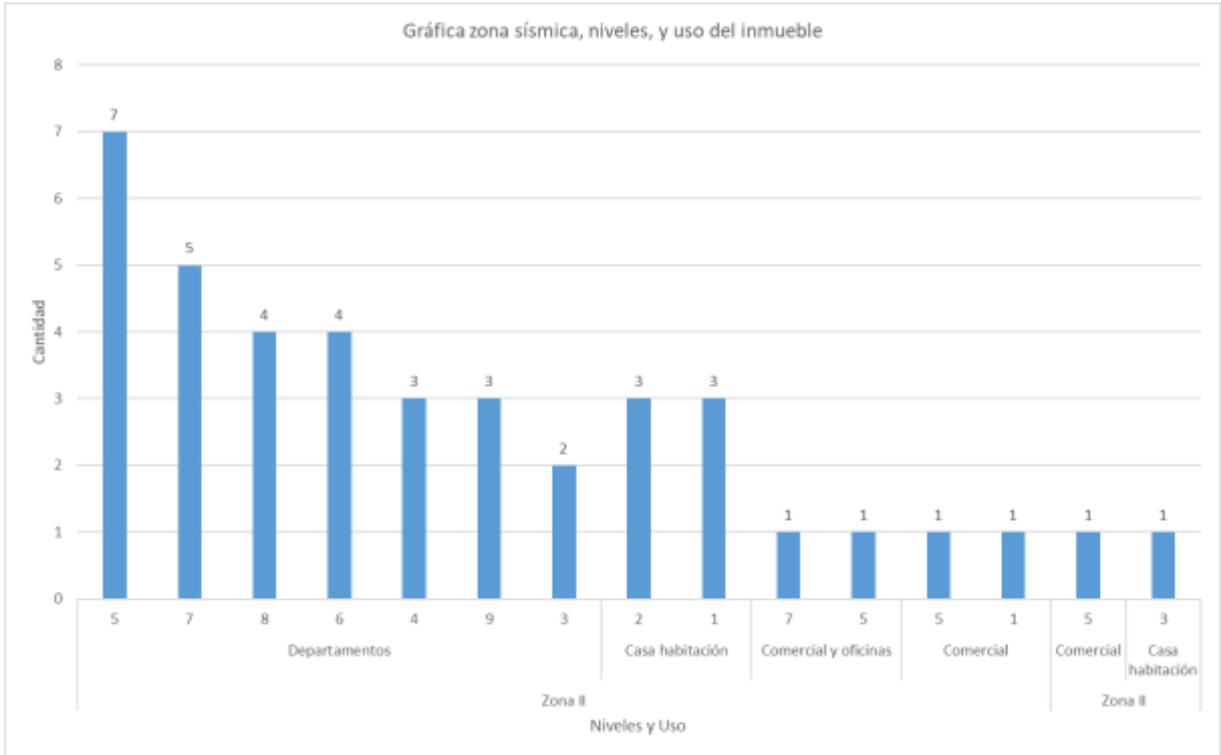


Figura 3.52. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

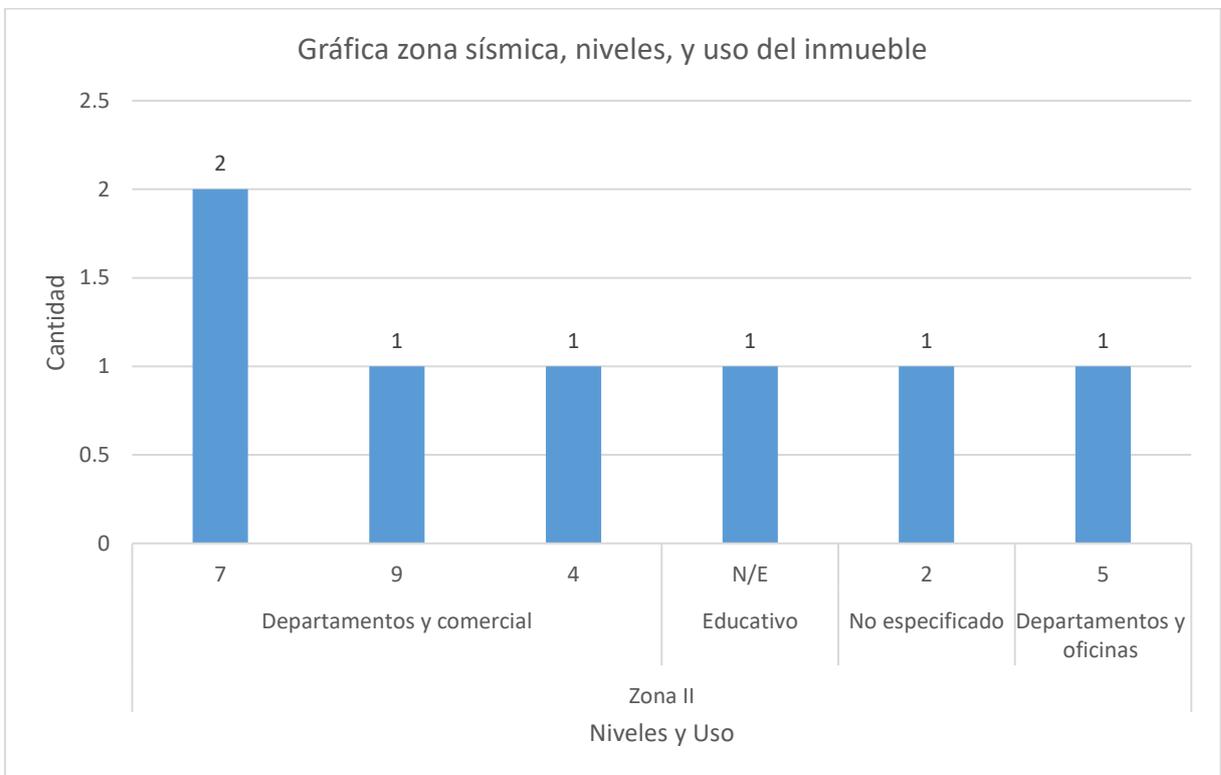


Figura 3.53. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

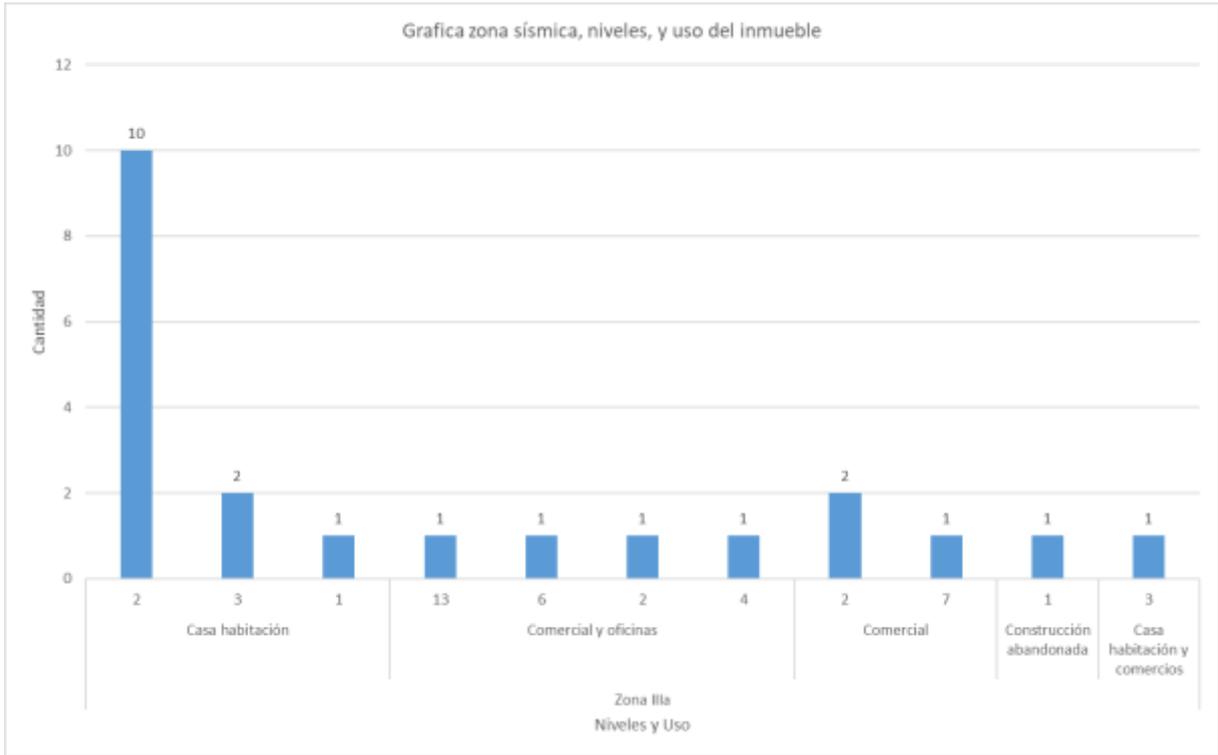


Figura 3.54. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

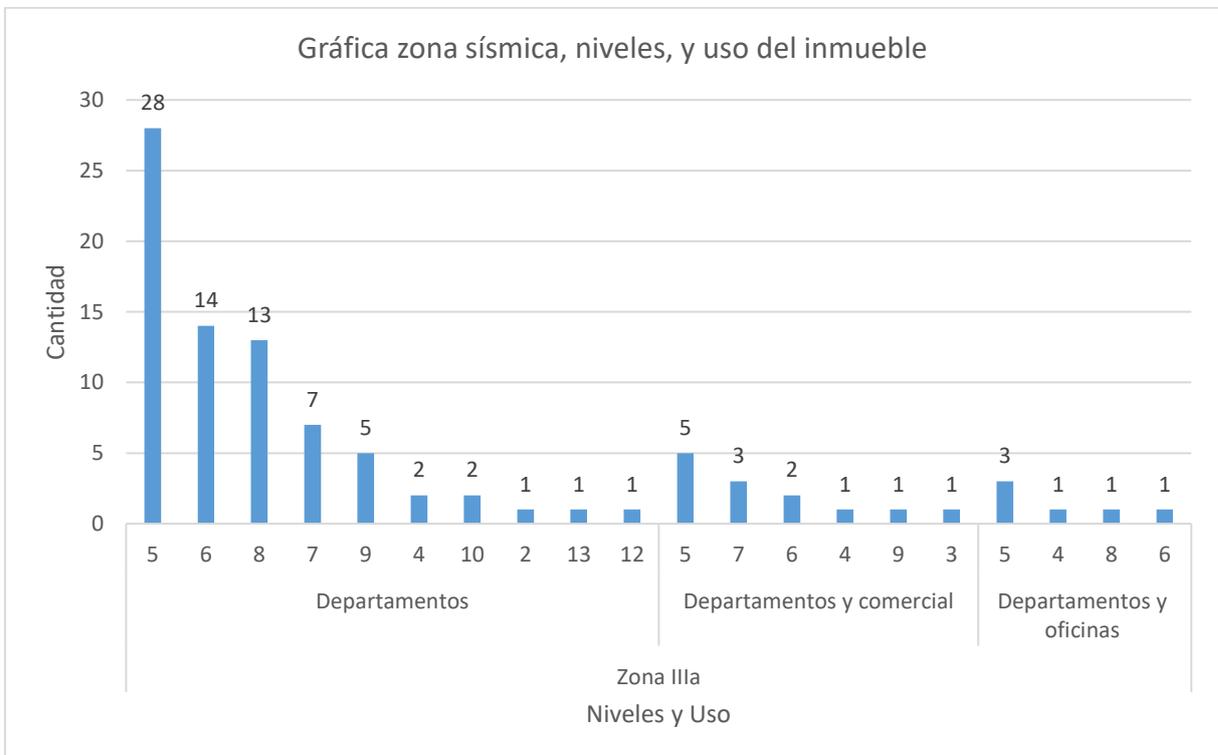


Figura 5.55. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

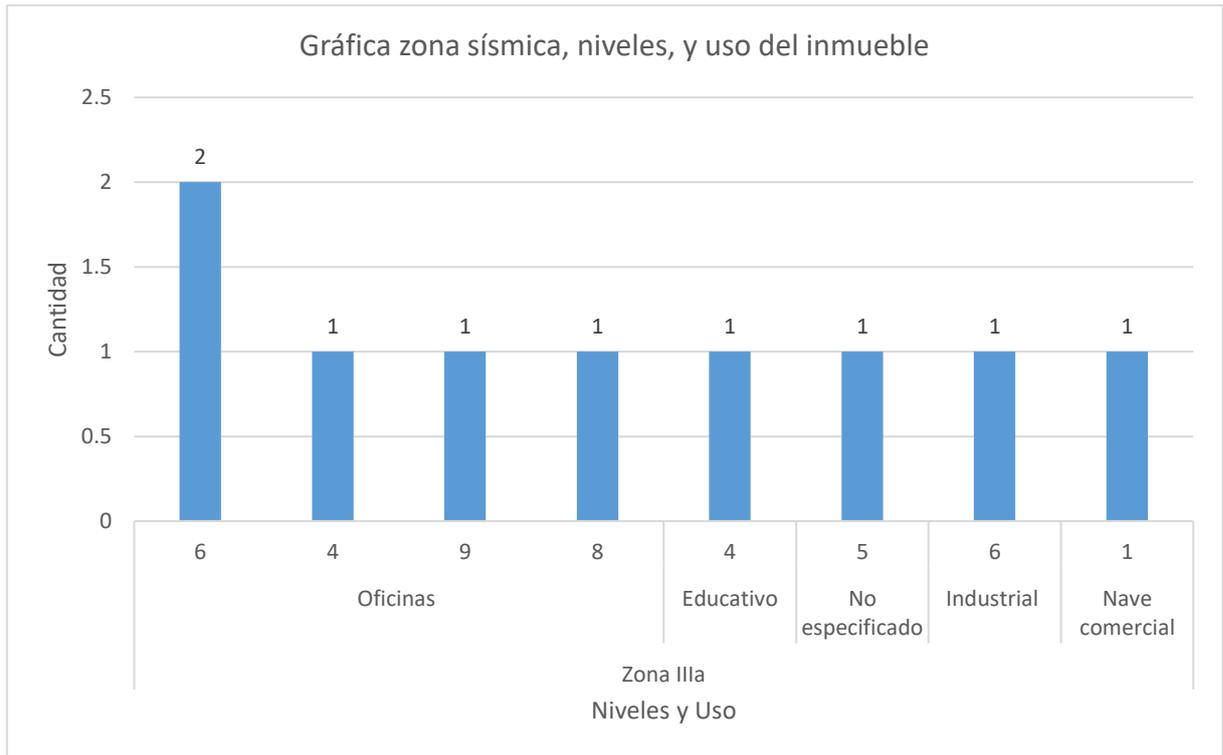


Figura 3.56. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

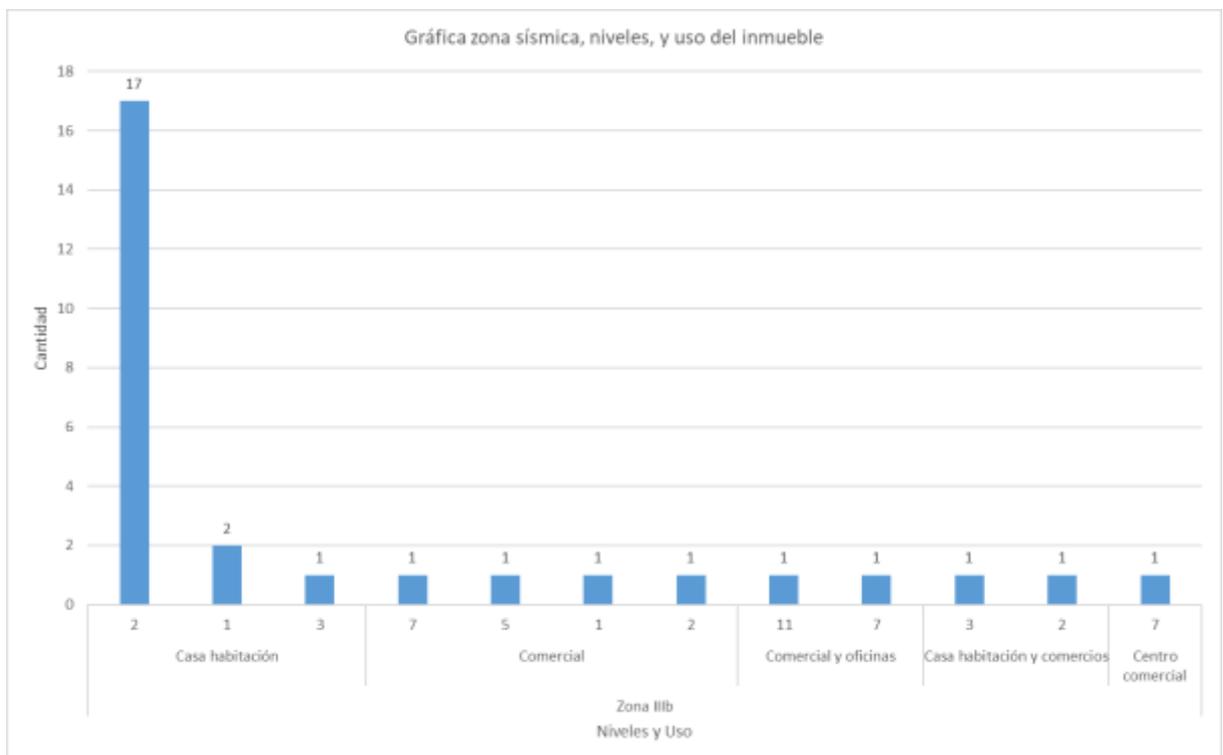


Figura 3.57. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

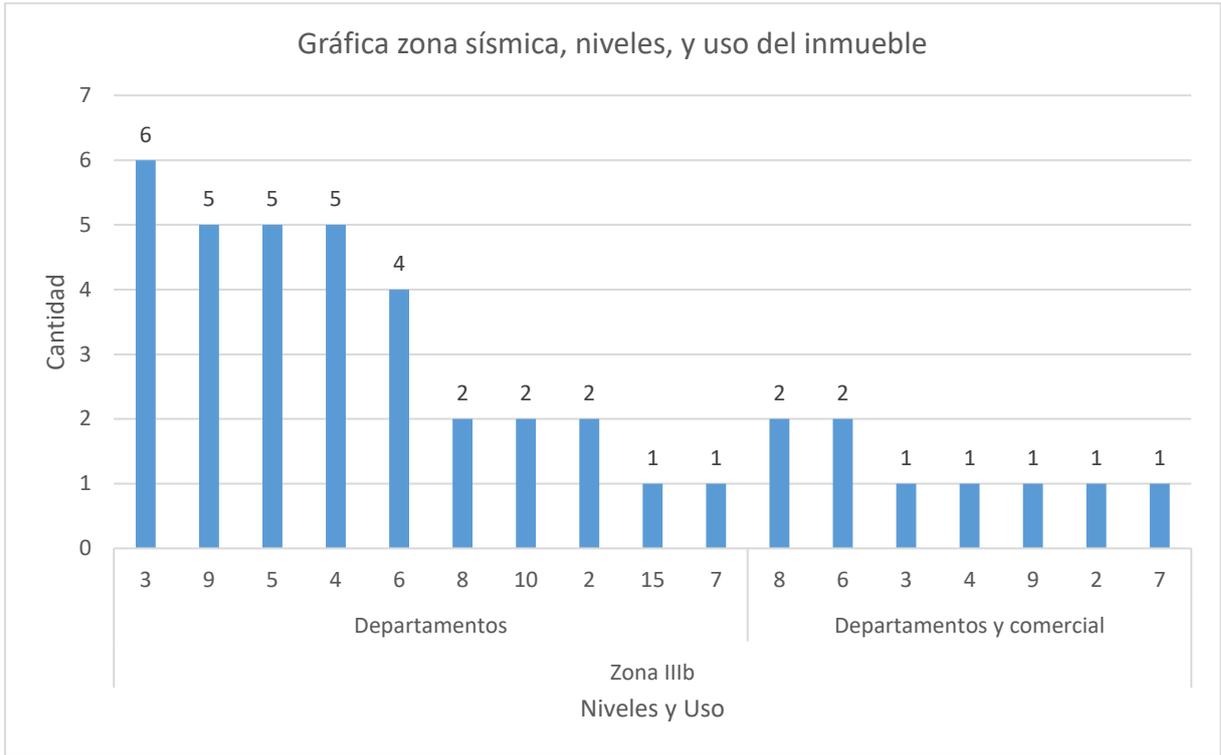


Figura 3.58. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

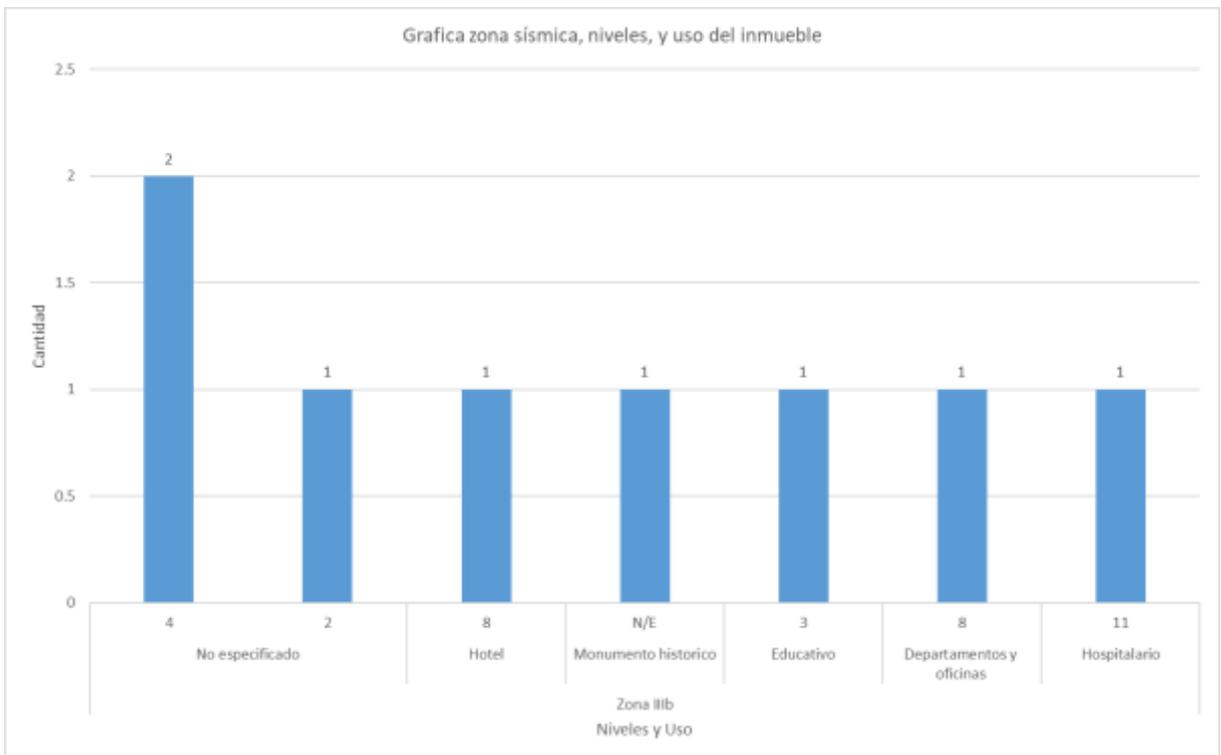


Figura 3.59. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

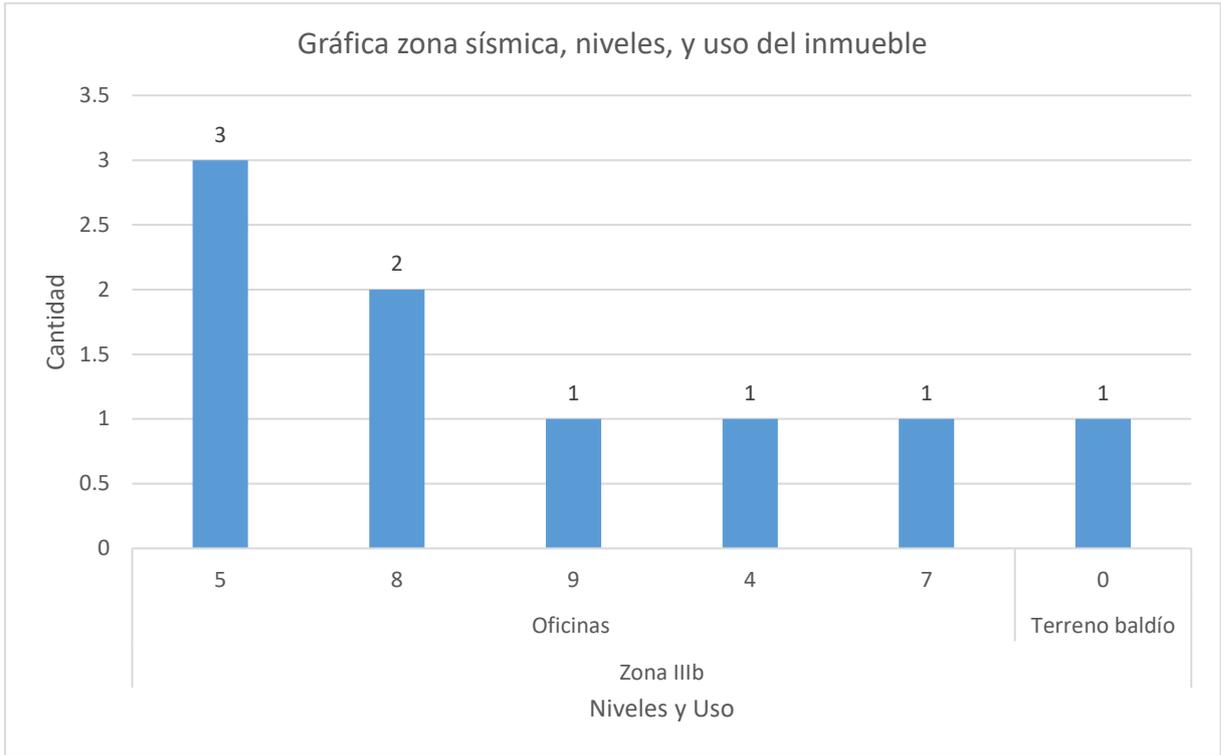


Figura 3.60. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

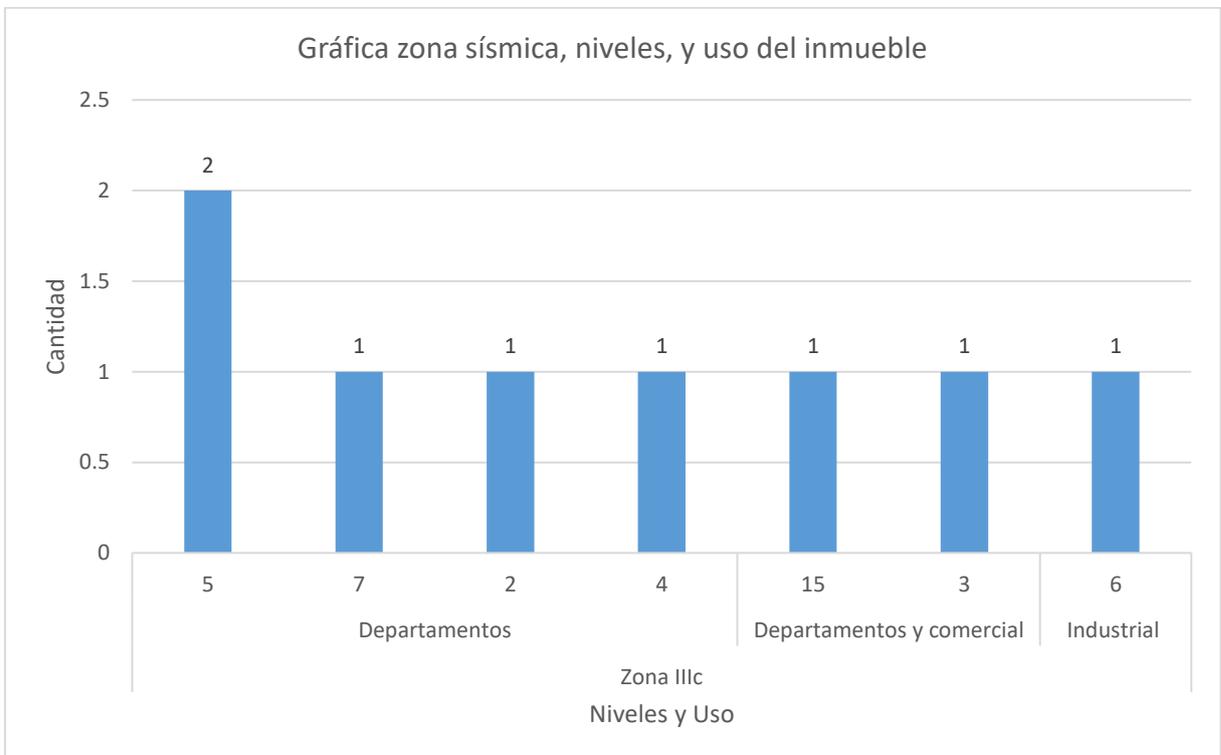


Figura 3.61. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

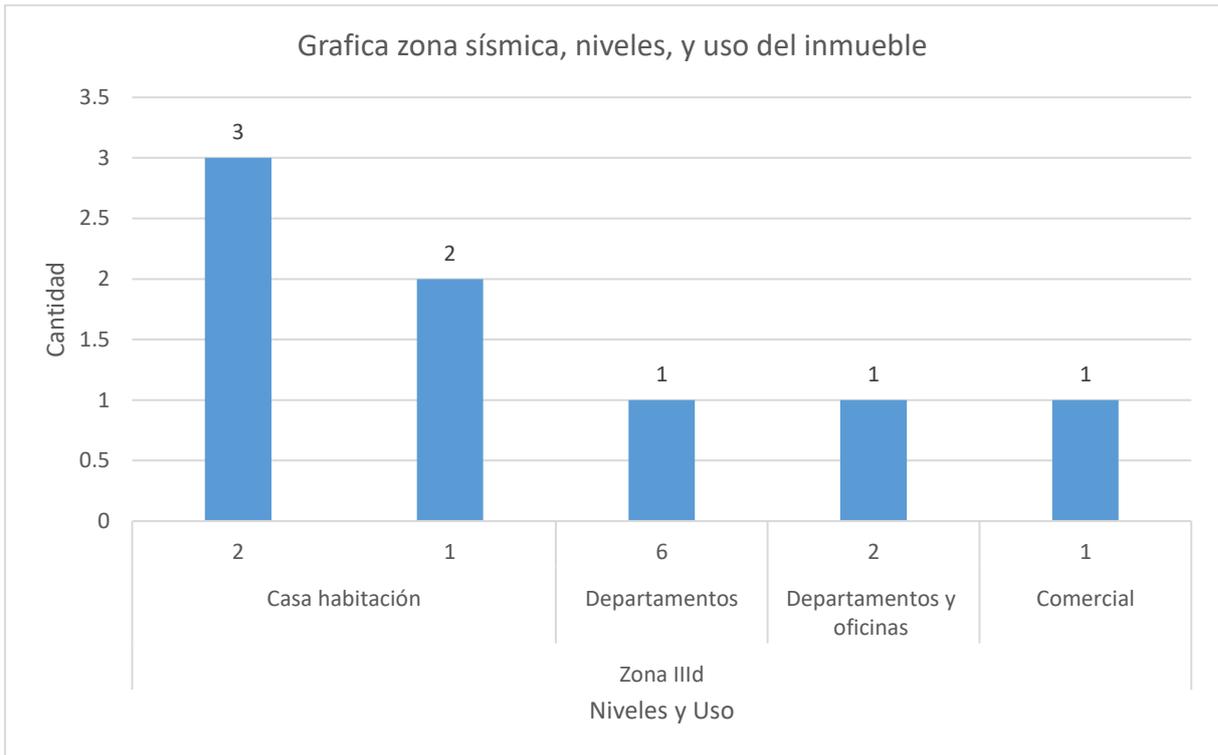


Figura 3.62. Gráfica zona sísmica, niveles y uso del inmueble.

En la zona sísmica II, el mayor porcentaje es el correspondiente al uso de departamentos con un 59.57% comprendidos entre tres y nueve niveles. De cuatro a ocho niveles se tiene un porcentaje de 48.94%. El segundo mayor porcentaje corresponde a casa habitación con uno o dos niveles (12.77%). El menor porcentaje es el correspondiente al uso de departamentos y oficinas con cinco niveles con un 2.13% de un total de 47 inmuebles analizados para esta clasificación. Para la zona sísmica IIIa, el mayor porcentaje corresponde al uso de departamentos entre cuatro y nueve niveles (55.65%). El segundo mayor porcentaje corresponde a casa habitación comprendido entre uno a tres niveles con un 10.48% y el menor porcentaje es el correspondiente al uso educativo con cuatro niveles (0.81%), de un total de 124 inmuebles analizados para esta clasificación. La zona sísmica IIIb tiene 31.82% de departamentos entre tres y nueve niveles. El segundo mayor porcentaje corresponde a casa habitación comprendido entre uno a tres niveles con un 22.73% y el menor porcentaje es el correspondiente al uso de departamentos y oficinas de ocho niveles con un 1.14%, de un total de 88 inmuebles analizados para esta clasificación. La zona sísmica IIIc tiene 31.25% de edificios de departamentos con dos, cuatro, cinco, y siete niveles. El segundo mayor porcentaje corresponde a casa habitación de dos y tres niveles (18.75%), y el menor porcentaje es el correspondiente al uso de comercial de seis niveles con un 6.25%, de un total de 16 inmuebles analizados para esta clasificación. La zona sísmica IIId tiene el mayor porcentaje correspondiente al uso de casa habitación de dos y tres niveles, con un 62.50%. El segundo mayor porcentaje corresponde al uso de departamentos con un 12.50%, el menor porcentaje es el correspondiente al uso de comercial de seis niveles con un 12.50%, de un total de 8 inmuebles analizados para esta clasificación.



3.5 Estructuración general de los inmuebles

A partir de los 287 dictámenes estructurales y con ayuda de la herramienta de Google maps se determinó la estructuración de los inmuebles. La figura 3.25 muestra la estructuración de los 287 analizados para las clasificaciones de derrumbe, demoliciones, y riesgo alto juntas. En las figuras 3.26 a 3.32 se muestran la estructuración para cada clasificación correspondiente.

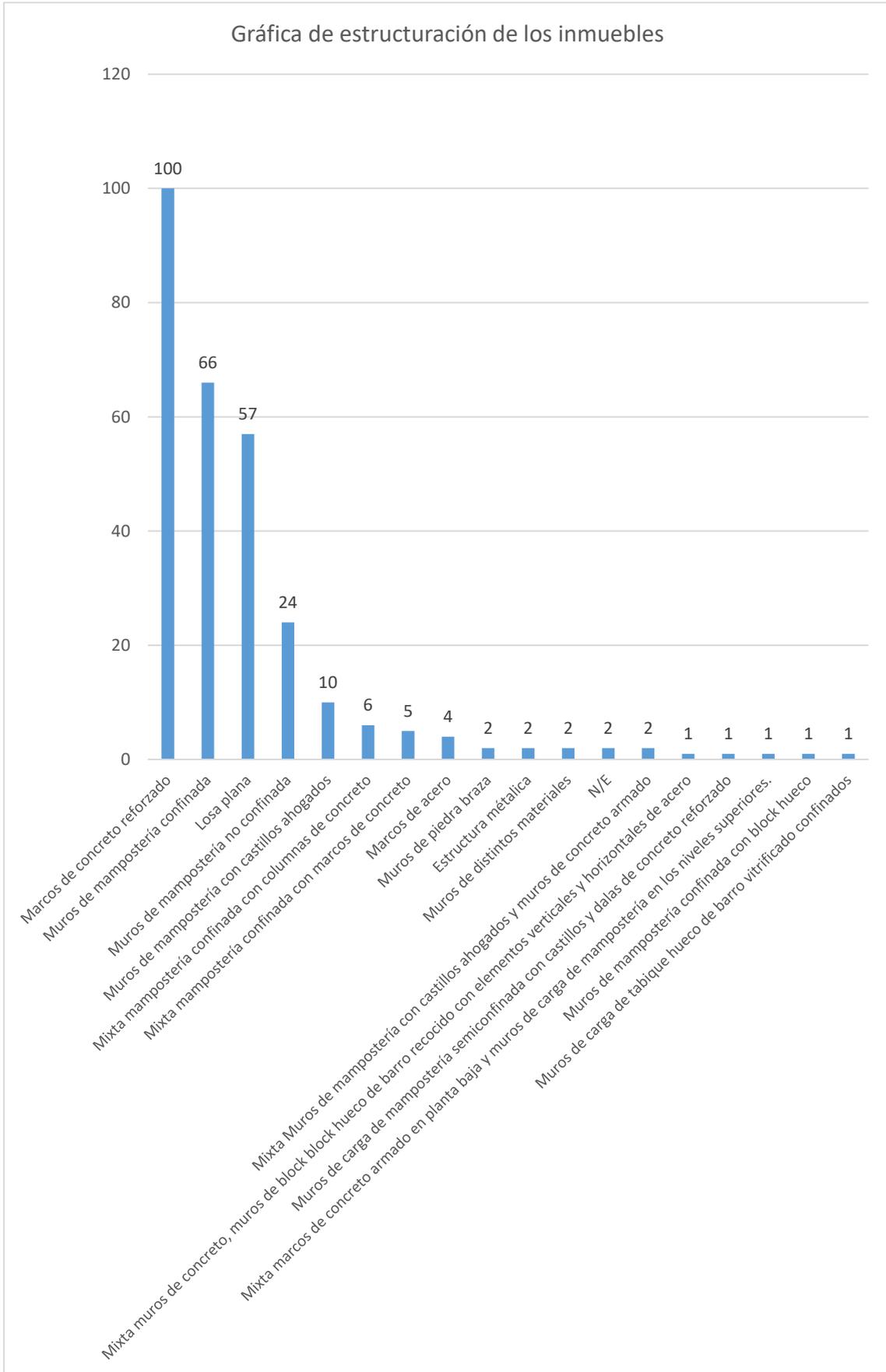


Figura 3.63. Estructuración de los inmuebles.



Figura 3.64. Gráfica de estructuración para la clasificación derrumbes.

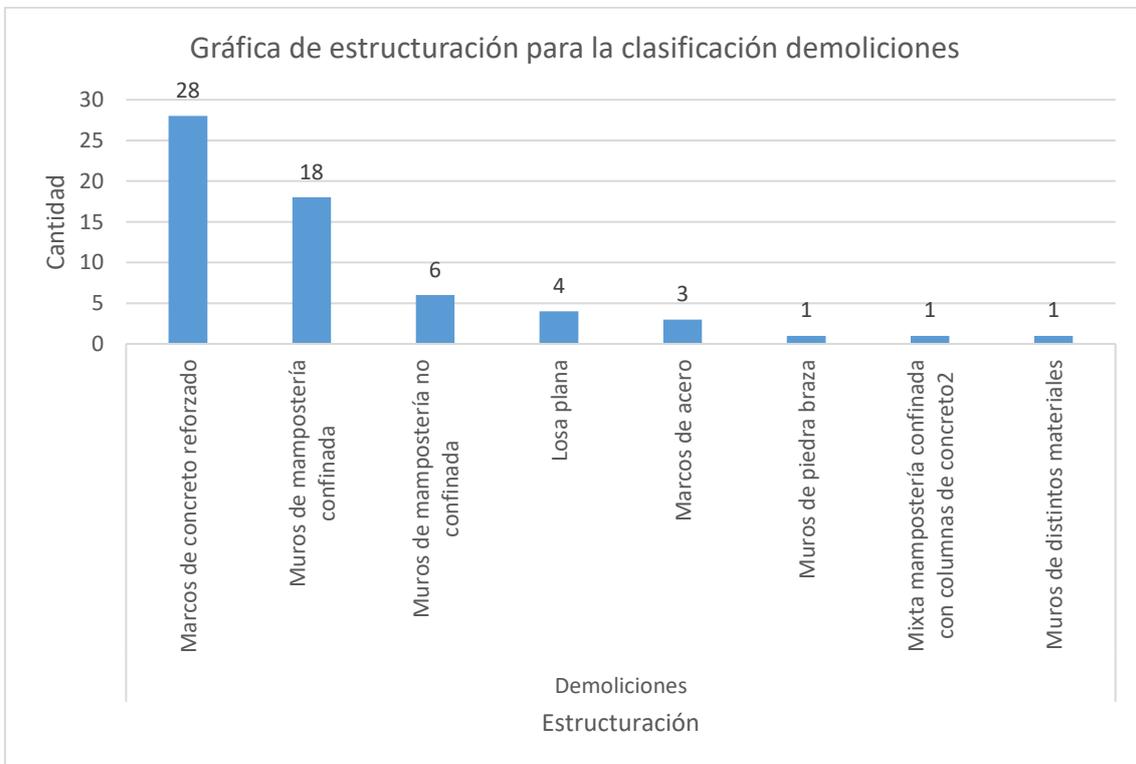


Figura 3.65. Gráfica de estructuración para la clasificación demoliciones.

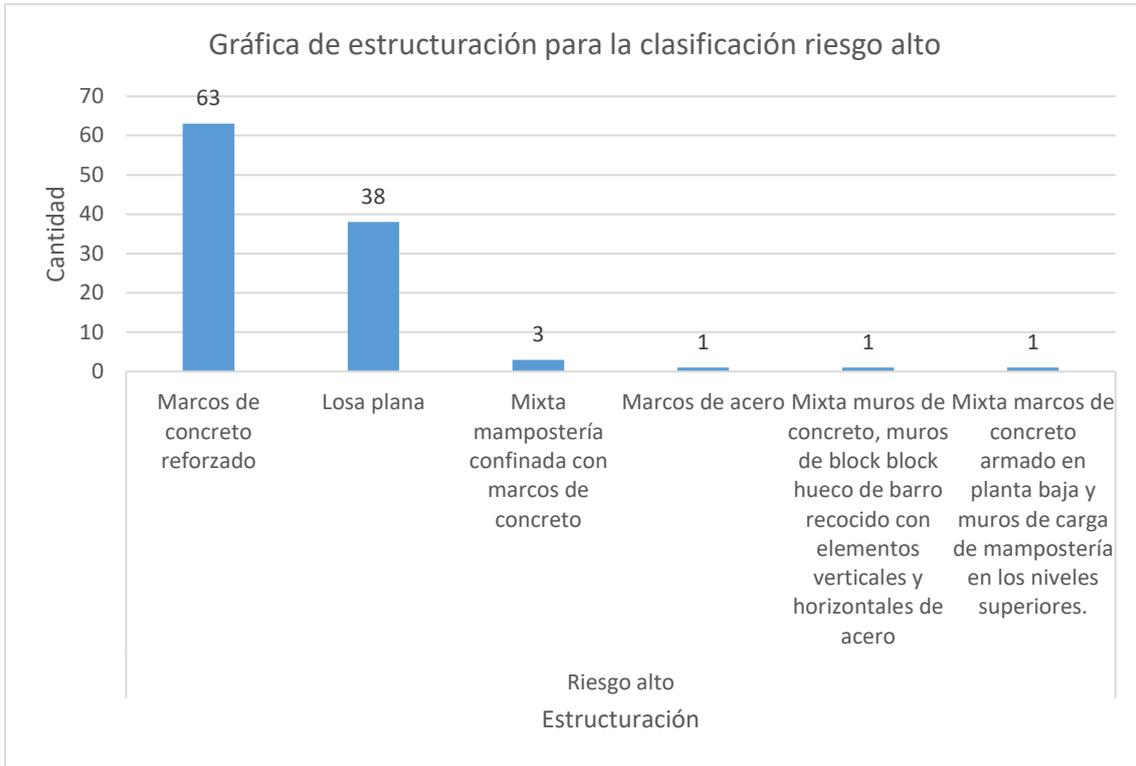


Figura 3.66. Gráfica de estructuración para la clasificación riesgo alto.

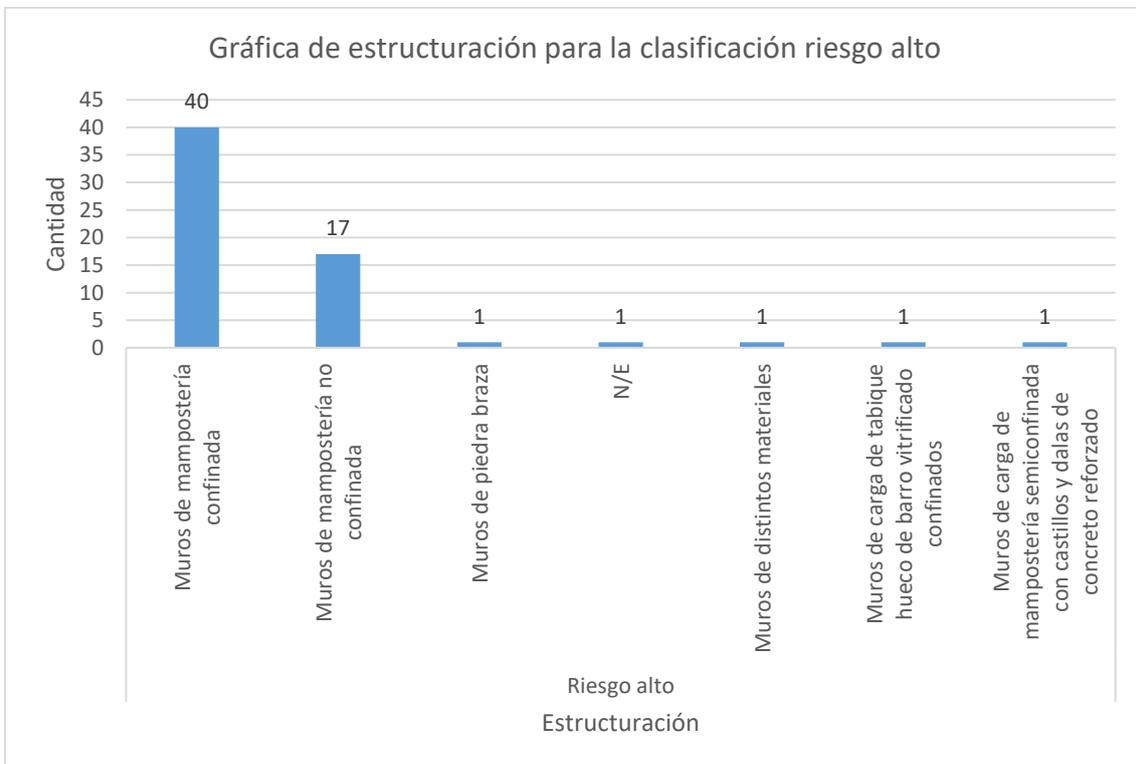


Figura 3.67. Gráfica de estructuración para la clasificación riesgo alto.

3.5.1 Estructuración general de los inmuebles y número de niveles

A partir de los 287 dictámenes estructurales, y con la estructuración determinada se realizaron las gráficas (figuras 3.30 a 3.37) donde se muestran la estructuración y el número de niveles para las clasificaciones de derrumbe, demoliciones, y riesgo alto.

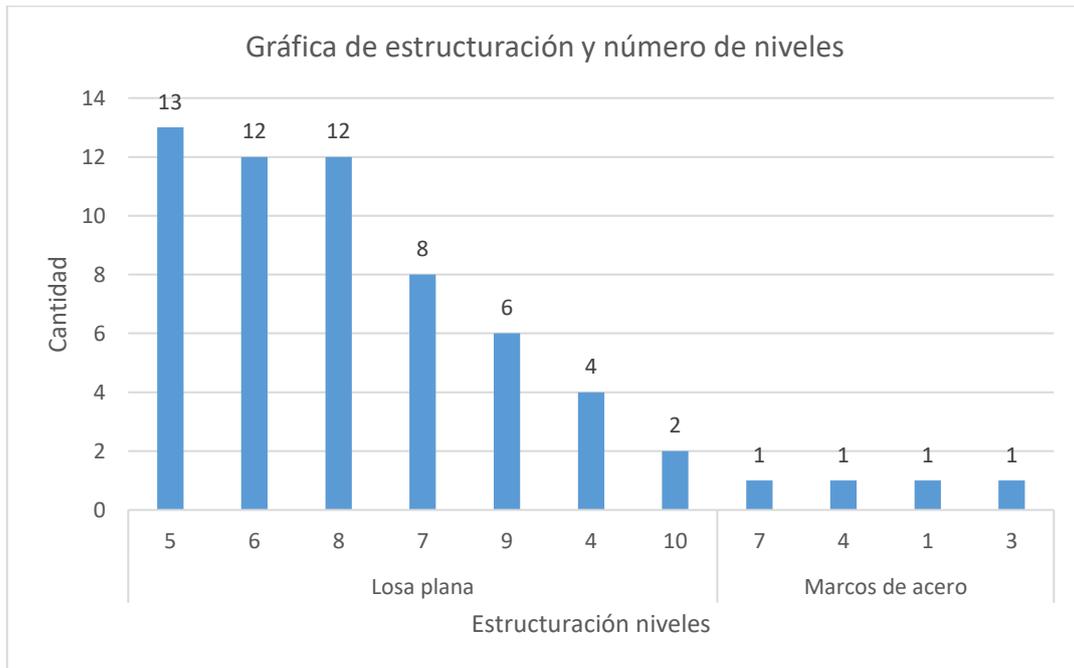


Figura 3.68. Gráfica de estructuración y número de niveles.

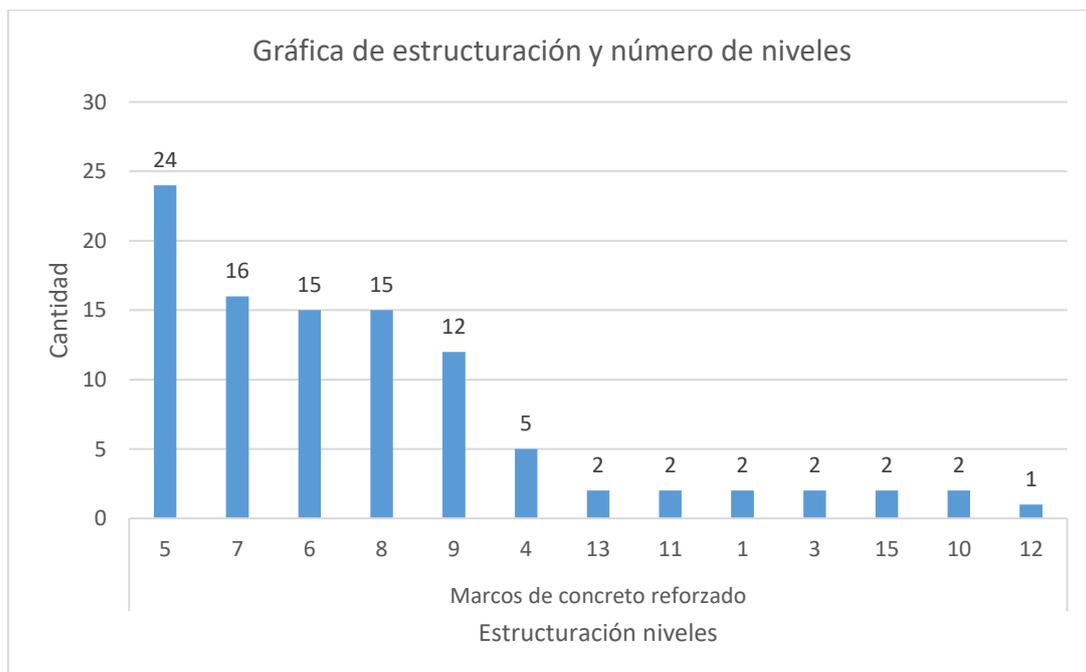


Figura 3.69. Gráfica de estructuración y número de niveles.

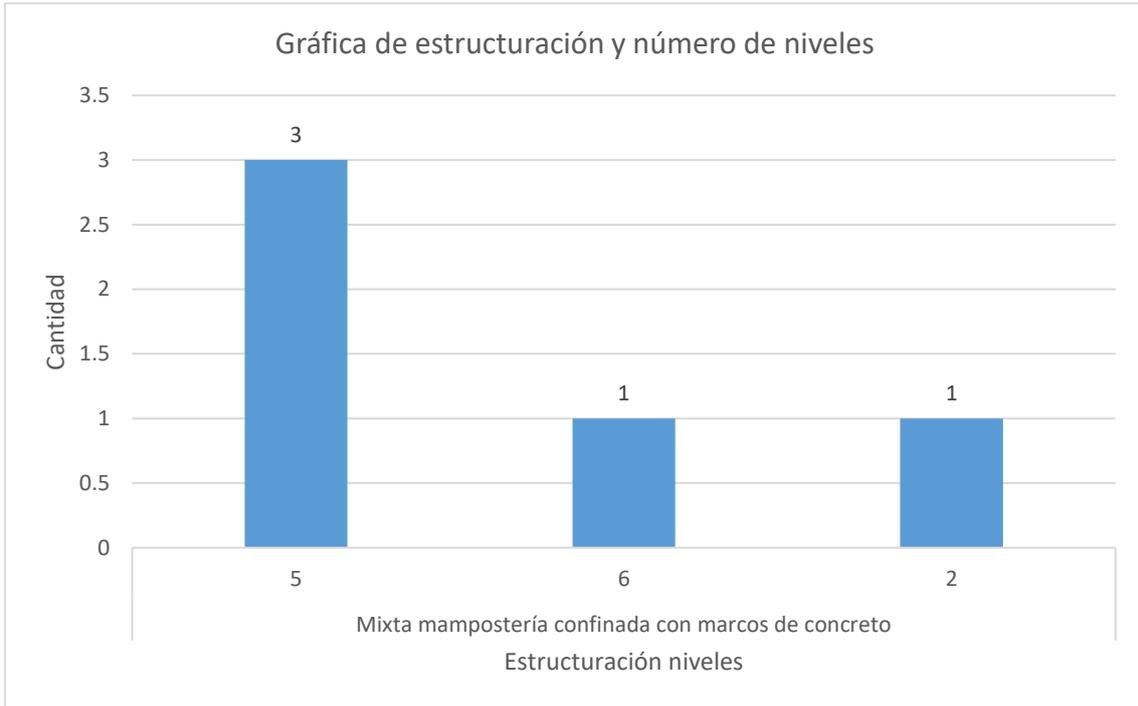


Figura 3.70. Gráfica de estructuración y número de niveles.

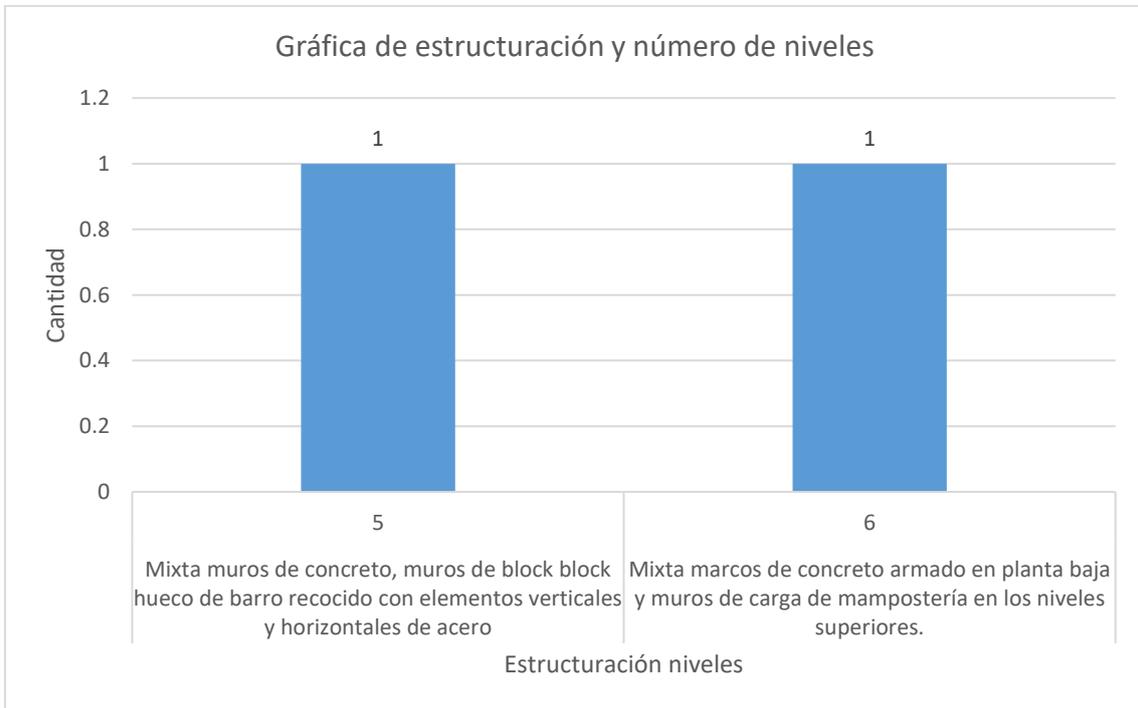


Figura 3.71. Gráfica de estructuración y número de niveles.

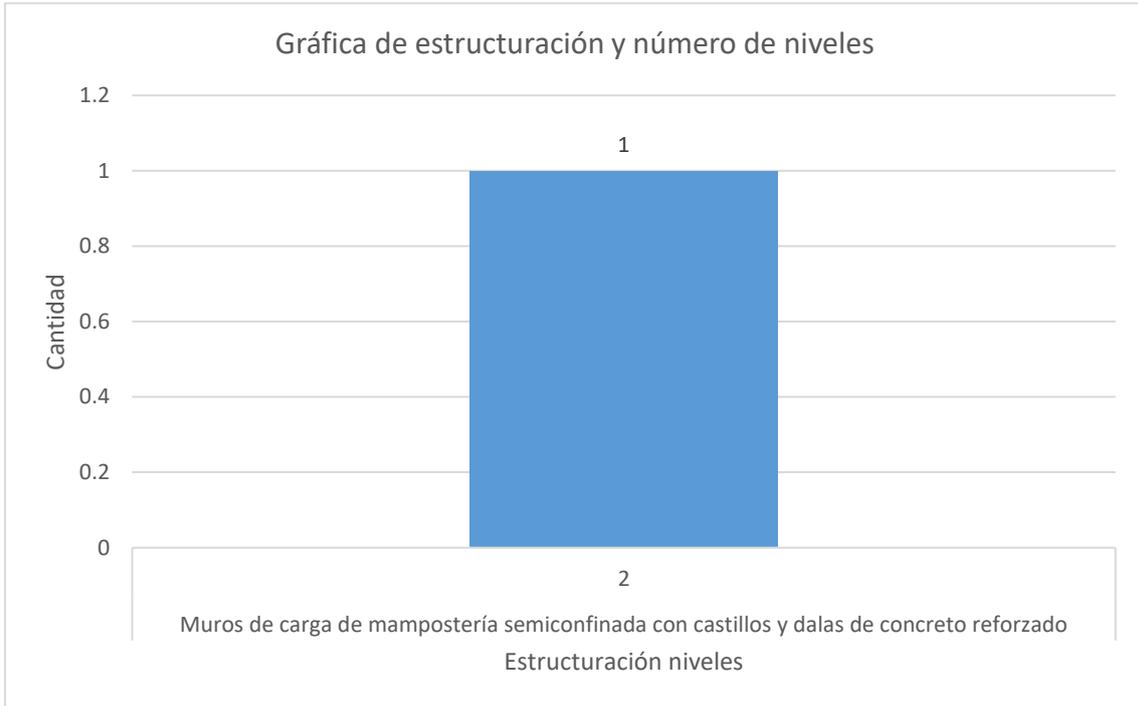


Figura 3.72. Gráfica de estructuración y número de niveles.

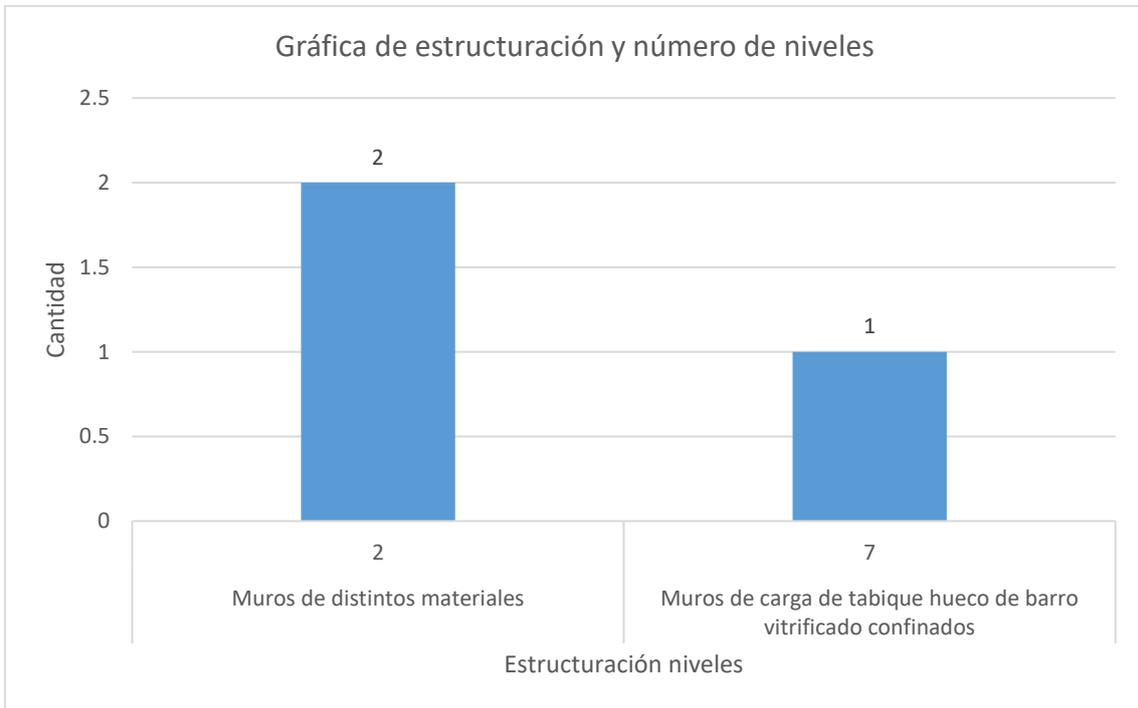


Figura 3.73. Gráfica de estructuración y número de niveles.

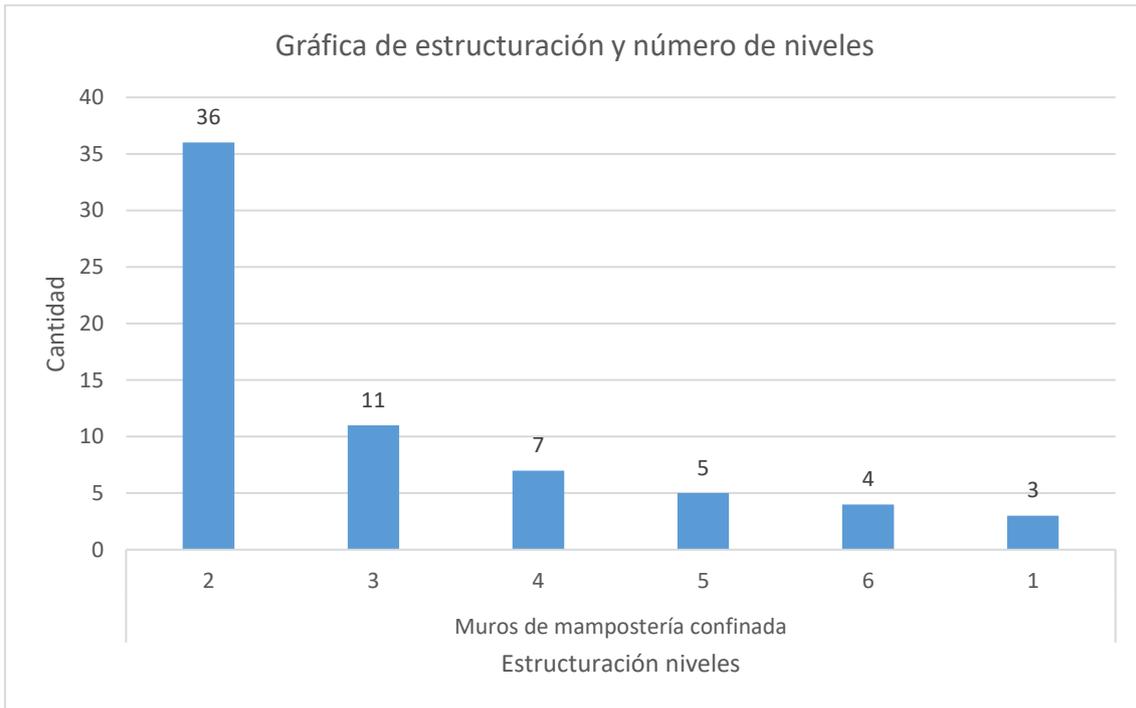


Figura 3.74. Gráfica de estructuración y número de niveles.

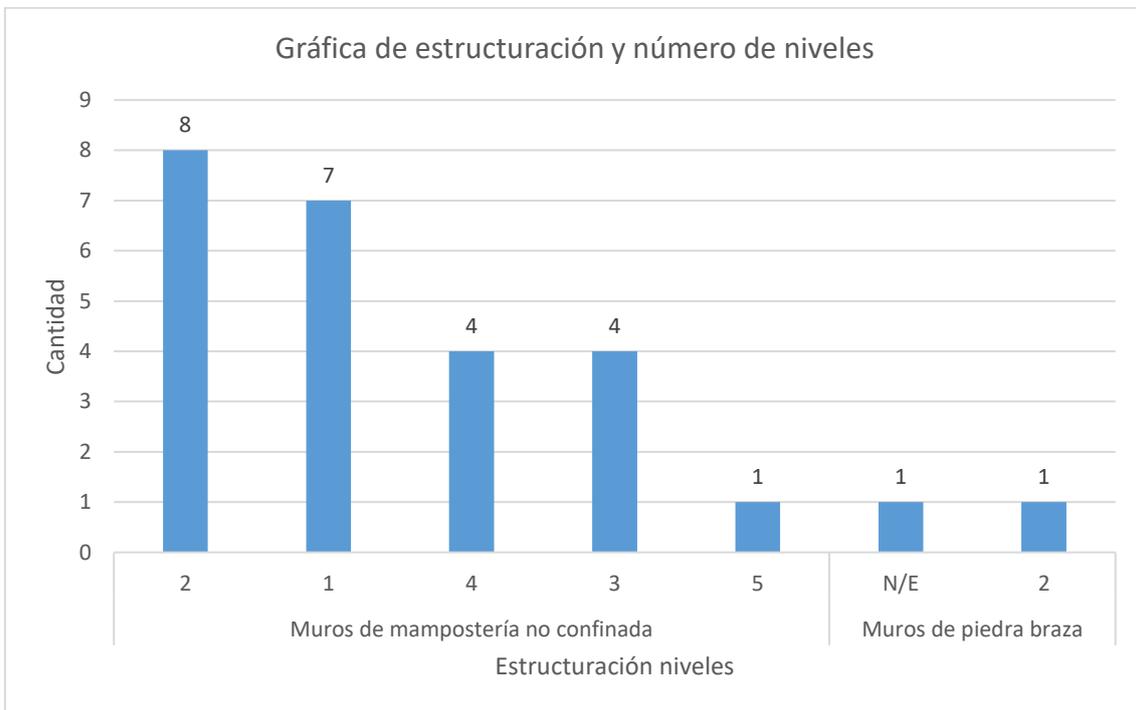


Figura 3.75. Gráfica de estructuración y número de niveles.

La estructuración con mayor porcentaje corresponde a los marcos de concreto reforzado de entre cuatro y nueve niveles (30.31%). El segundo mayor porcentaje es el correspondiente a edificios de entre uno y seis niveles de mampostería confinada (23%). El tercer caso corresponde al uso de losa plana en edificios de entre cuatro y diez niveles (19.86%).

Finalmente, el menor porcentaje corresponde a edificios de seis niveles soportados en muros de mampostería confinada con block hueco (0.35%).

3.5.2 Estructuración general de los inmuebles y zonificación sísmica

A partir de los 287 dictámenes estructurales, con la estructuración determinada se realizaron las gráficas (figuras 3.38 a 3.46) donde se muestran la estructuración y zonificación sísmica para las clasificaciones de derrumbe, demoliciones, y riesgo alto. Las figuras 3.40 a 3.42 corresponden a la gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIa, las figuras 3.43 a 3.44 corresponden a la gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIb, las figuras 3.45 a 3.46 corresponden a la gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIc.

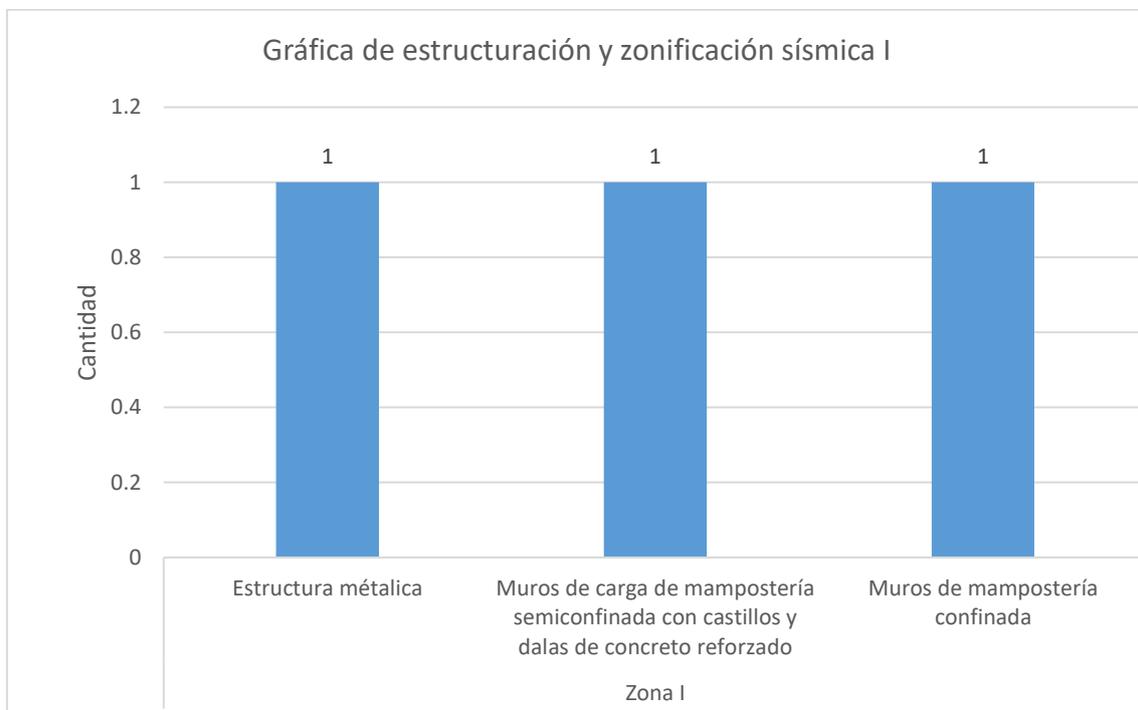


Figura 3.76. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica I.

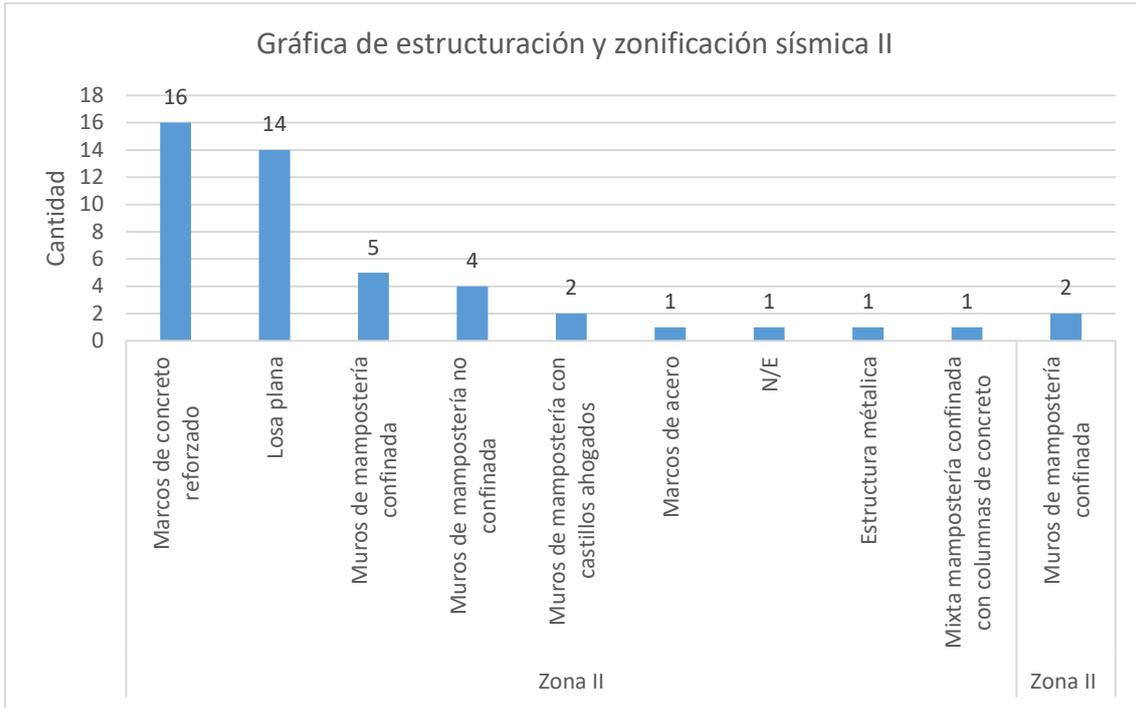


Figura 3.77. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica II.

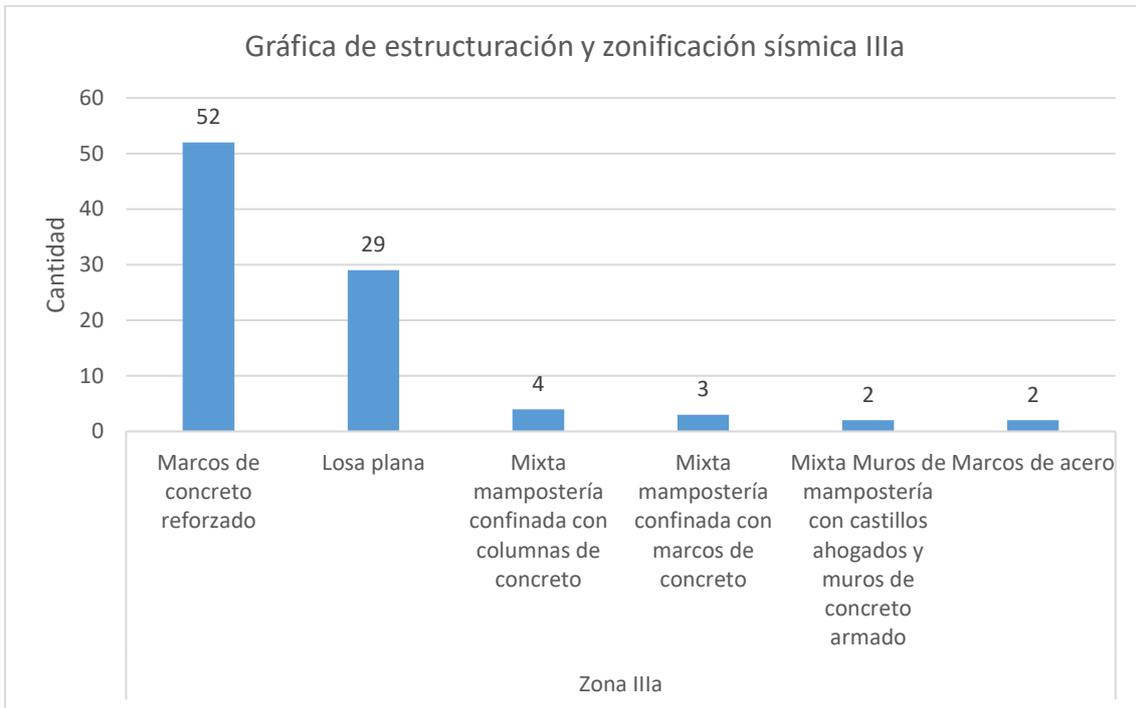


Figura 3.78. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIa.

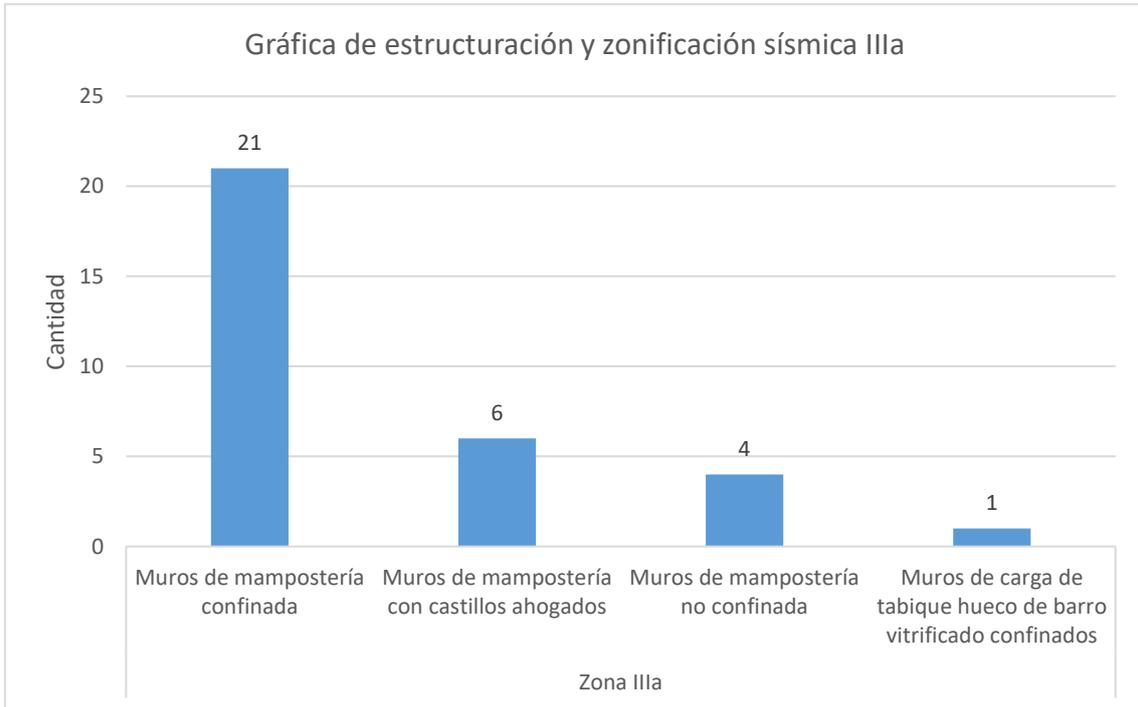


Figura 3.79. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIa.

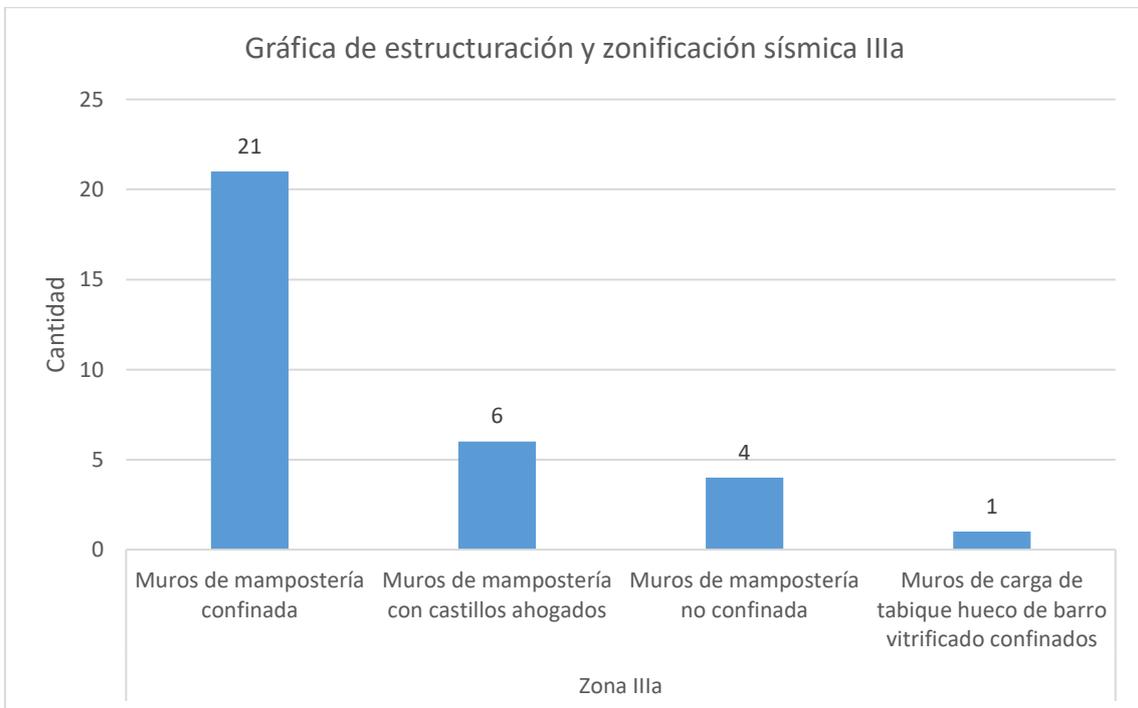


Figura 3.80. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIa.

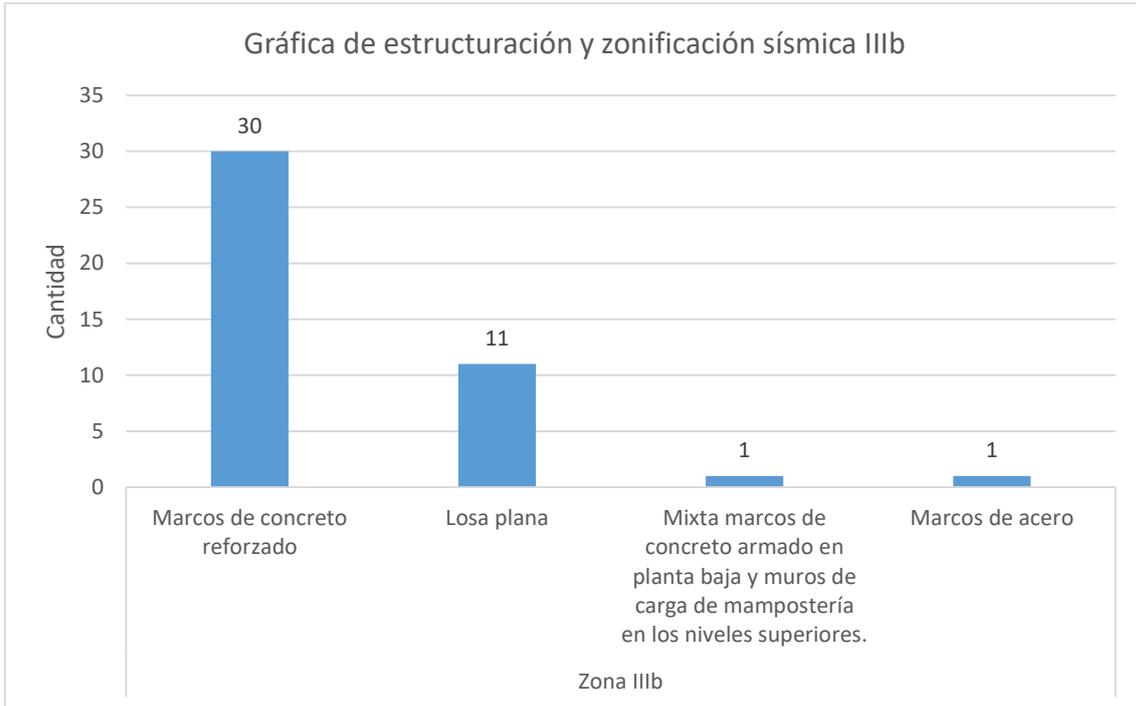


Figura 3.81. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIb.

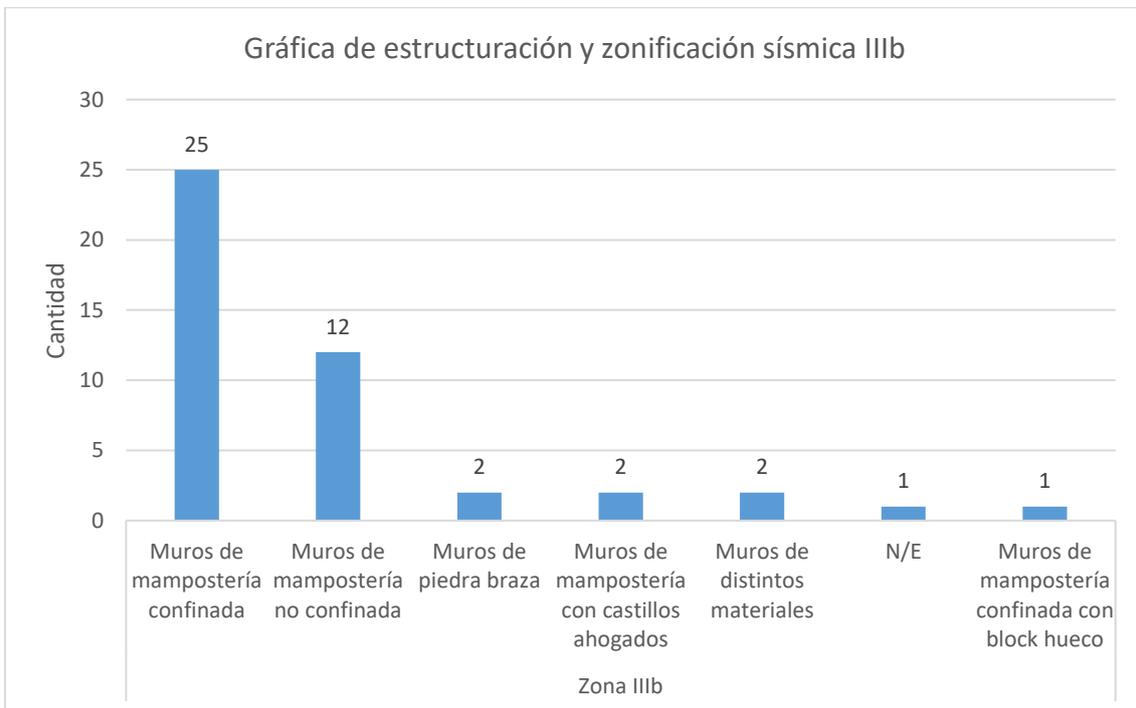


Figura 3.82. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIb.

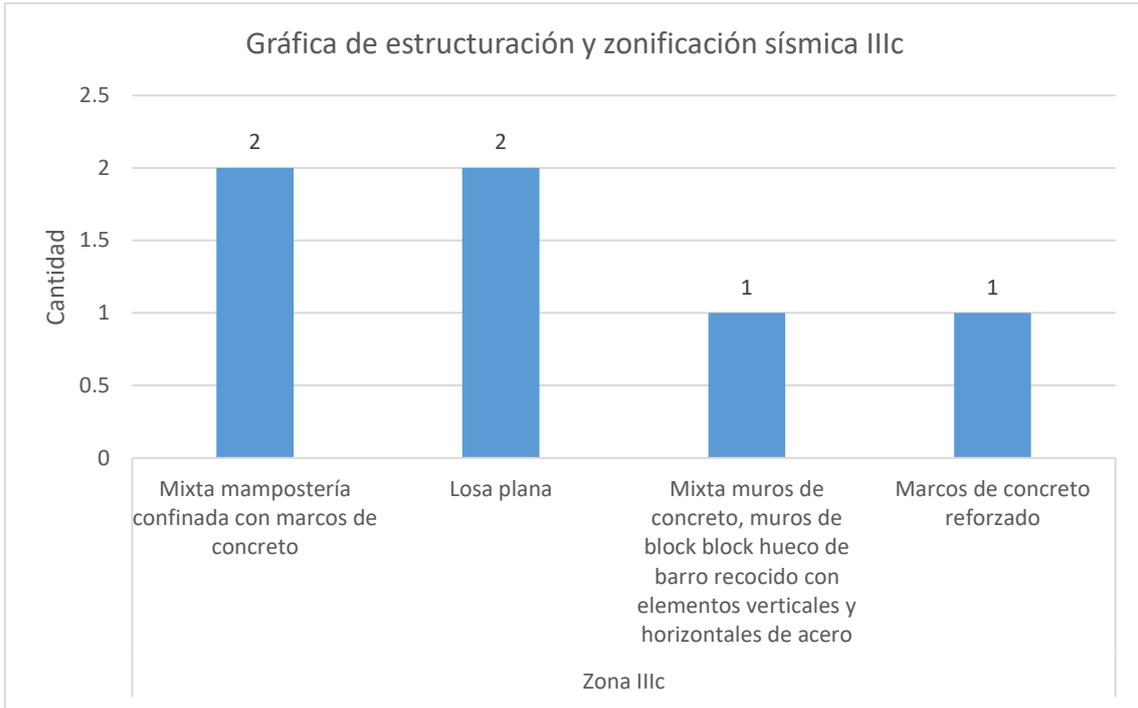


Figura 3.83. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIc.

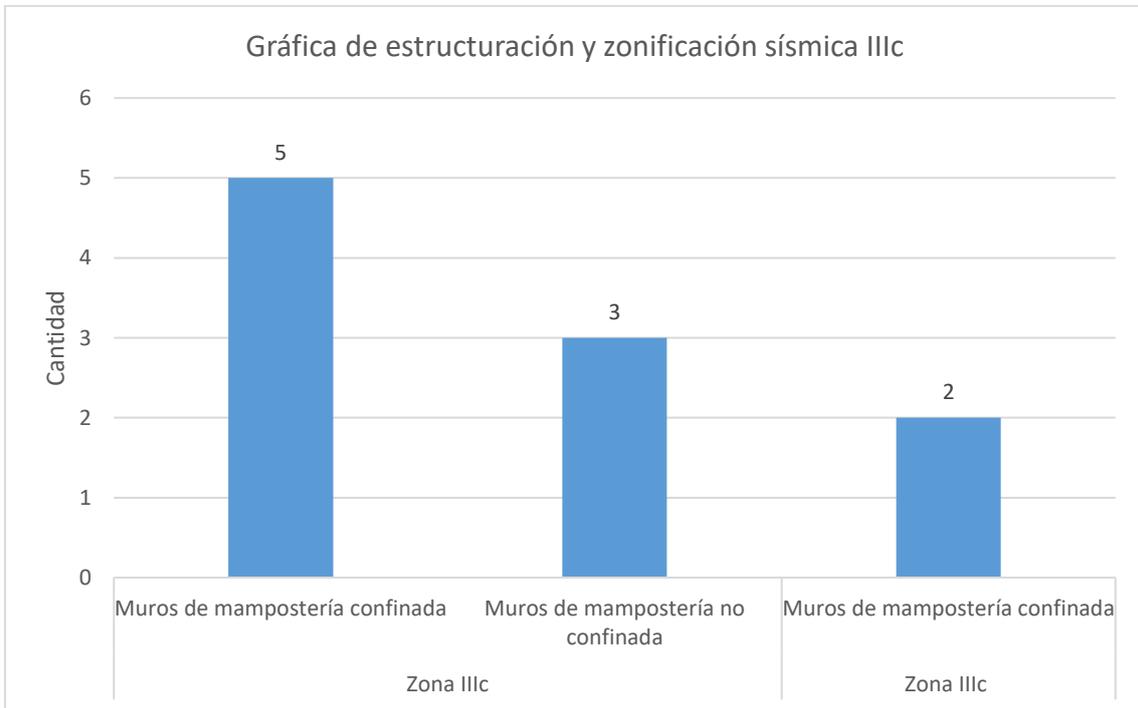


Figura 3.84. Gráfica de estructuración y zonificación sísmica IIIc.

3.5.2 Estructuración general de los inmuebles, número de niveles y zonificación sísmica

A partir de los 287 dictámenes estructurales, la zonificación sísmica de los inmuebles, y con la estructuración determinada de los mismos se realizaron las gráficas (figuras 3.47 a 3.53) donde se muestran la estructuración, zonificación sísmica, y el número de niveles para las tres clasificaciones de los inmuebles. Las figuras 3.48 a 3.51 corresponden a la gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica II, las figuras 3.52 a 3.56 corresponden a la gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa, las figuras 3.57 a 3.62 corresponden a la gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb, las figuras 3.63 a 3.65 corresponden a la gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIc, y las figuras 3.66 a 3.67 corresponden a la gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIId.

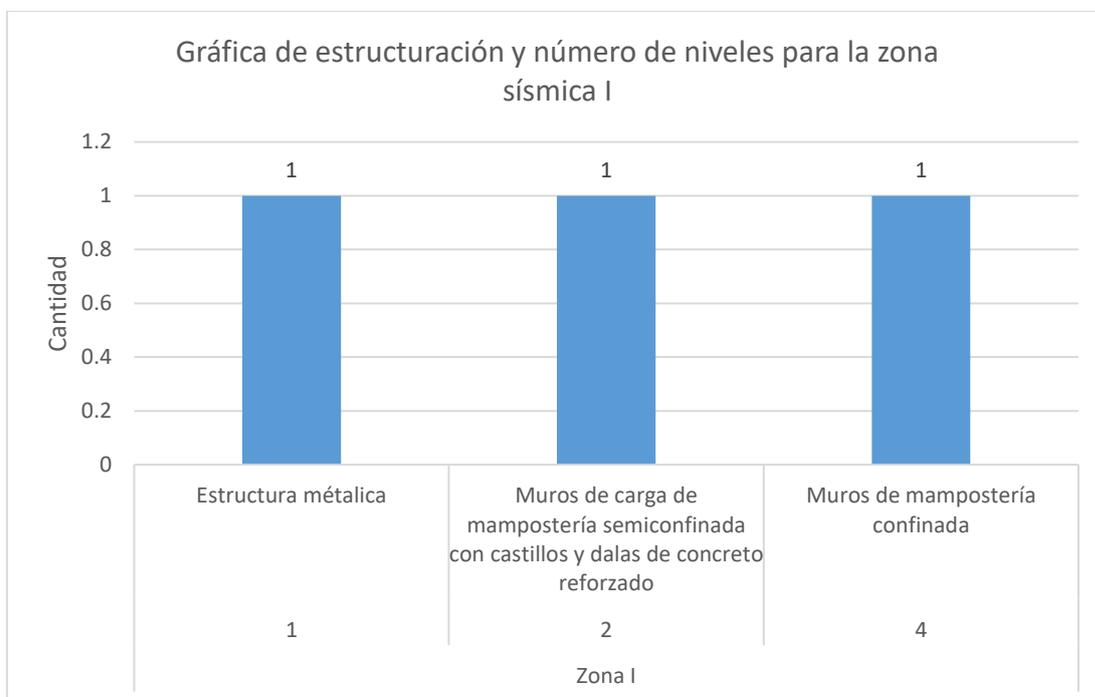


Figura 3.85. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica I.

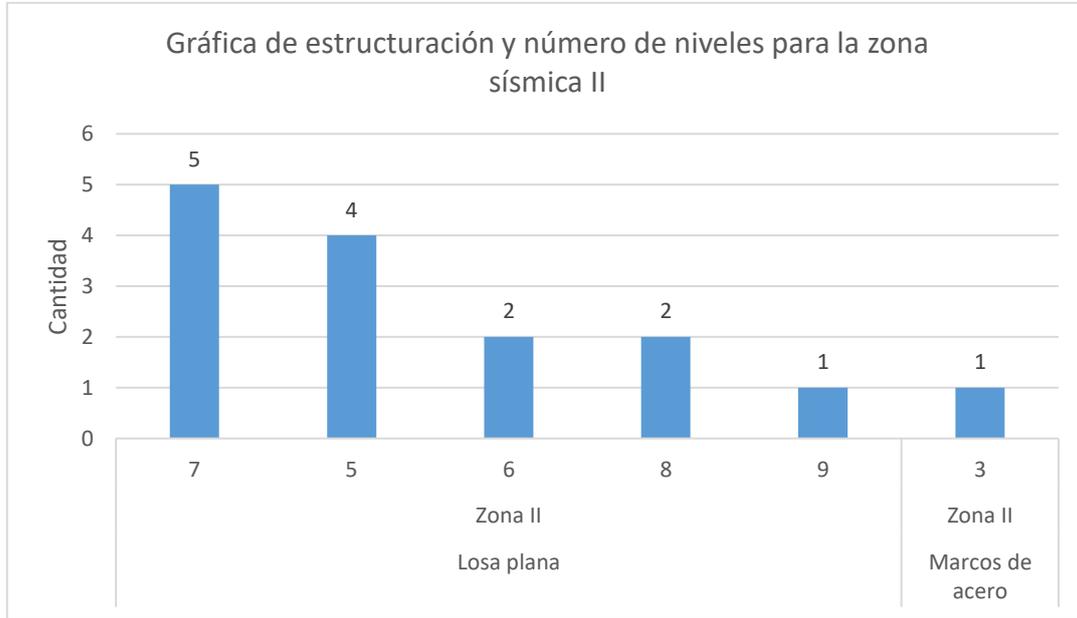


Figura 3.86. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica II.

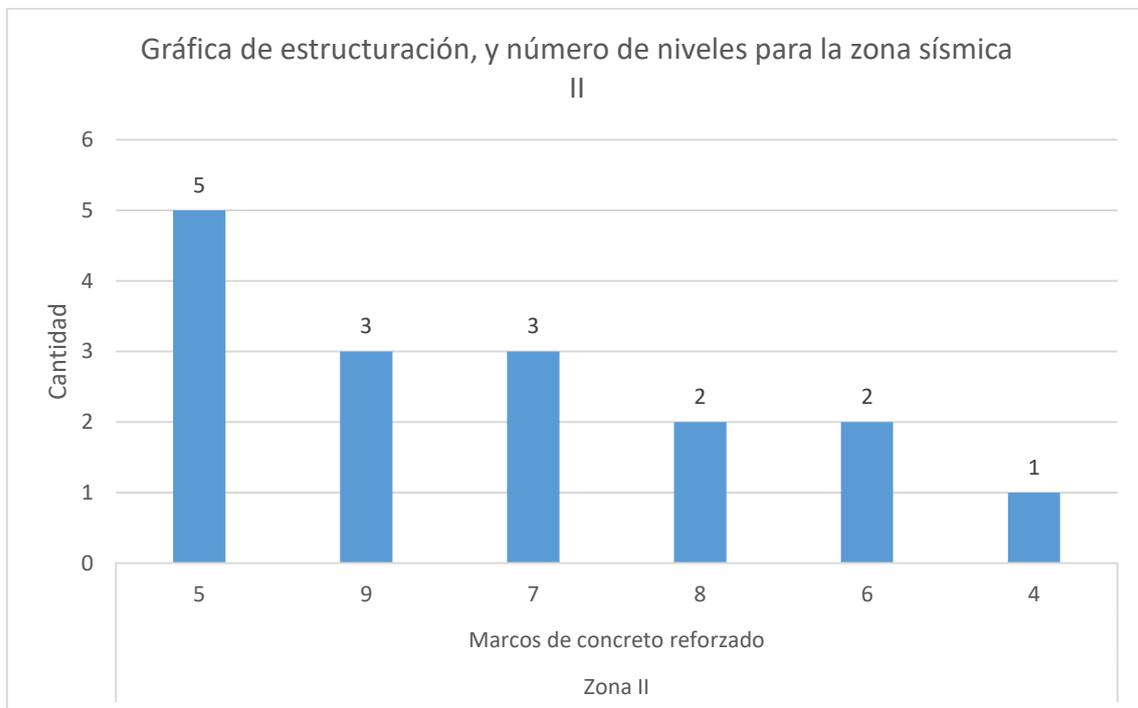


Figura 3.87. Gráfica de estructuración y número de niveles, de las tres clasificaciones de inmuebles para la zona sísmica II.

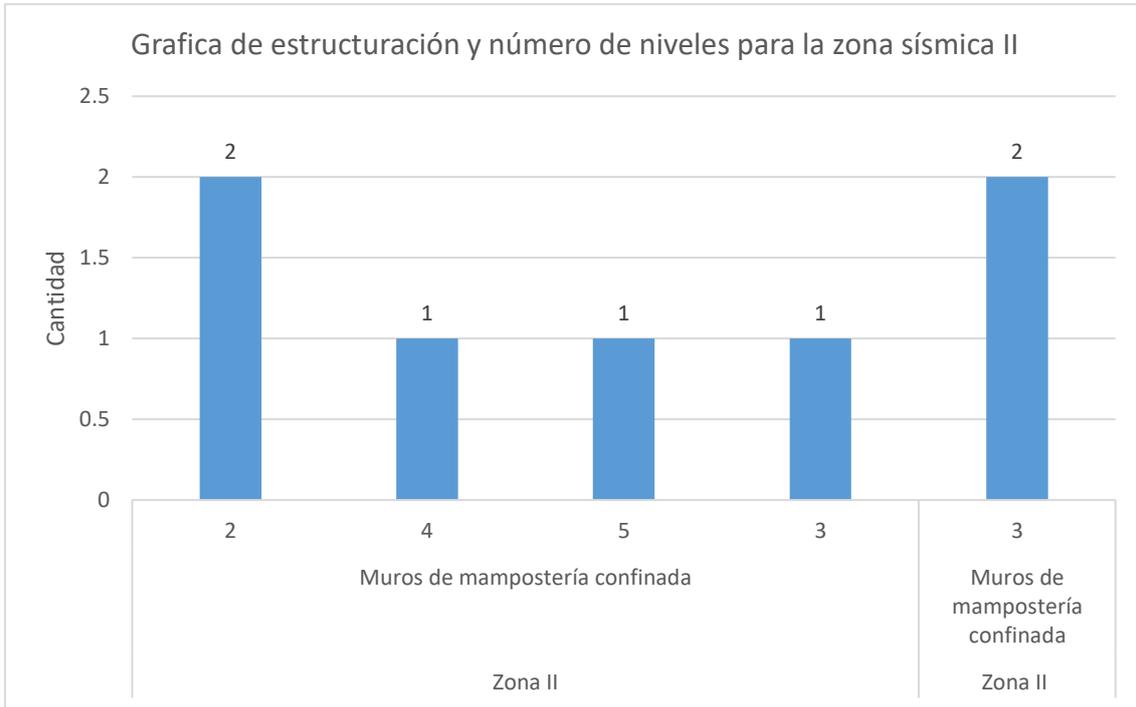


Figura 3.88. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica II.

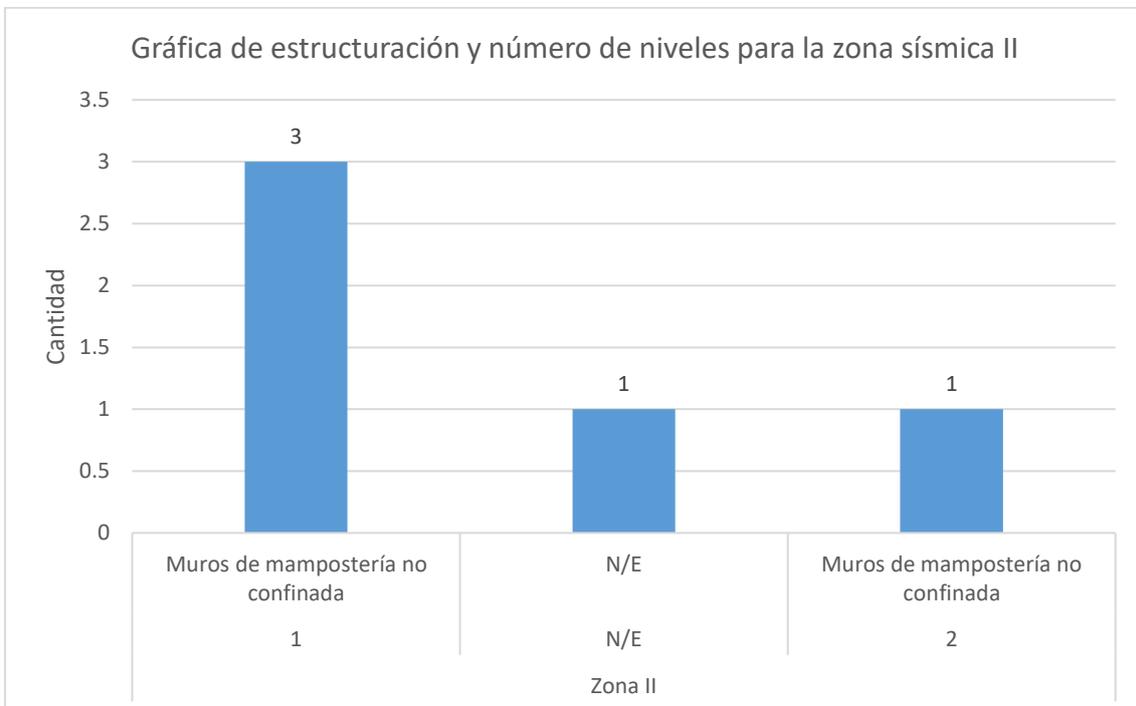


Figura 3.89. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica II.

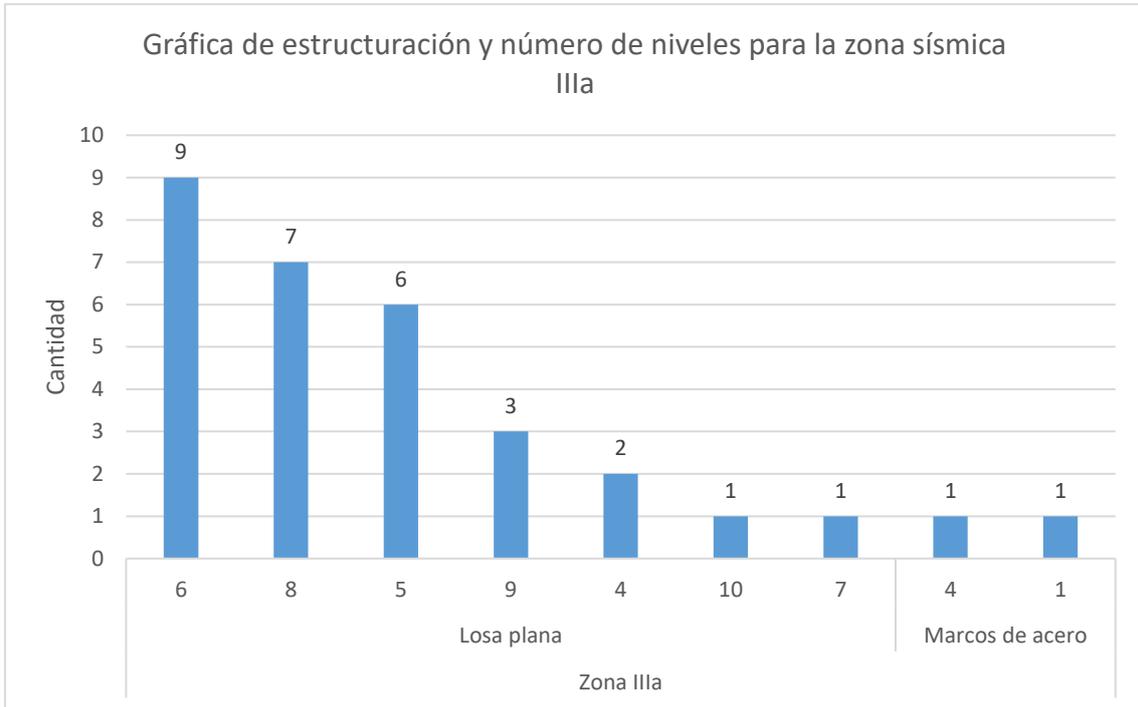


Figura 3.90. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.

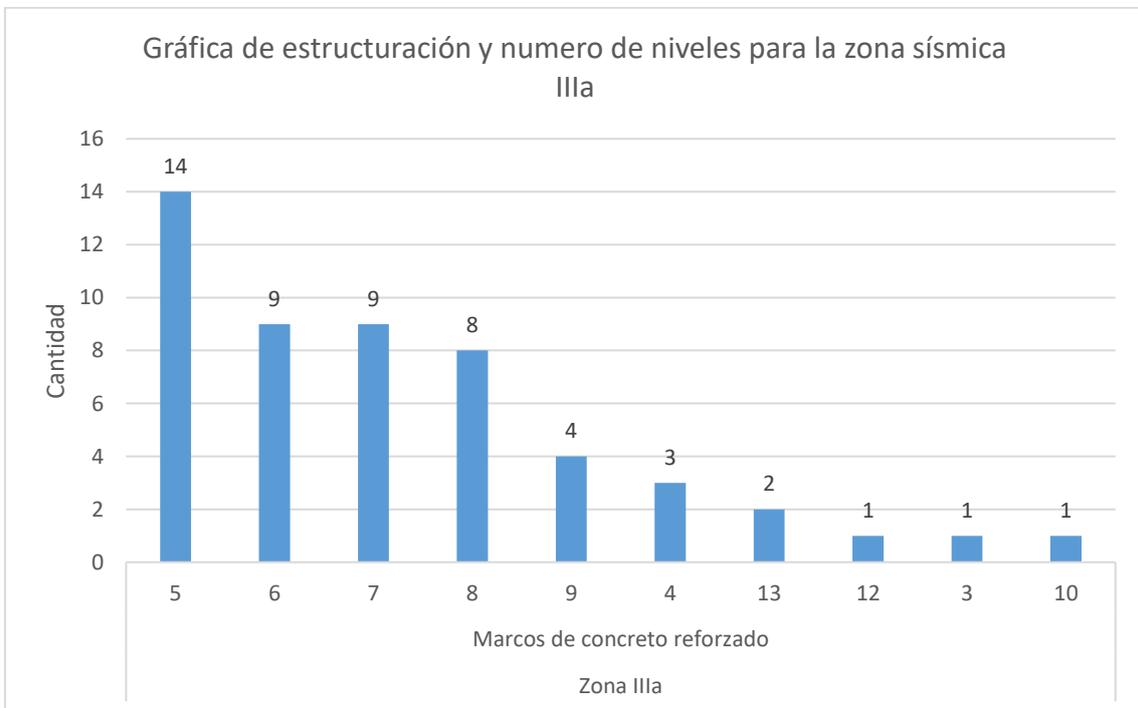


Figura 3.91. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.

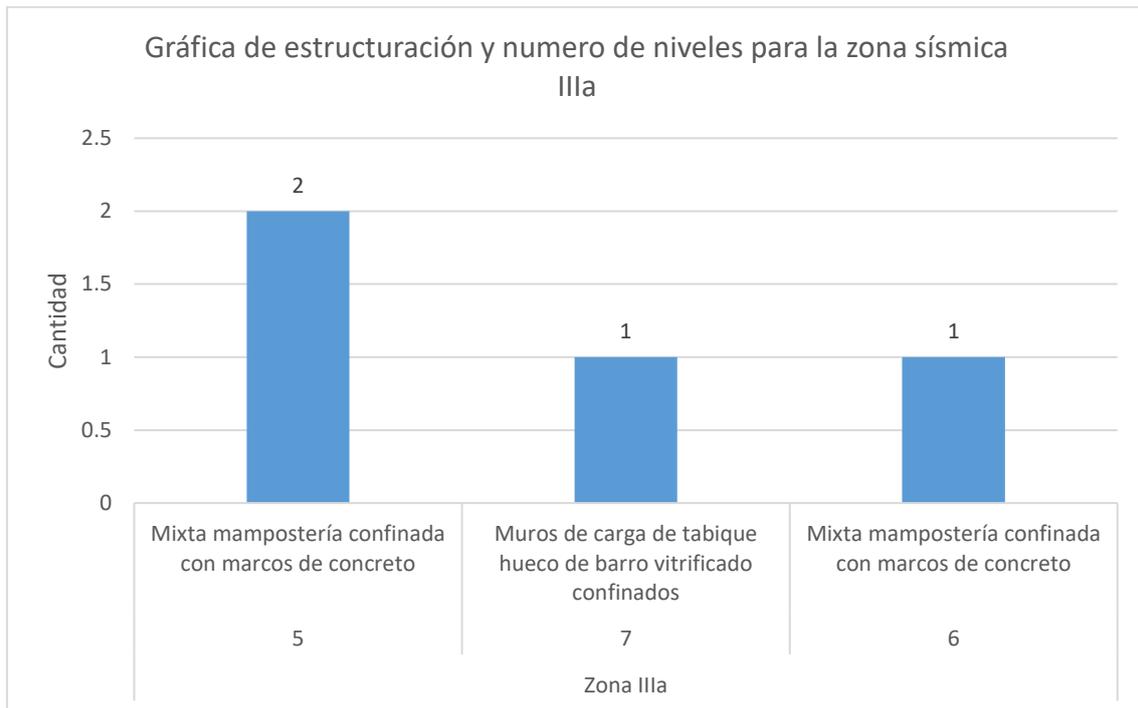


Figura 3.92. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.

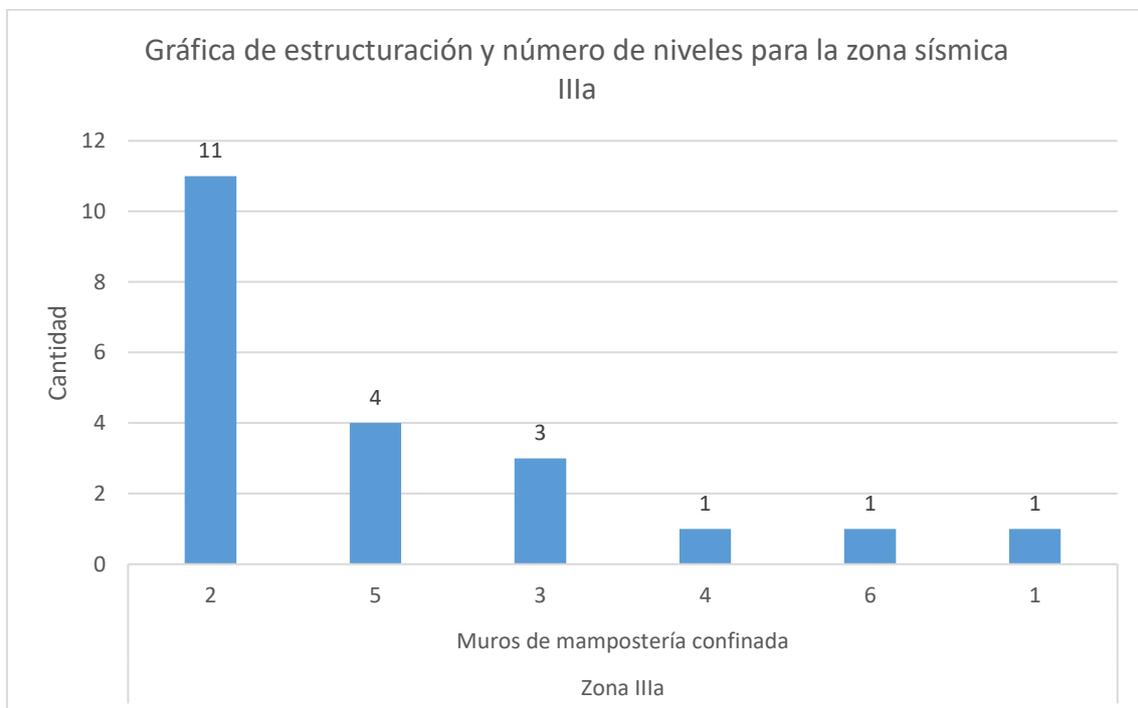


Figura 3.93. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.

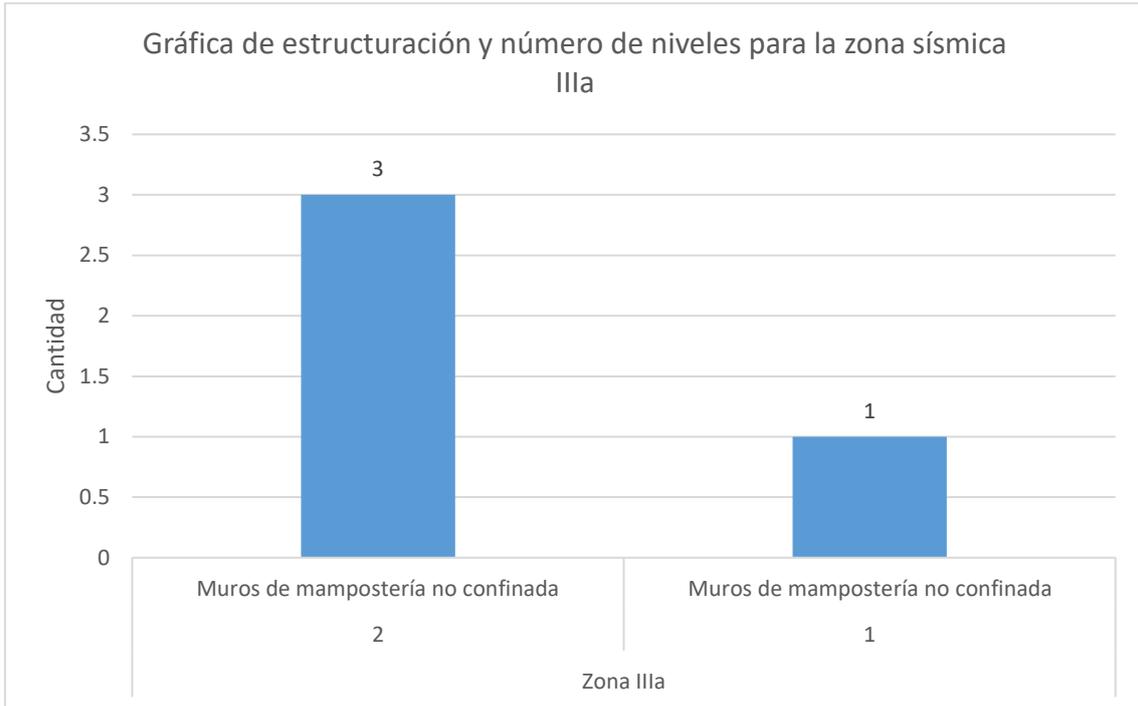


Figura 3.94. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIa.

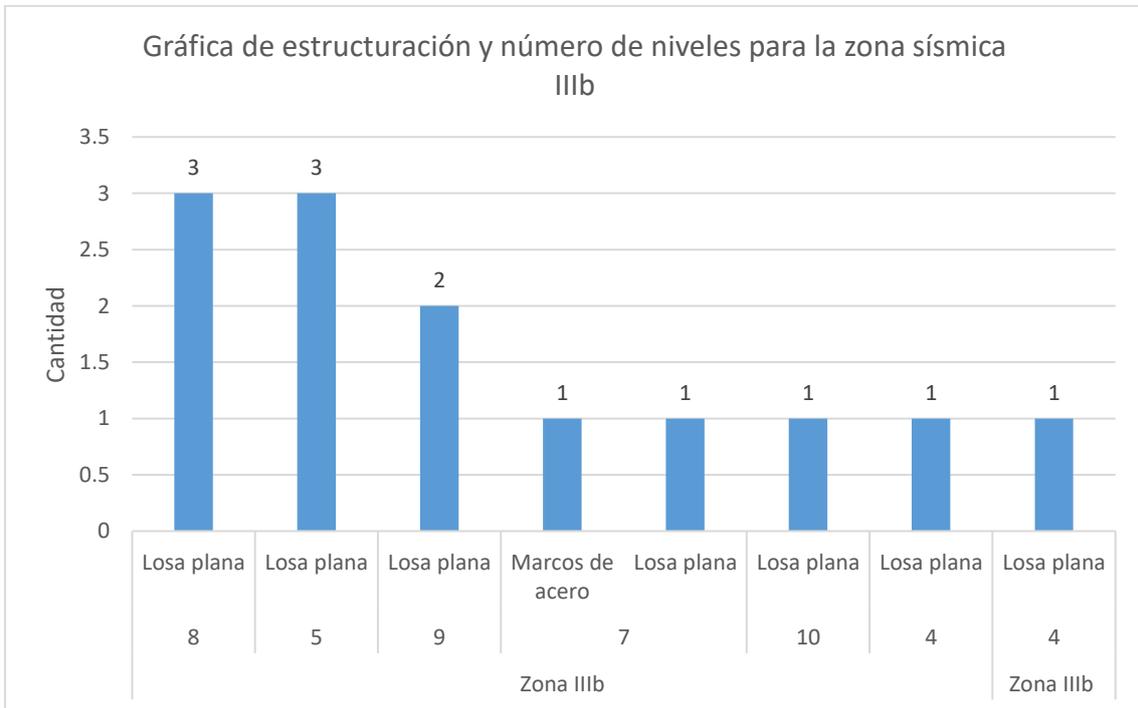


Figura 3.95. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.

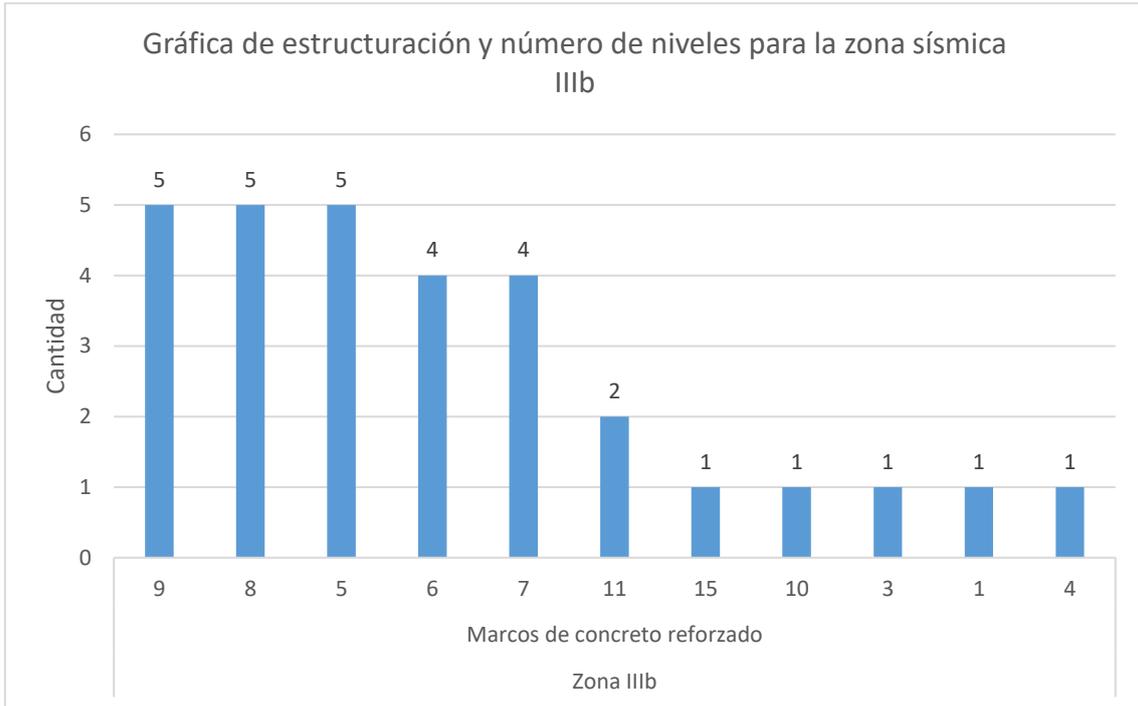


Figura 3.96. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.

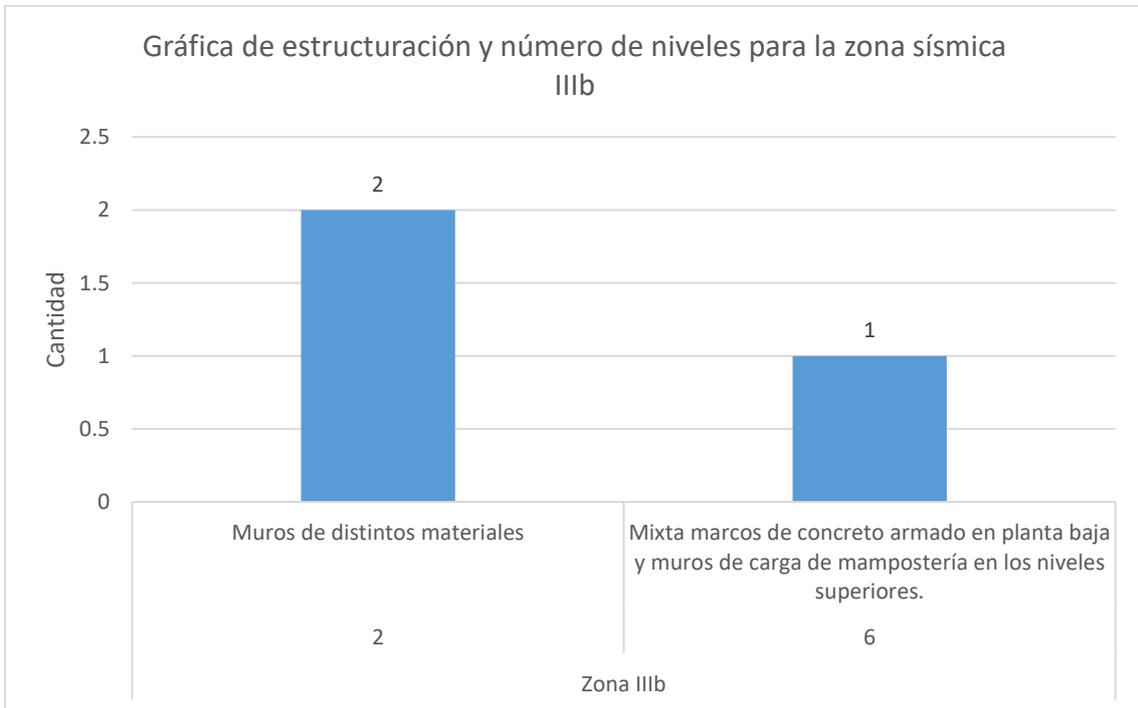


Figura 3.97. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.

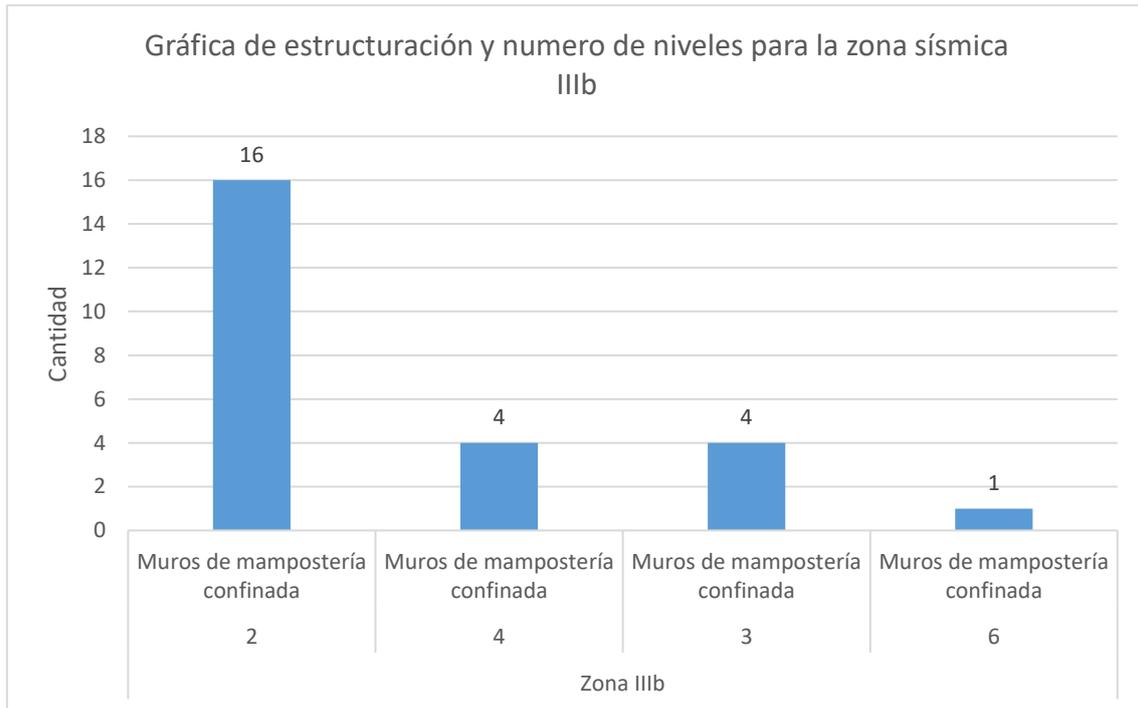


Figura 3.98. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.

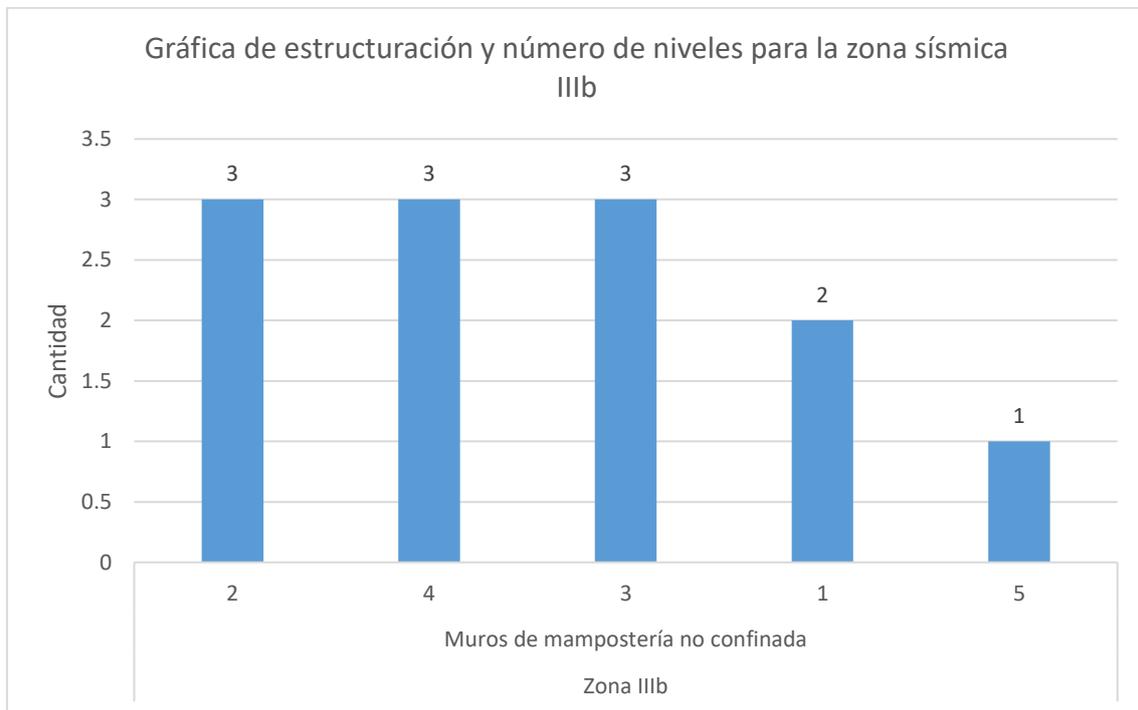


Figura 3.99. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.

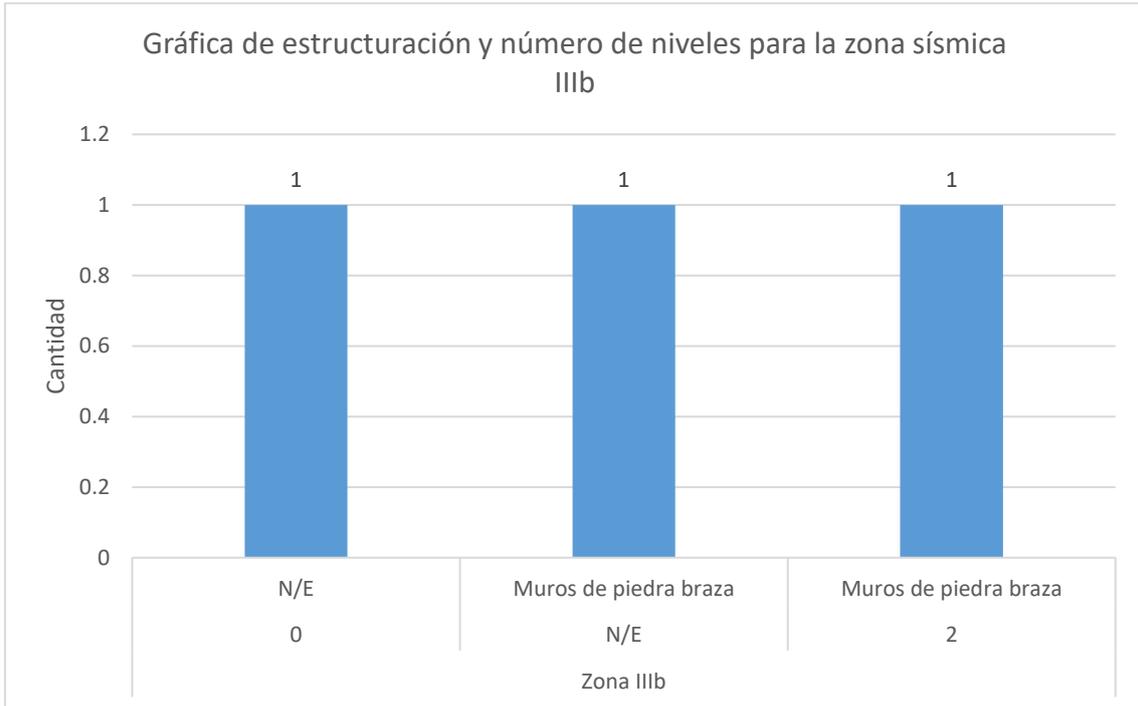


Figura 3.100. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIb.

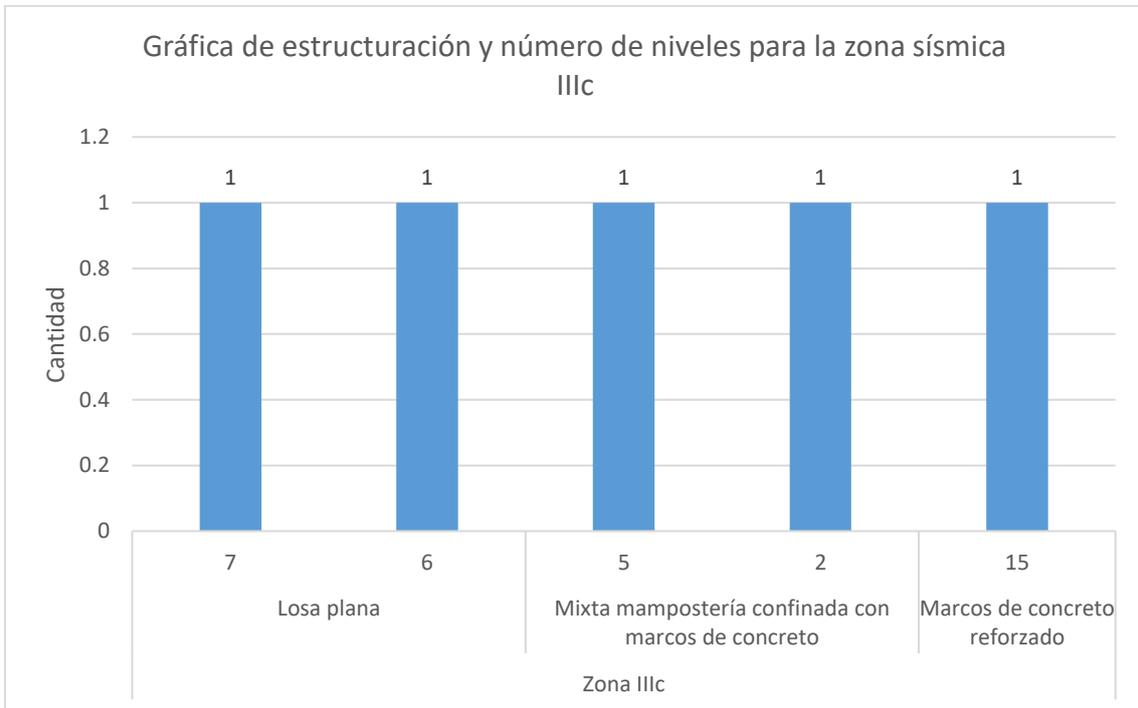


Figura 3.101. Gráfica de estructuración, número de niveles para la zona sísmica IIIc.

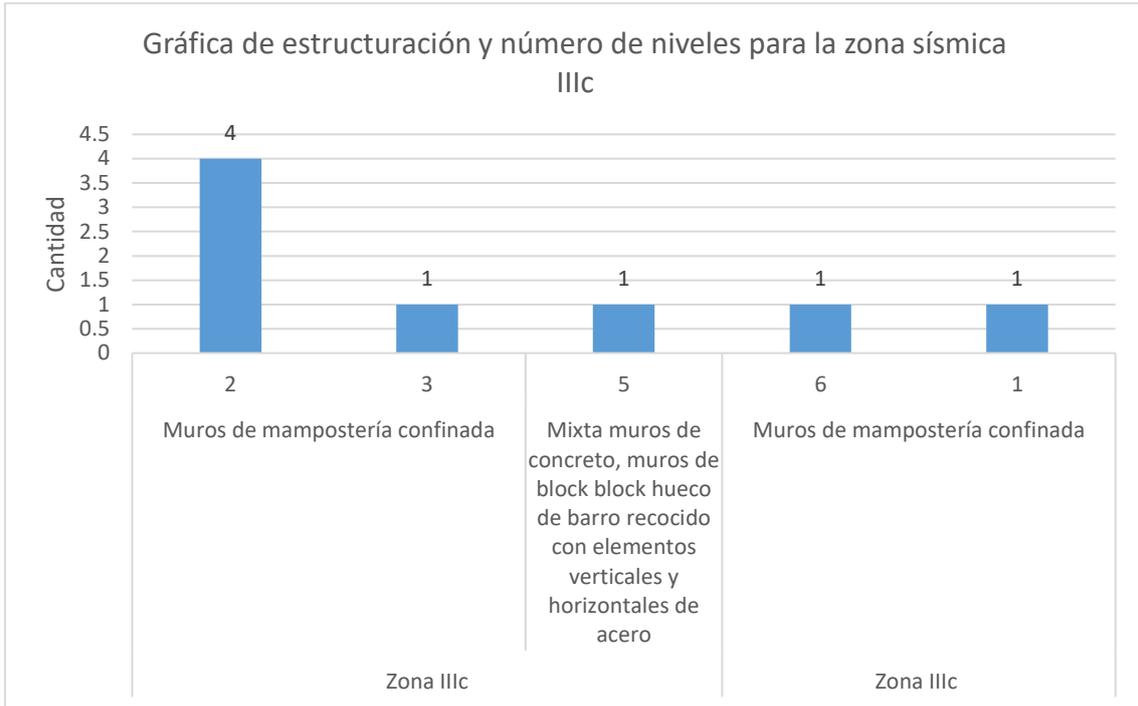


Figura 3.102. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIc.

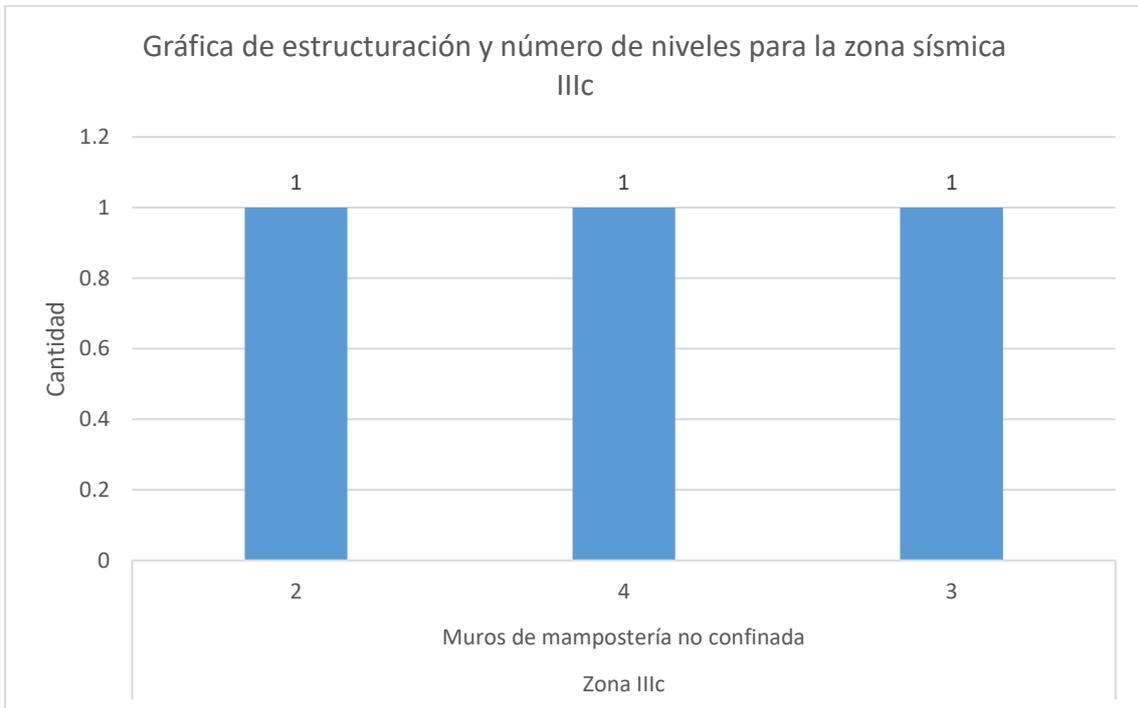


Figura 3.103. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIc.

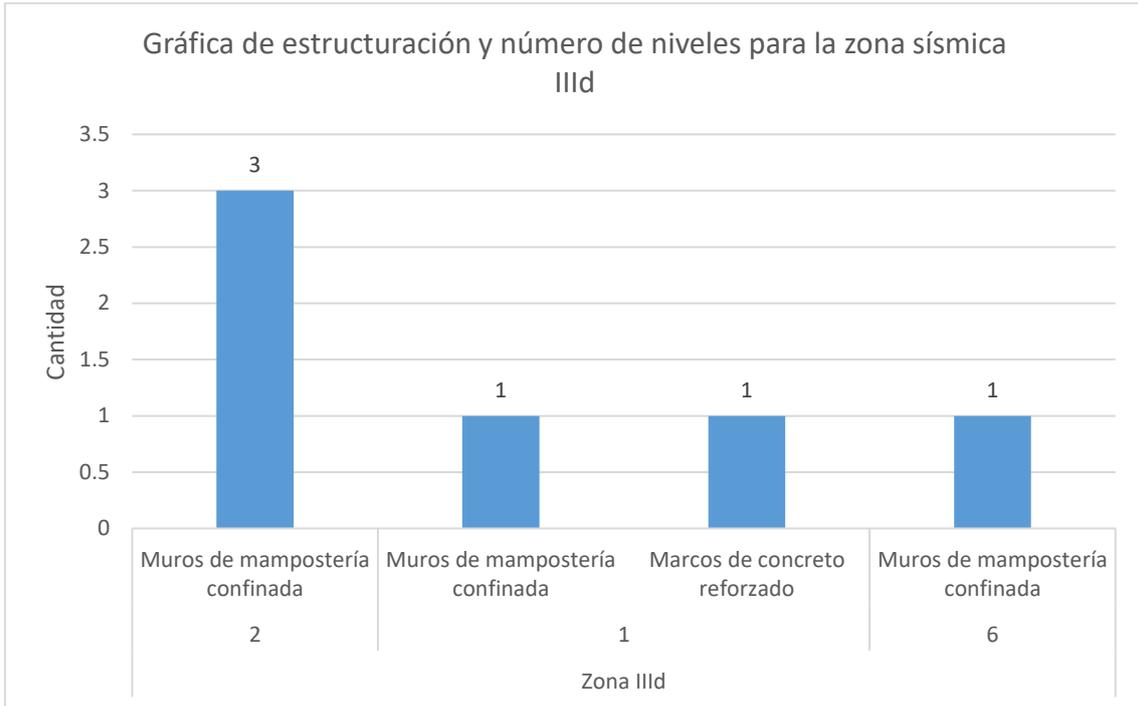


Figura 3.104. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIId.

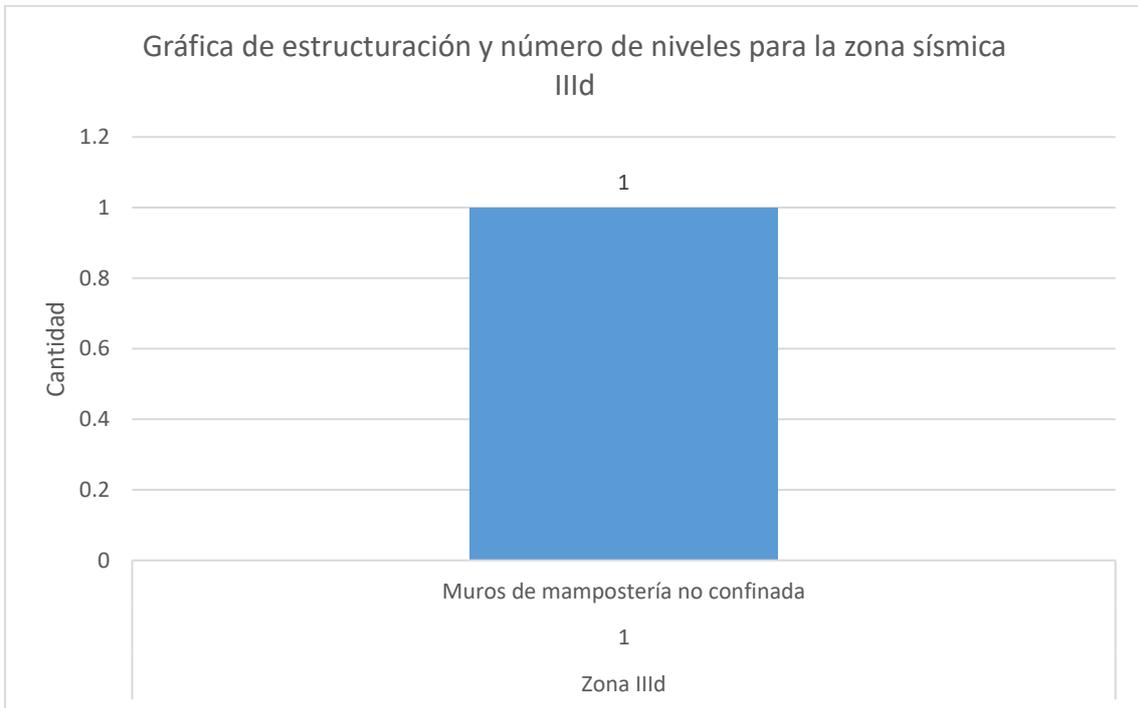


Figura 3.105. Gráfica de estructuración y número de niveles para la zona sísmica IIIId.



Los mayores porcentajes correspondiente para los 287 inmuebles analizados de acuerdo a su zonificación sísmica son los siguientes:

En la zona sísmica II (47 inmuebles), la estructuración de marcos de concreto reforzado de entre cuatro y ocho niveles se presentó con un 34.04%, seguido de la estructuración con base en losa plana de entre cinco y nueve niveles (29.79%), y el menor porcentaje correspondió a estructuras metálicas con 2.13%.

En la zona sísmica IIIa (124 inmuebles) la estructuración de marcos de concreto reforzado de entre cuatro y nueve niveles fue de 37.90%, seguido de estructuración de losa plana entre cinco y diez niveles (23.39%), y el menor porcentaje fueron edificaciones con muros de carga de tabique hueco de barro vitrificado confinados (0.81%).

En la zona sísmica IIIb (89 inmuebles) la estructuración de marcos de concreto reforzado de tres a nueve niveles le correspondió un 33.71%, seguido de las edificaciones con base en muros de mampostería confinada comprendida entre dos y seis niveles (28.09%), y finalmente el de muros de mampostería confinada con block hueco de dos niveles con un 1.12%.

La zona sísmica IIIc (16 inmuebles) tuvo un 43.75% de estructuras con muros de mampostería confinada comprendida entre uno y seis niveles, seguido de estructuración con base en muros de mampostería no confinada comprendida entre dos y cuatro niveles con un 18.75%, y el menor porcentaje se presentó para marcos de concreto reforzado de 15 niveles con un 6.25%.

La zona sísmica IIId (8 inmuebles) tuvo 62.5% de estructuras con muros de mampostería confinada con uno, dos, y seis niveles, seguido de estructuración con base en marcos de concreto reforzado de un nivel con un 12.50%, y el menor porcentaje que se presentó fue el de muros de mampostería no confinada de un nivel con un 12.50%.

3.6 Estructuración de los inmuebles de acuerdo a su clasificación y número de niveles

La clasificación de los inmuebles, número de niveles y con la estructuración determinada de los mismos se muestra en las figuras 3.68 a 3.80. Se presenta la estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes, en las figuras 3.71 a 3.73 se muestra la gráfica correspondiente a estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones, en las figuras 3.74 a 3.80 se muestra la gráfica correspondiente a estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto.

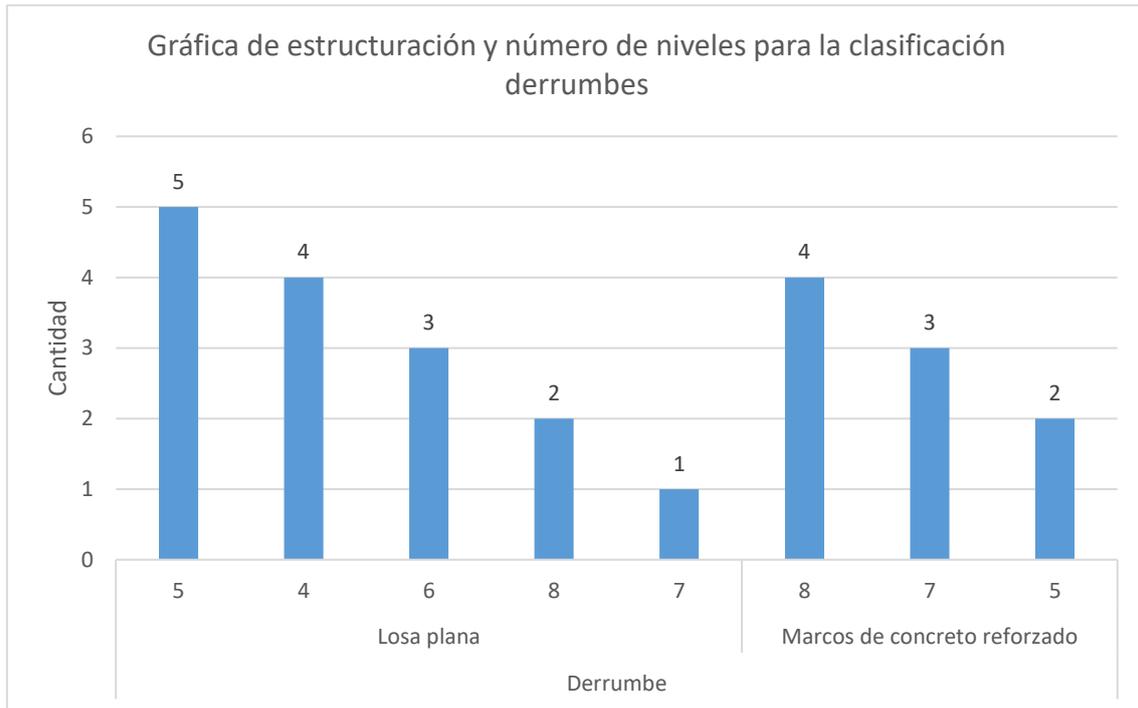


Figura 3.106. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación derrumbes.

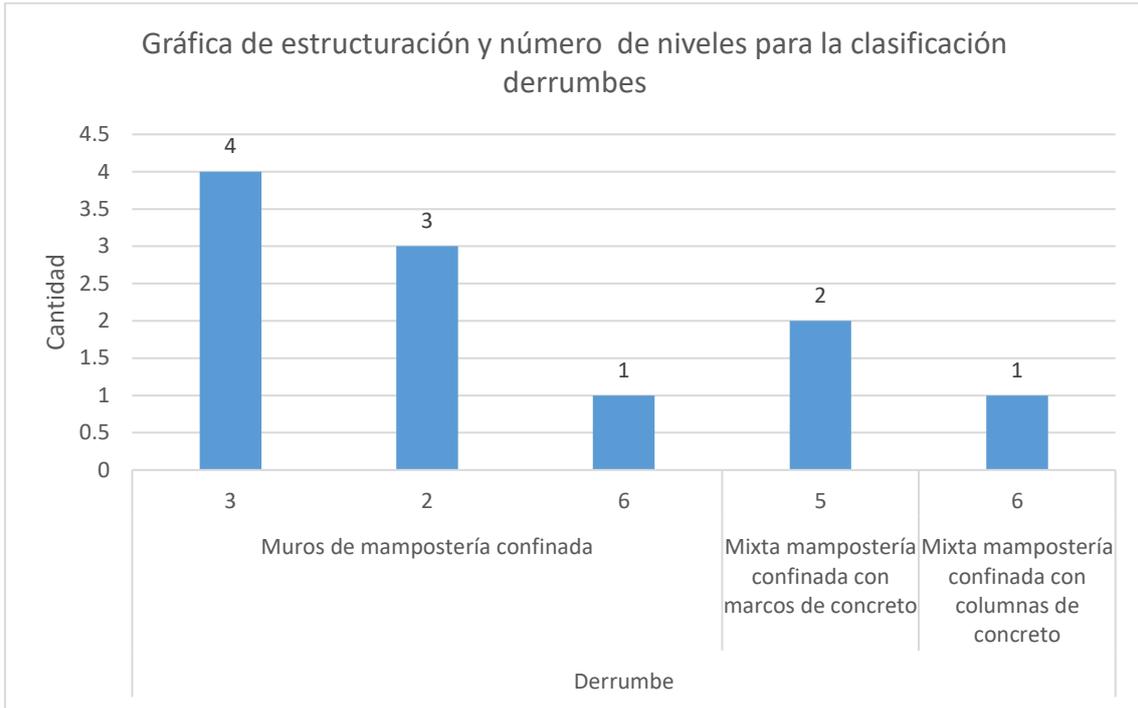


Figura 3.107. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación derrumbes.

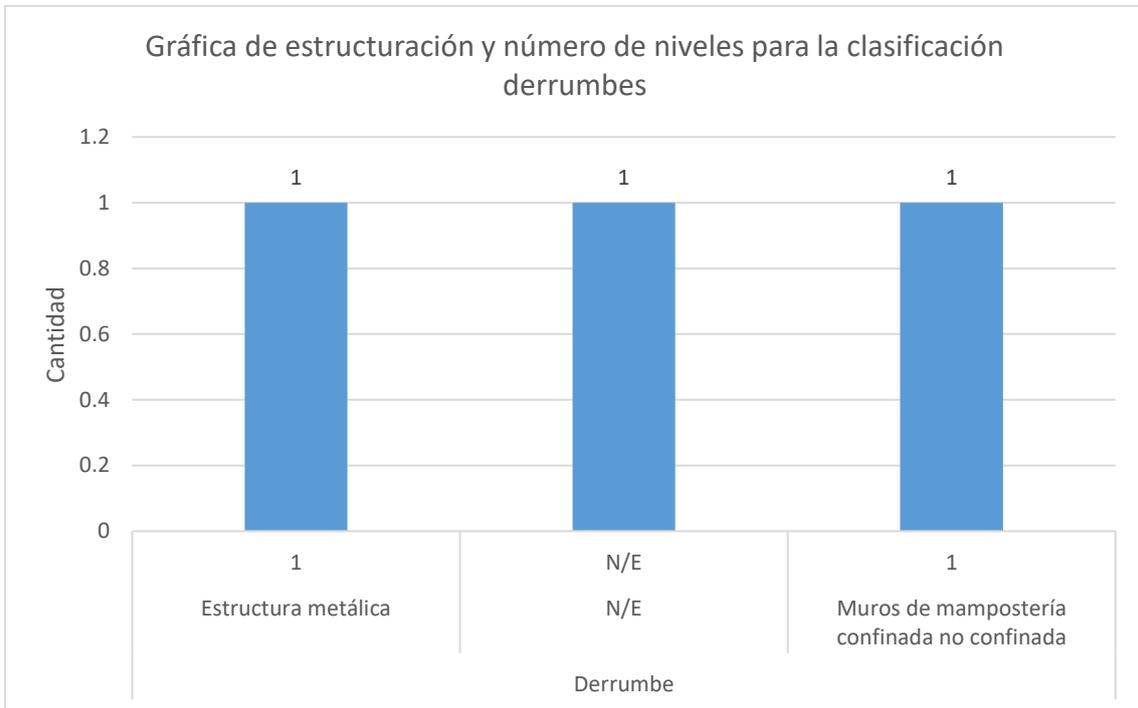


Figura 3.108. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación derrumbes.

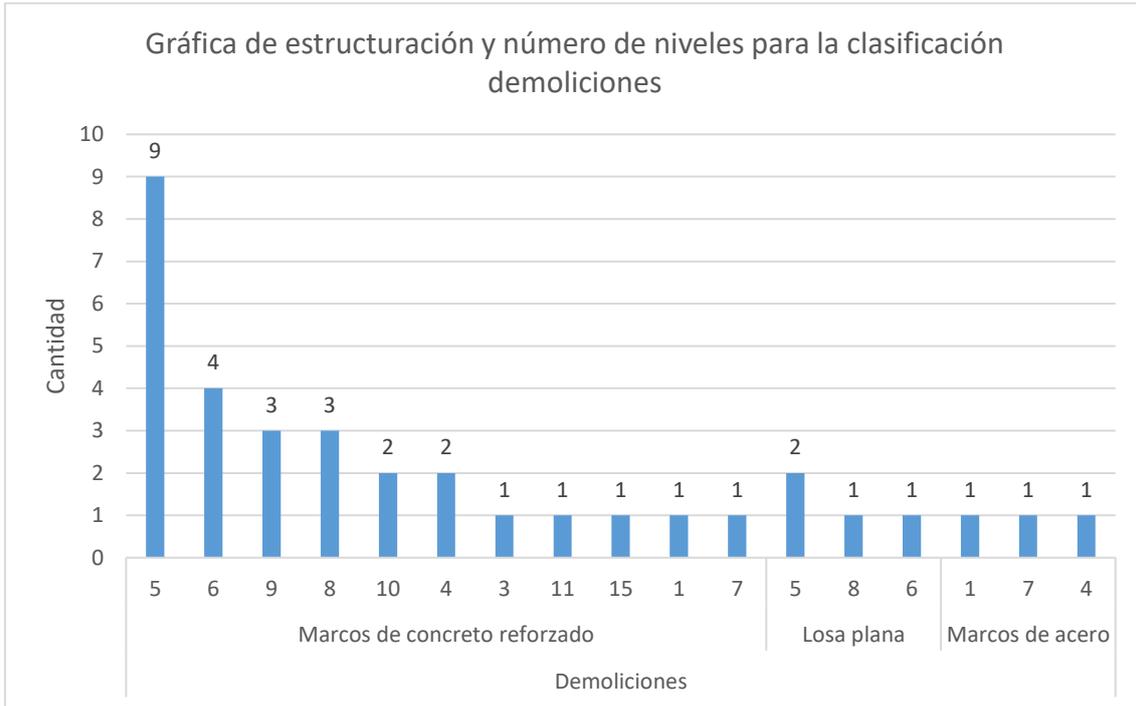


Figura 3.109. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación demoliciones.

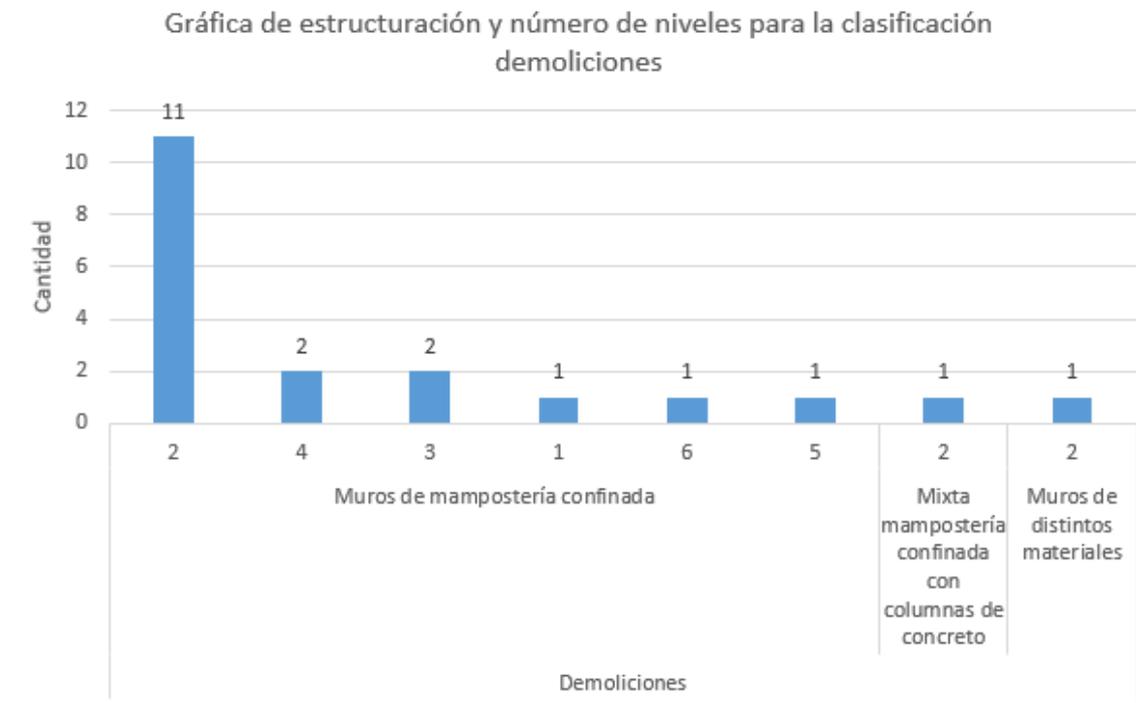


Figura 3.110. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación demoliciones.

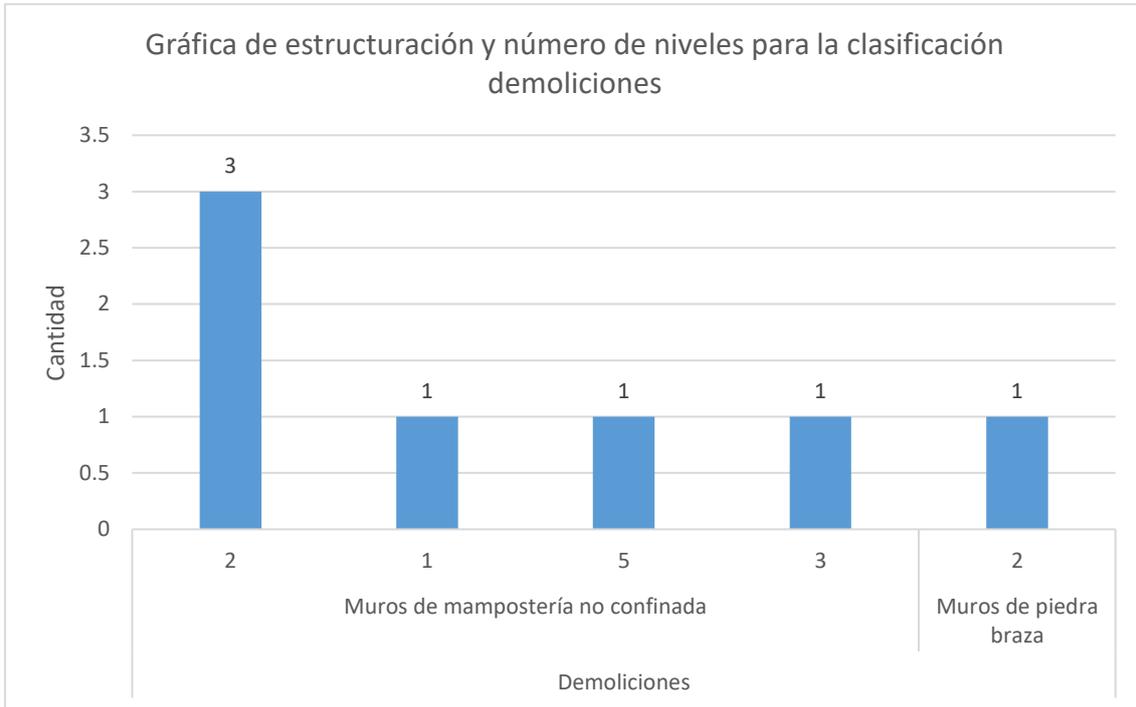


Figura 3.111. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación demoliciones.

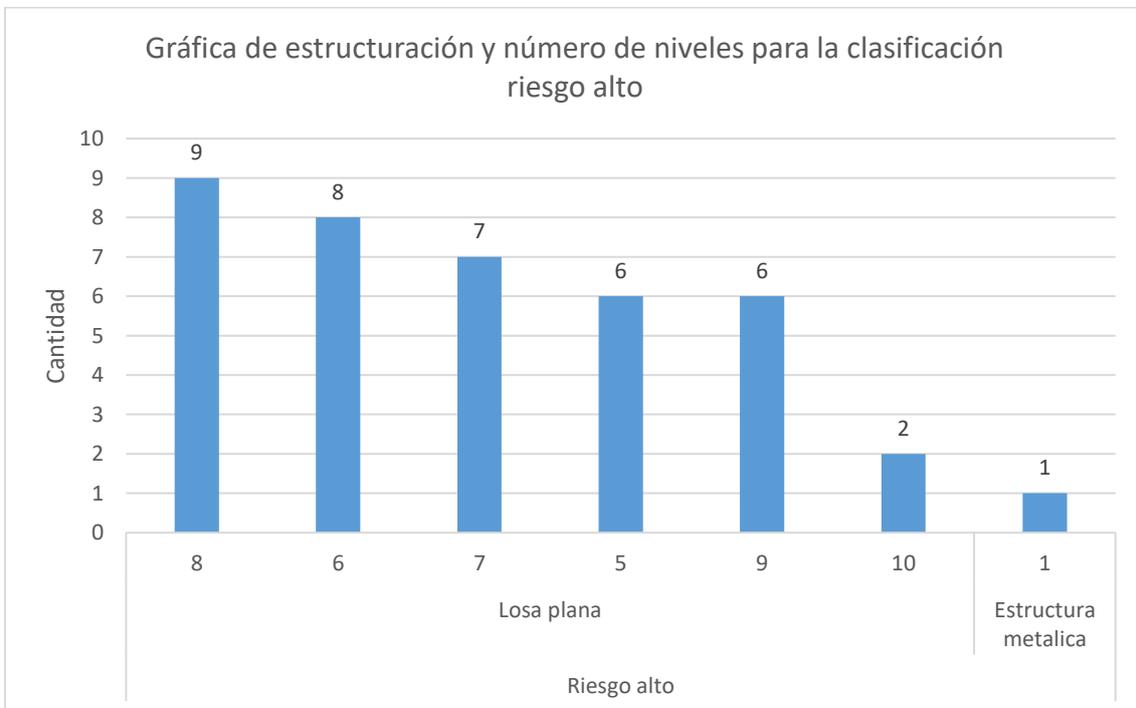


Figura 3.112. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto.

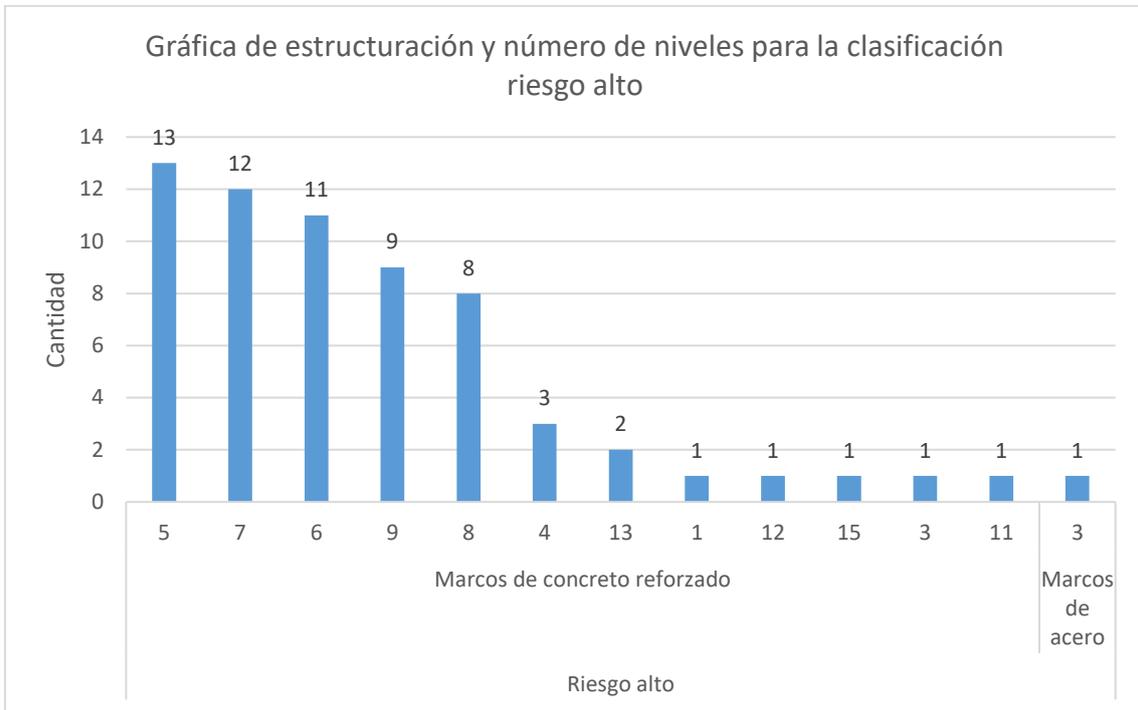


Figura 3.113. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto.

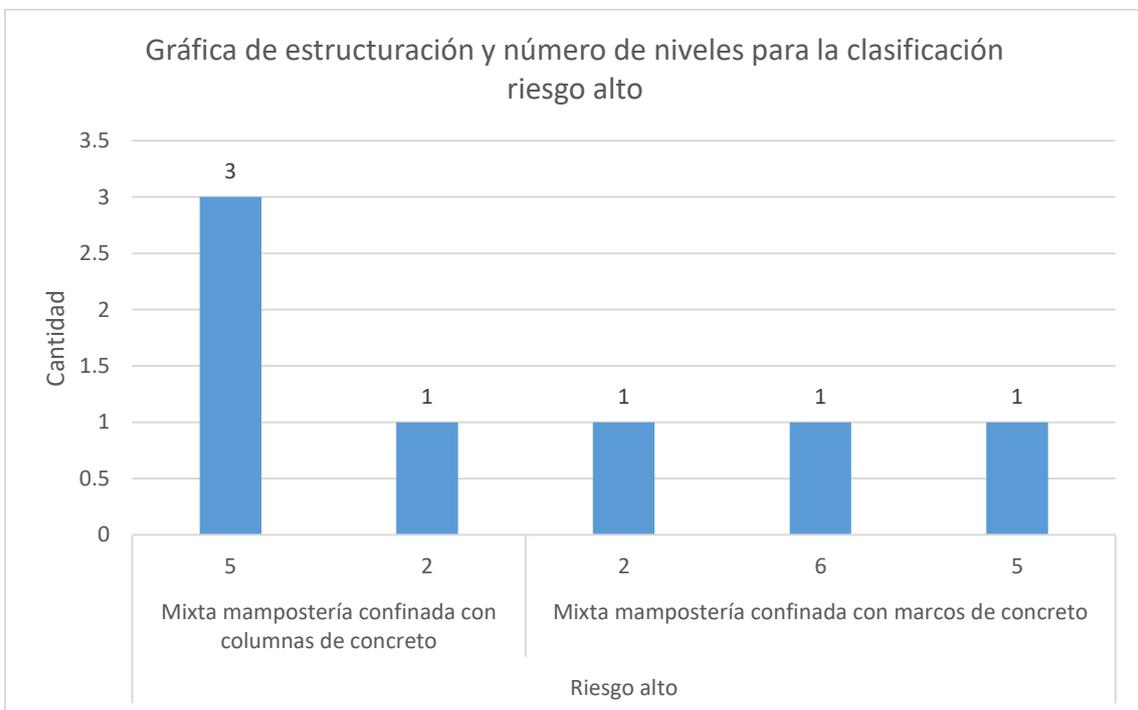


Figura 3.114. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto.

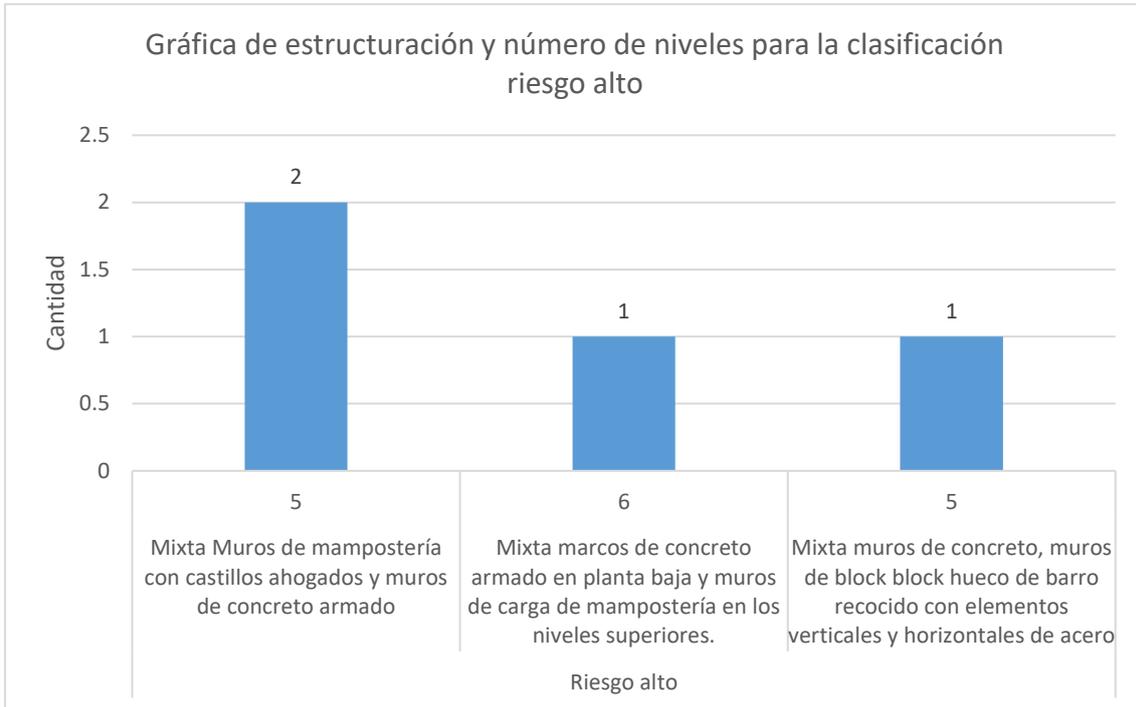


Figura 3.115. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto.

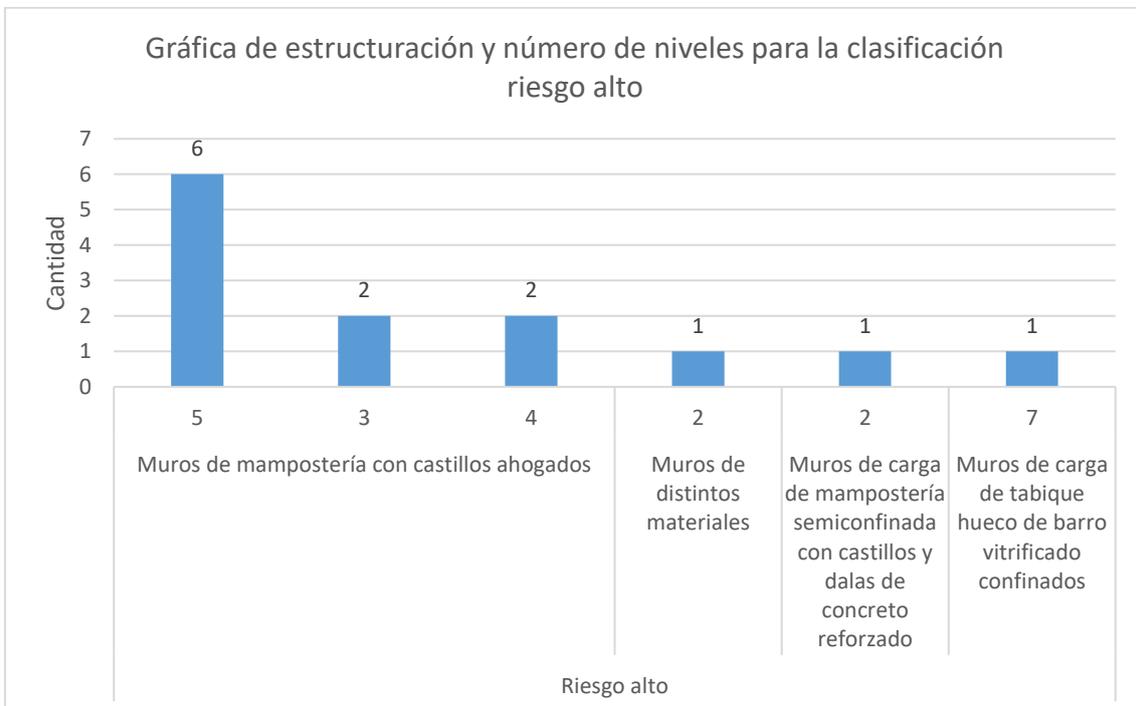


Figura 3.116. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto.

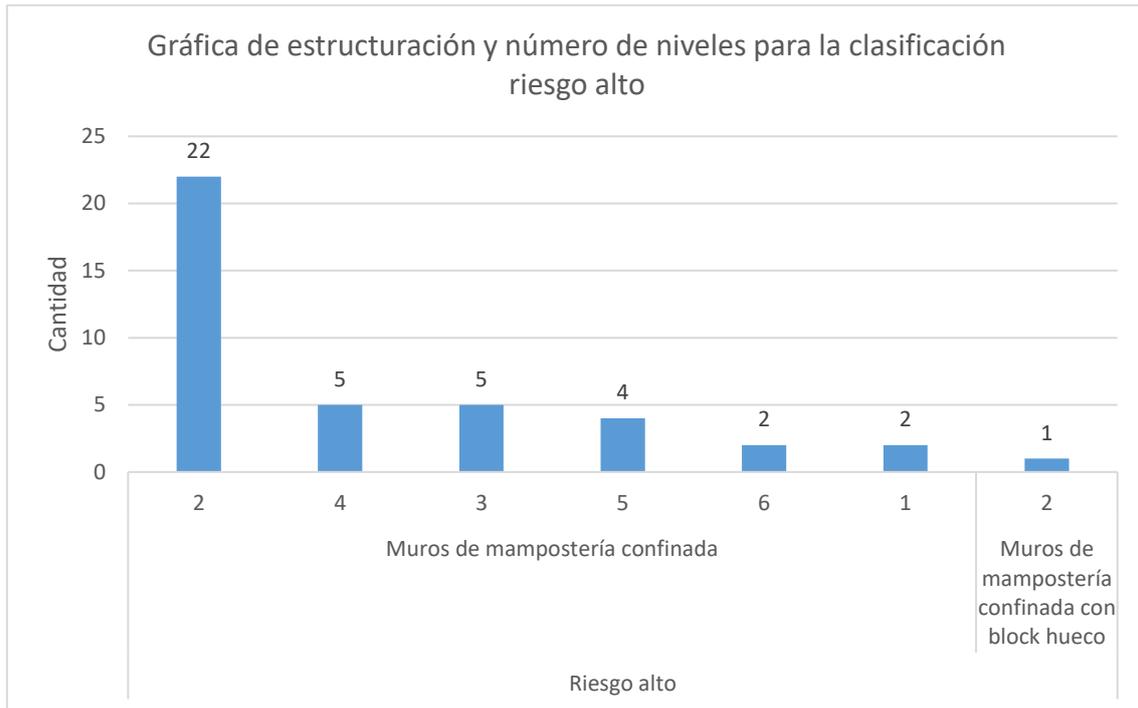


Figura 3.117. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto.

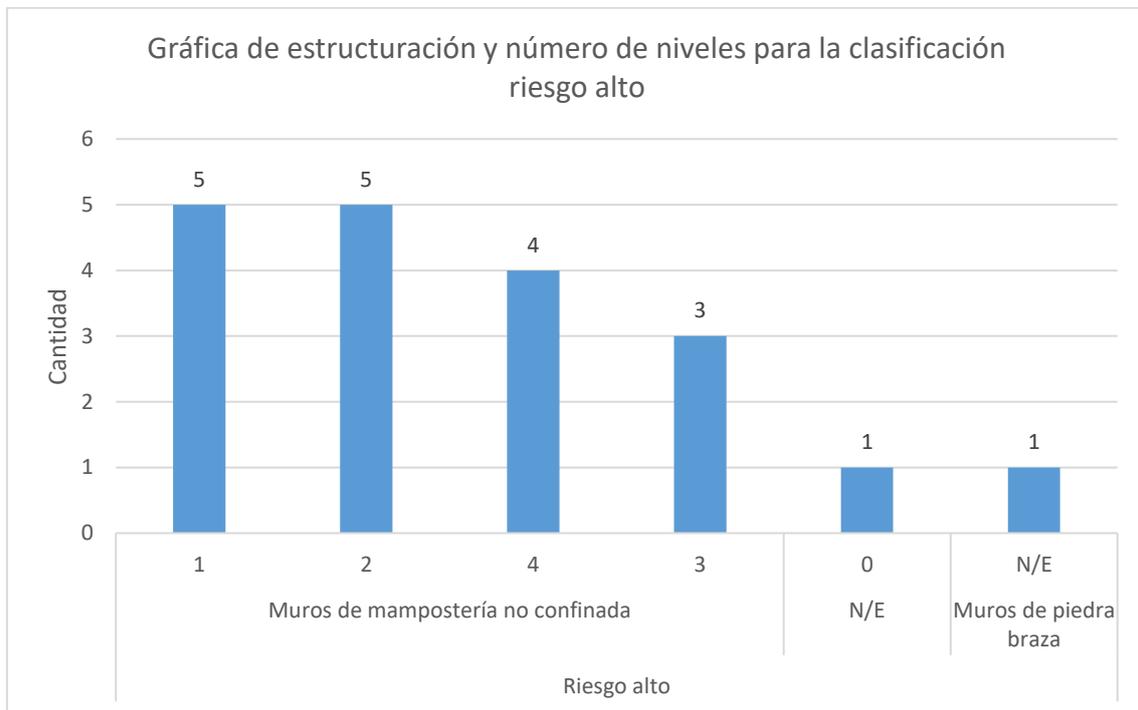


Figura 3.118. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación riesgo alto.



En la clasificación de derrumbes (38 inmuebles), de acuerdo a su estructuración y número de niveles, el mayor porcentaje se presenta para la estructuración con base en losa plana comprendida entre cuatro y ocho niveles (39.47%), el segundo mayor porcentaje es la estructuración de marcos de concreto reforzado de cinco, siete, y ocho niveles (23.68%), seguido de la estructuración de muros de mampostería confinada de dos, tres, y seis niveles (21.05%). El menor porcentaje es para la estructuración mixta de mampostería confinada con columnas de concreto de seis niveles con un 2.63%.

Para la clasificación de demoliciones (62 inmuebles), el mayor porcentaje corresponde a estructuras de marcos de concreto reforzado entre uno y 15 niveles (45.16%), el segundo mayor porcentaje es para muros de mampostería confinada comprendida entre uno y seis niveles (29.03%), el tercer mayor porcentaje corresponde a muros de mampostería no confinada de uno, dos, tres, y cinco niveles (9.68%). Finalmente, el menor porcentaje es para estructuras mixtas de mampostería confinada con columnas de concreto (1.61%).

En la clasificación de riesgo alto (187 inmuebles), el 29.95% corresponde a marcos de concreto reforzado de entre cuatro y nueve niveles, seguido de edificios de muros de mampostería confinada comprendida entre uno y seis niveles (21.39%). El tercer mayor porcentaje corresponde a estructuras de losas planas de entre cinco y diez niveles (20.32%), y finalmente el menor porcentaje es para marcos de acero de tres niveles con un 0.53%.

3.6.1 Estructuración de los inmuebles de acuerdo a su clasificación, número de niveles y zonificación sísmica

En esta sección se clasificó de acuerdo con la estructuración, zonificación sísmica y número de niveles. En la figura 3.81 se muestra la gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica II, en las figuras 3.82 a 3.86 se muestra la gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa, en las figuras 3.87 a 3.88 se muestra la gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIb y en la figura 3.89 se muestra la gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIc.

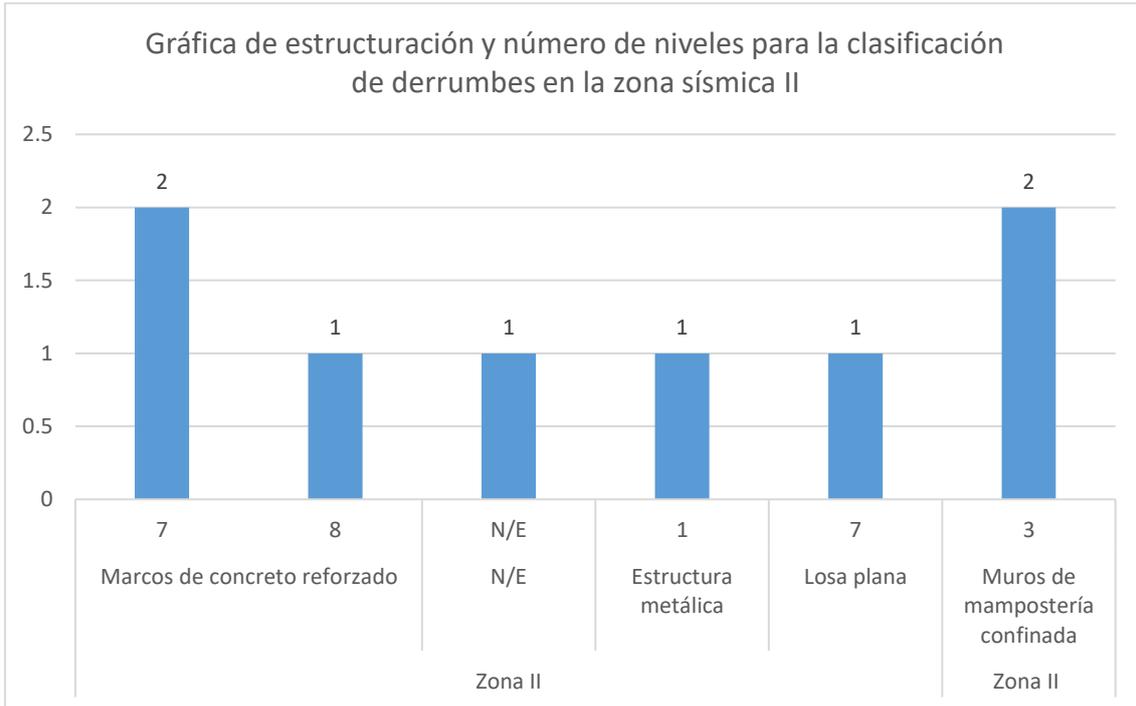


Figura 3.119. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica II.

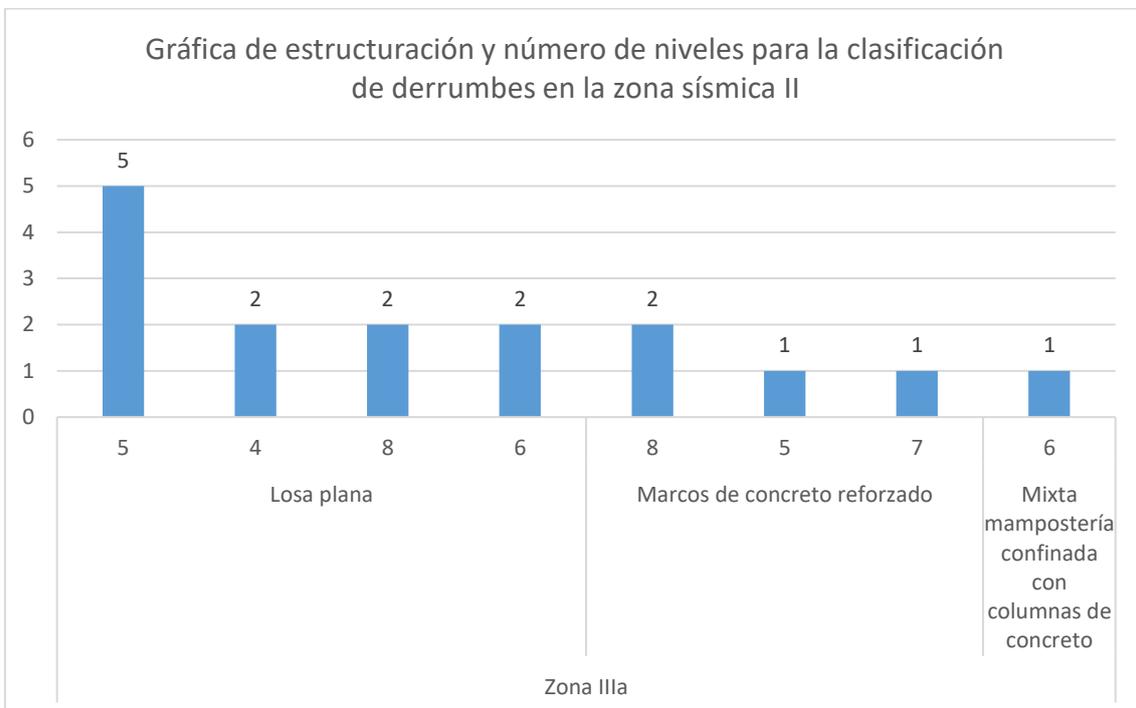


Figura 3.120. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.

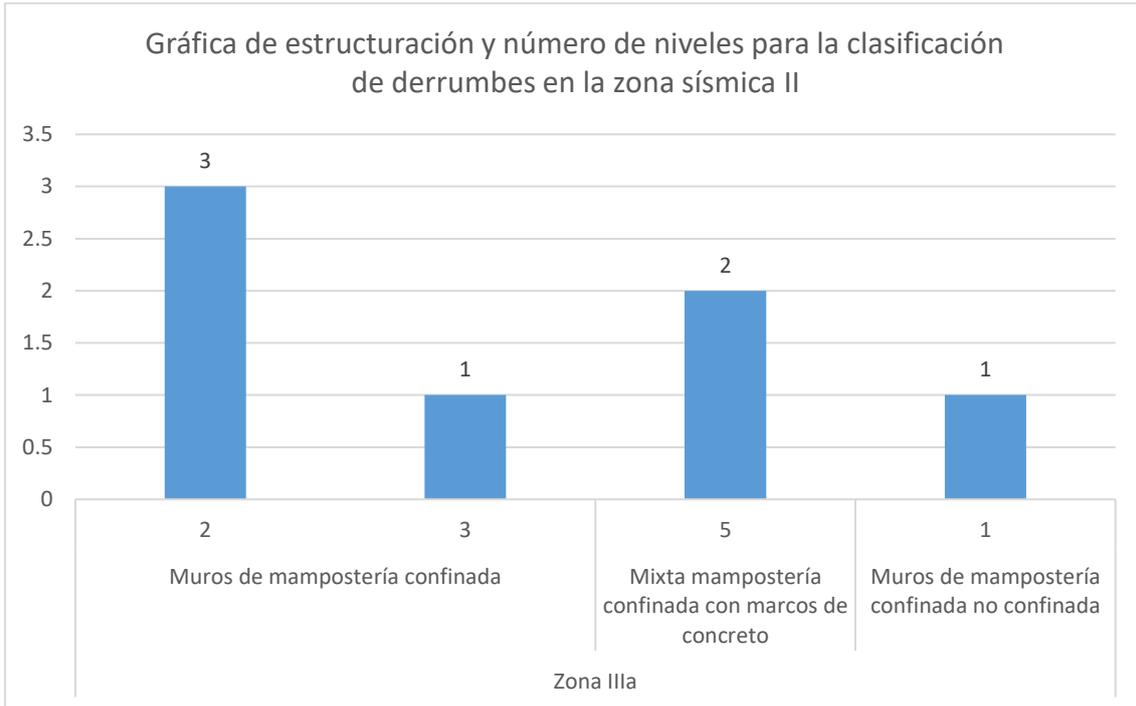


Figura 3.121. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.

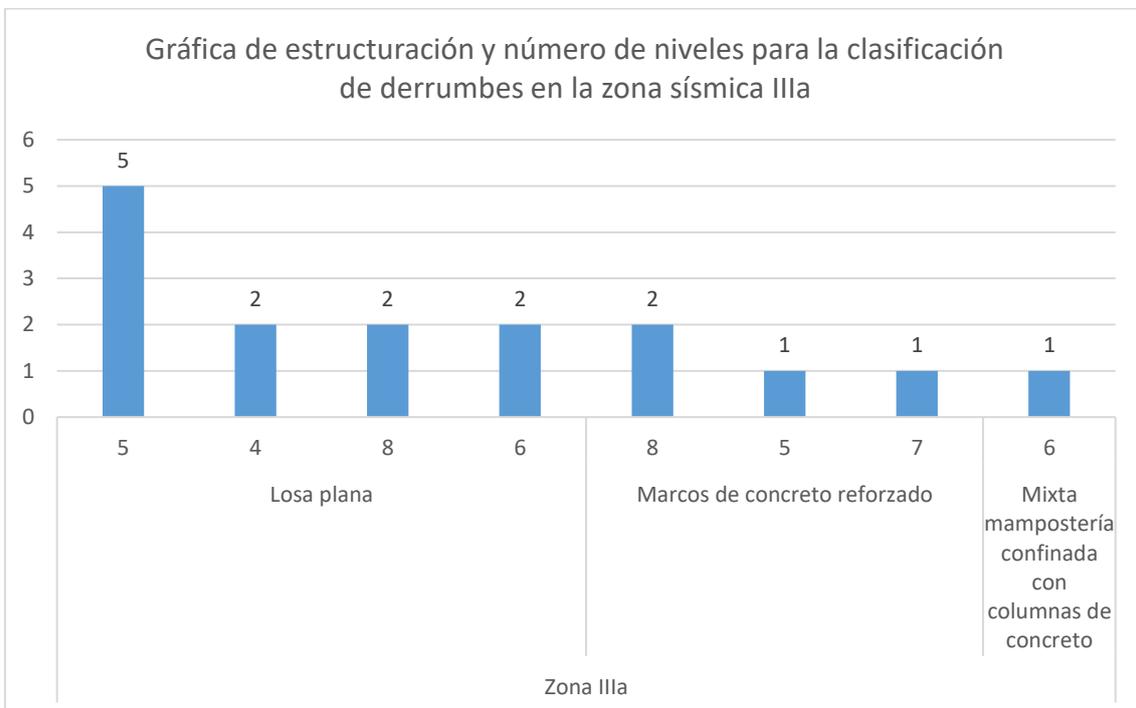


Figura 3.122. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.

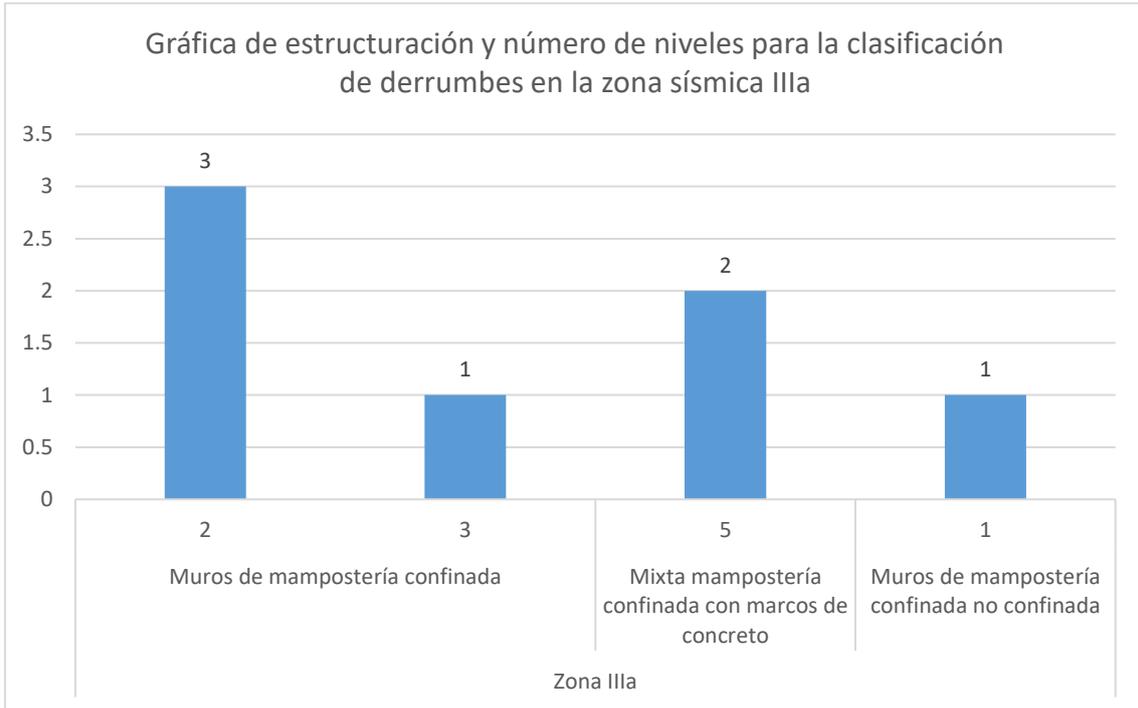


Figura 3.123. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.

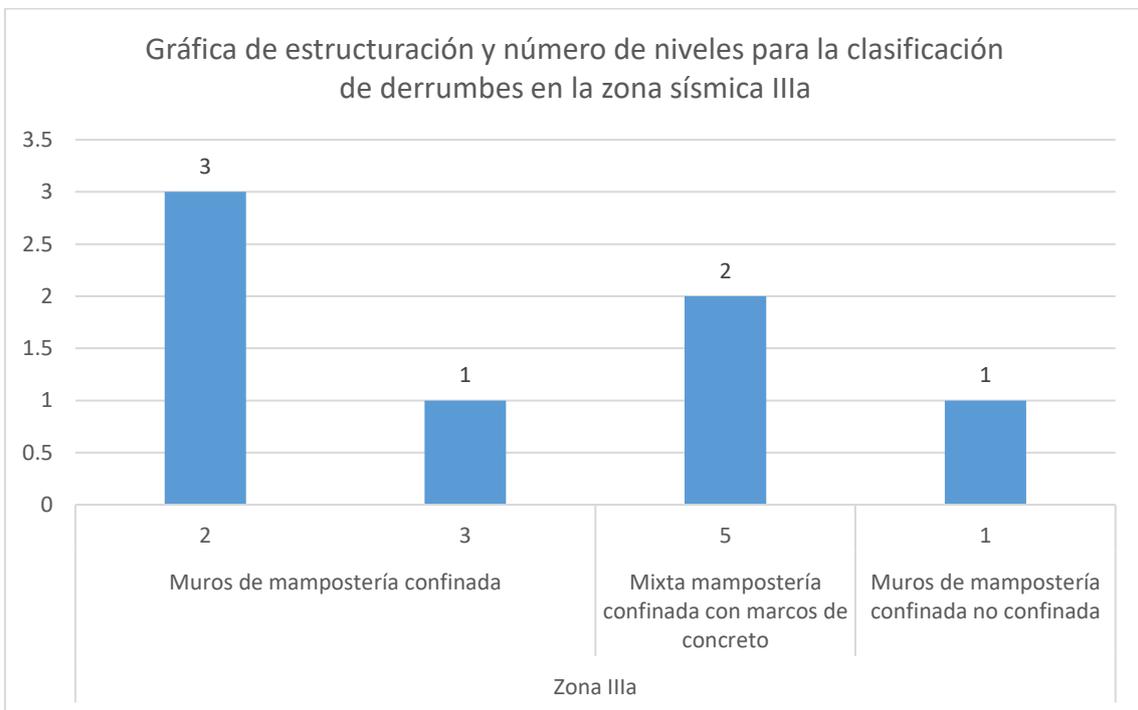


Figura 3.124. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.

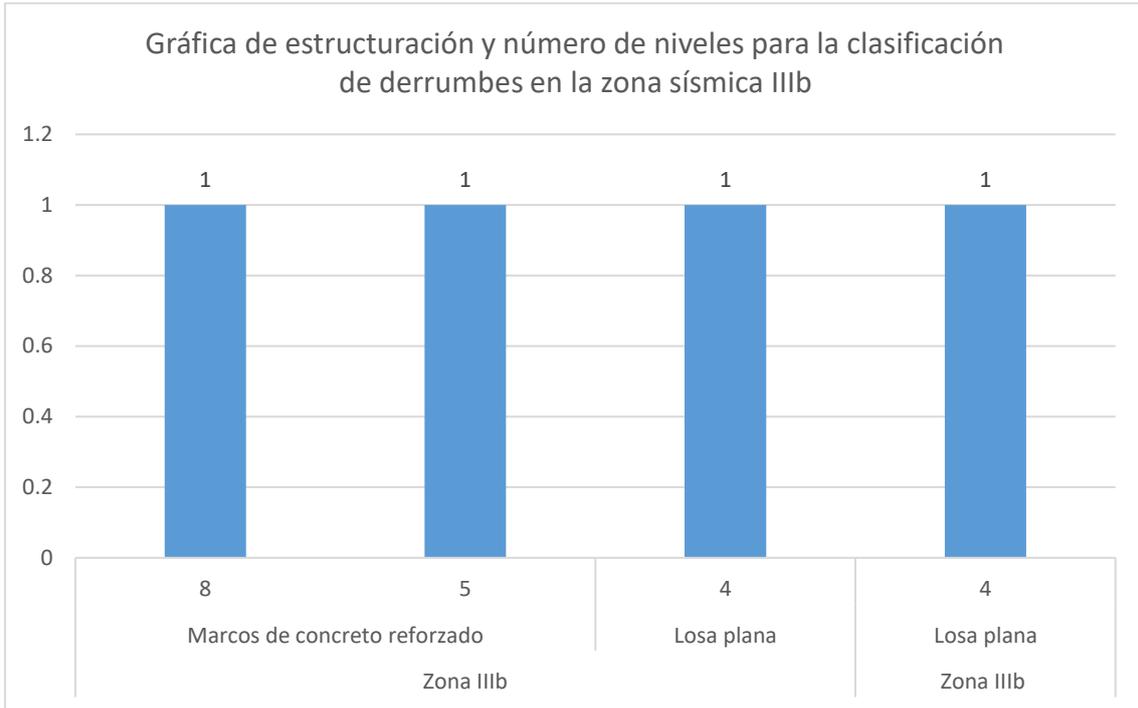


Figura 3.125. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIb.

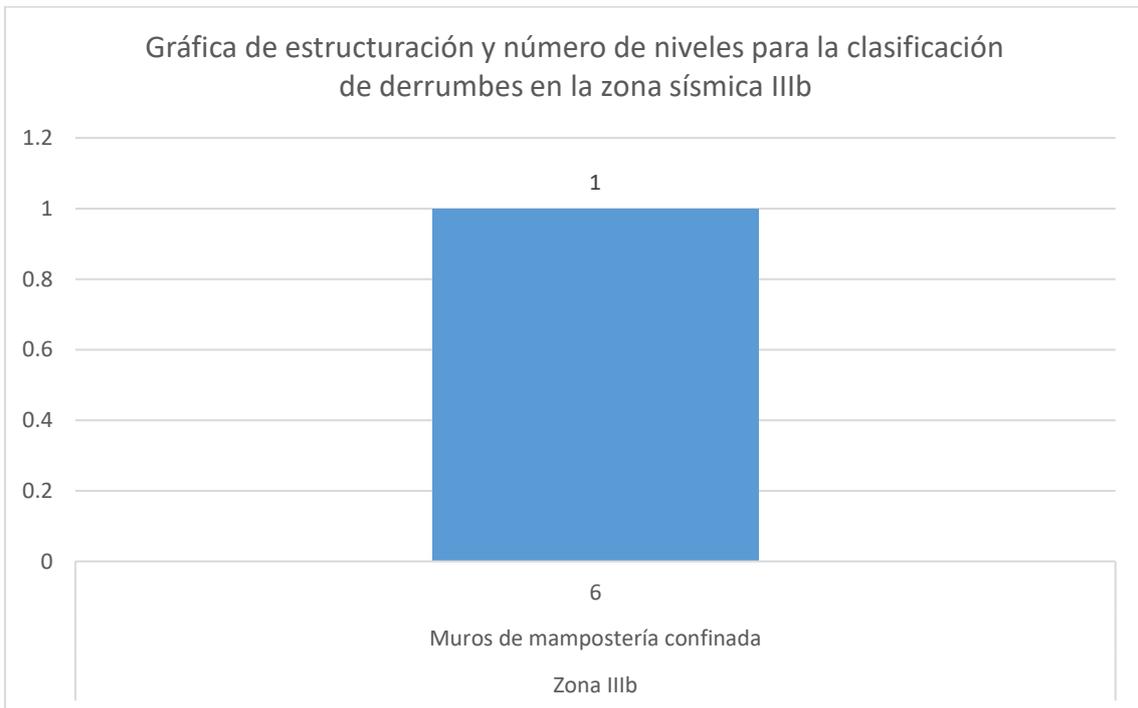


Figura 3.126. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIb.

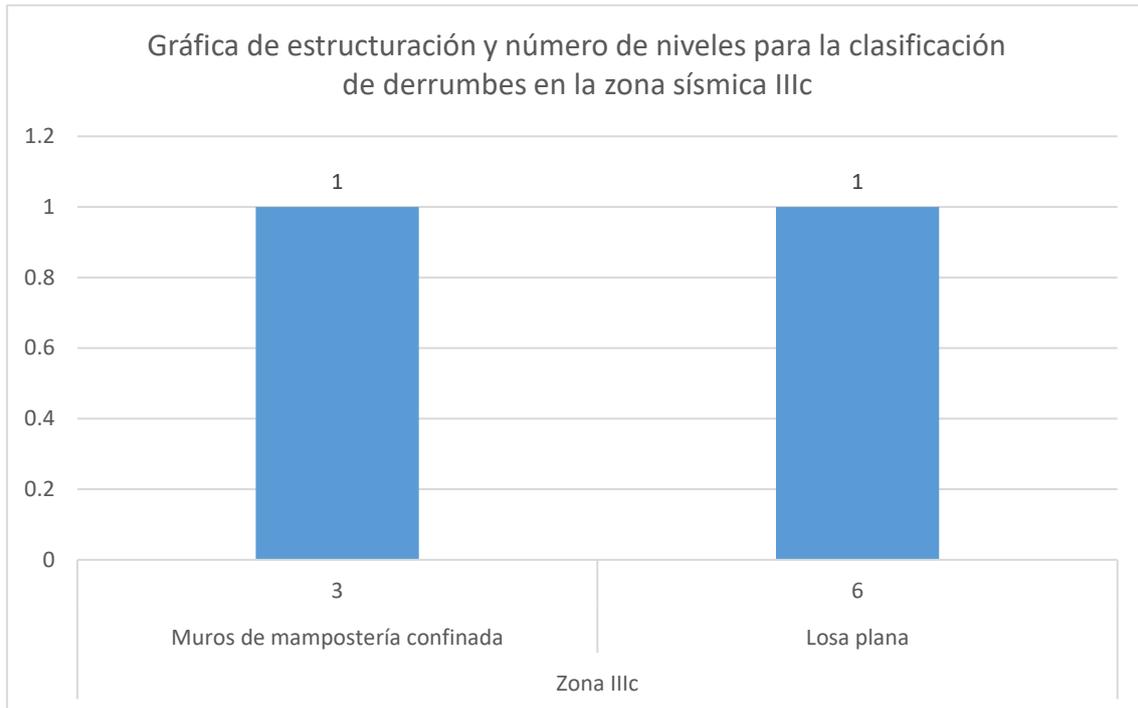


Figura 3.127. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIc.

Las figuras 3.90 a 3.91 muestran la estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica II. Las figuras 3.92 a 3.94 para zona sísmica IIIa, las figuras 3.95 a 3.97 para la zona sísmica IIIb y la figura 3.98 para la zona sísmica IIIc.

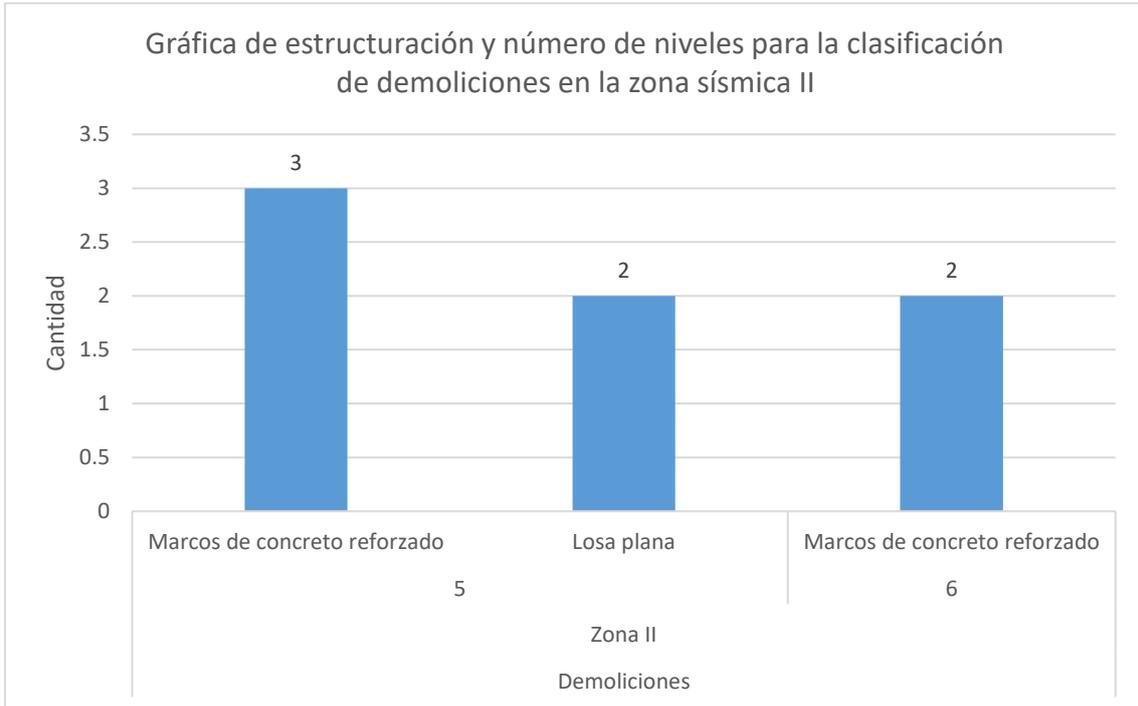


Figura 3.128. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica II.

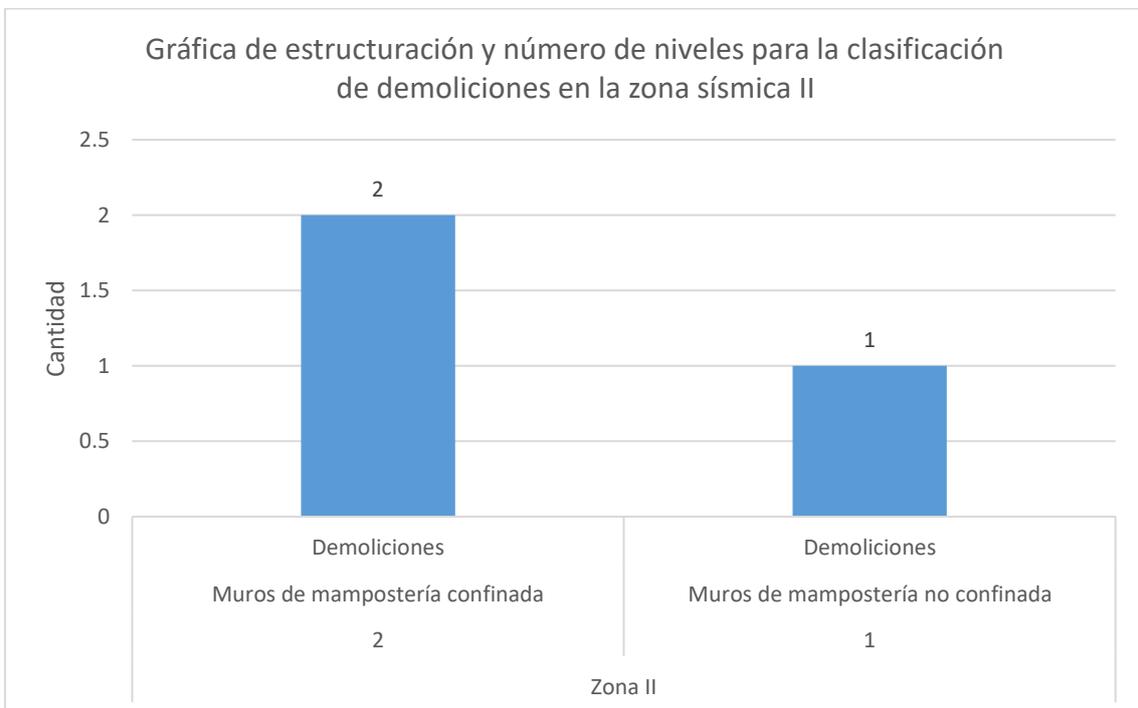


Figura 3.129. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica II.

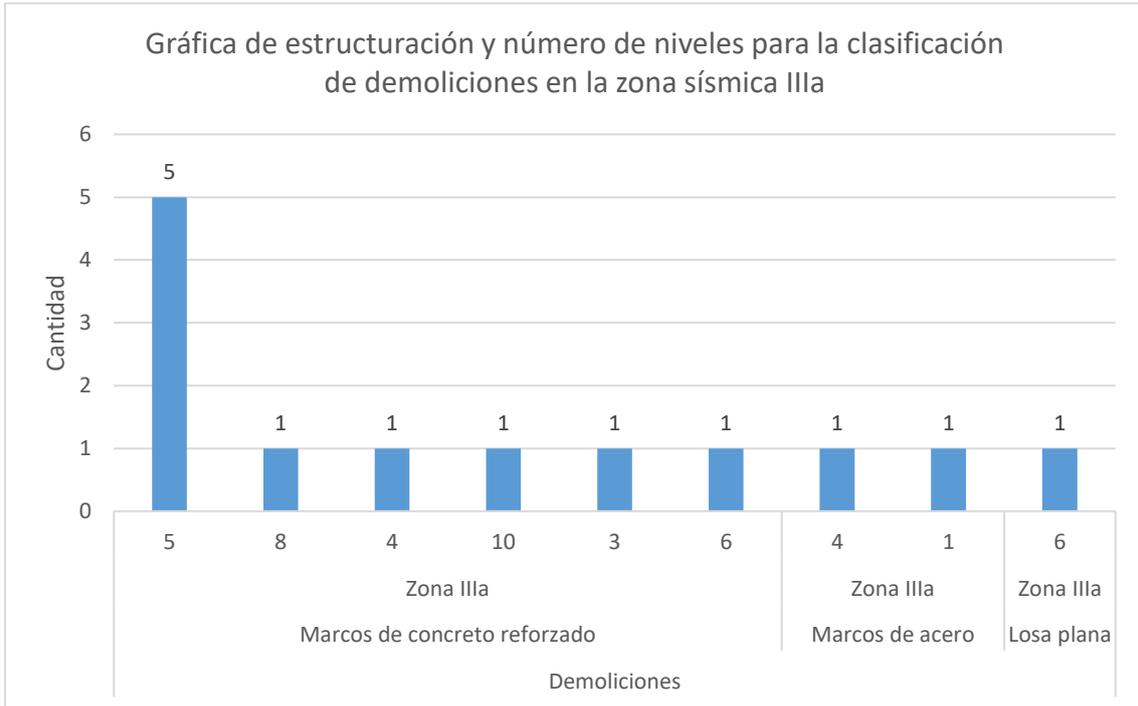


Figura 3.130. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIa.

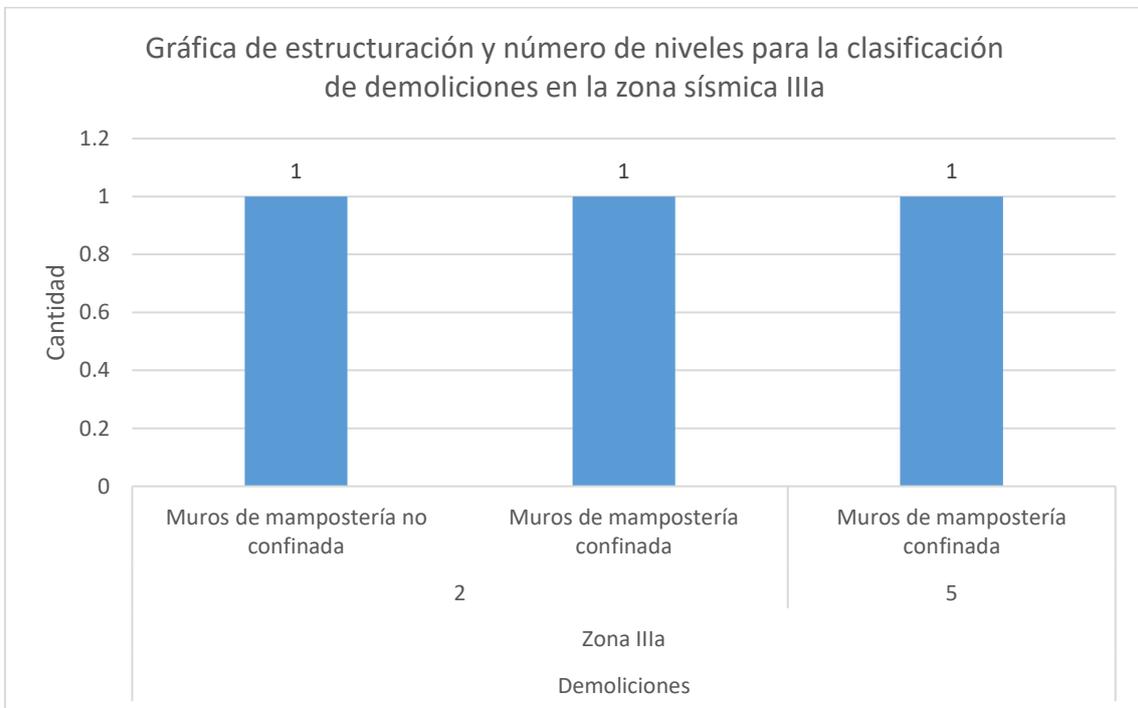


Figura 3.131. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIa.

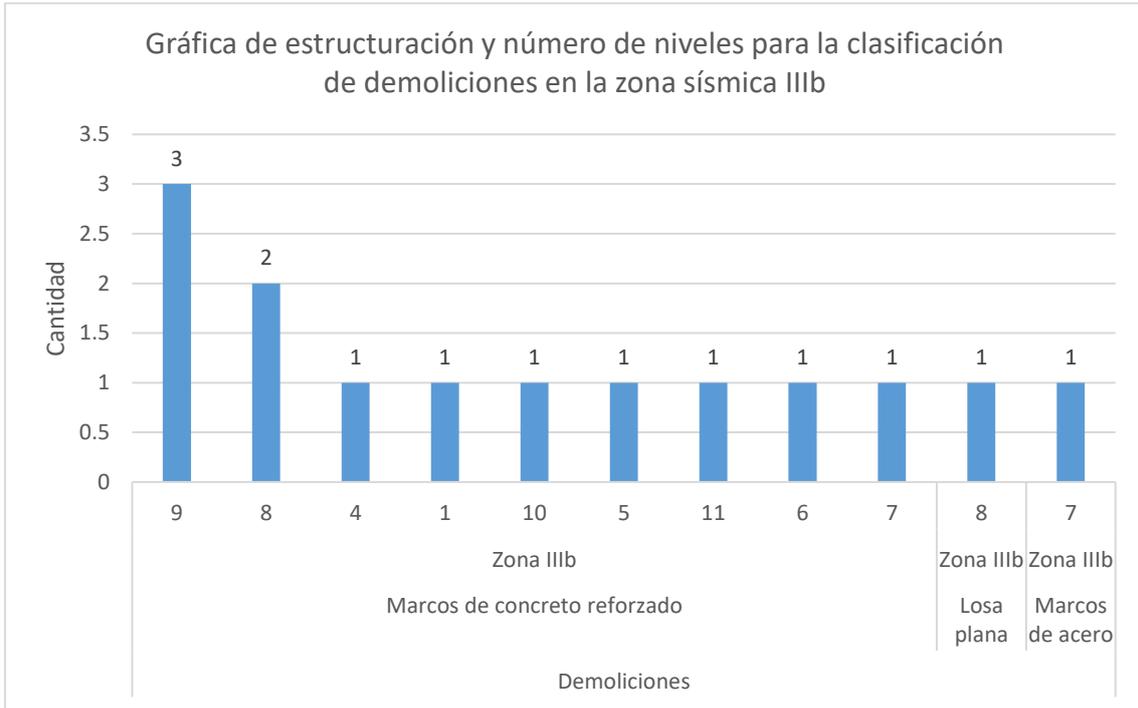


Figura 3.132. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIa.

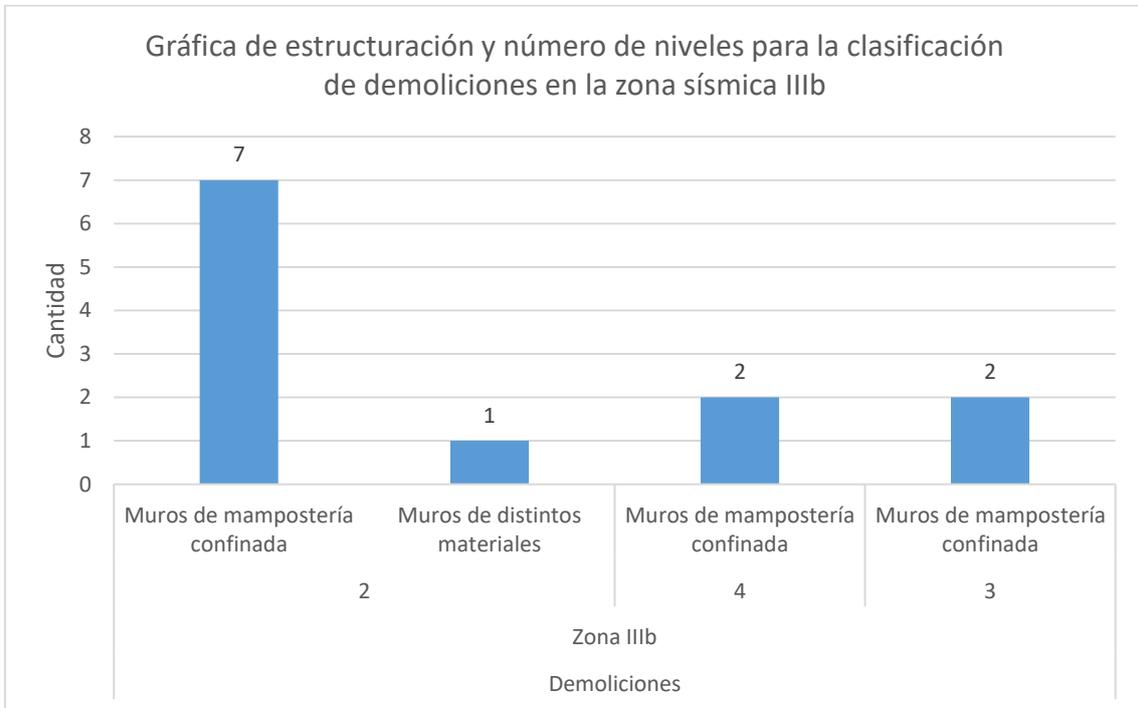


Figura 3.133. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.

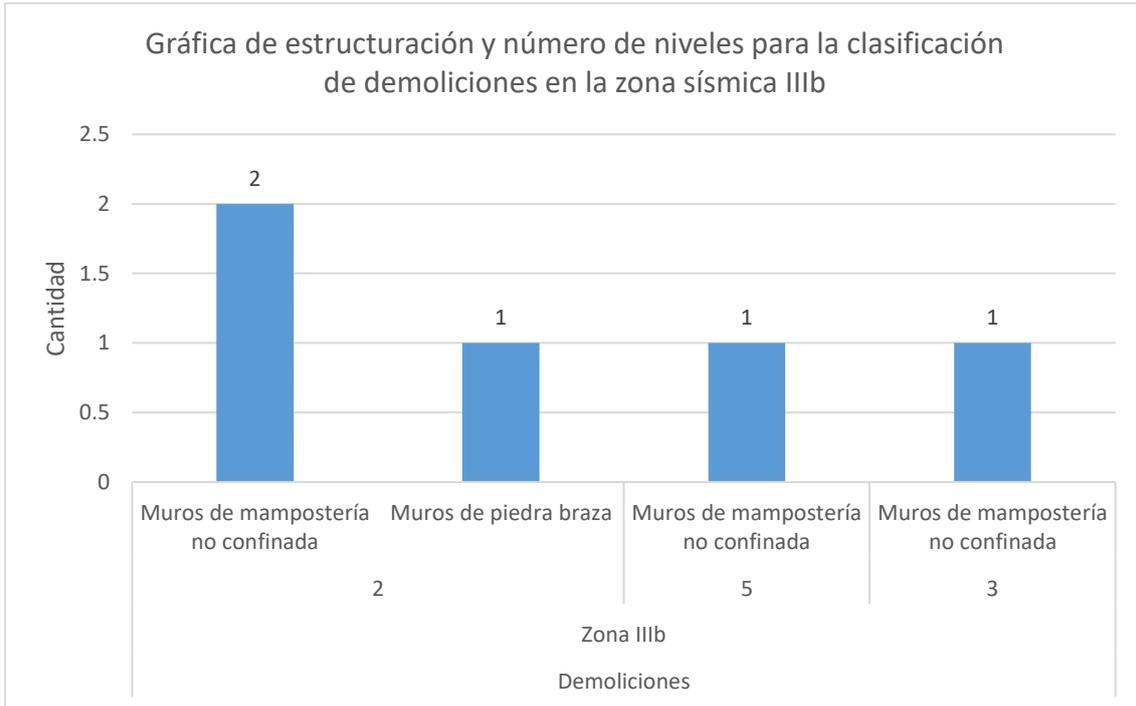


Figura 3.134. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.

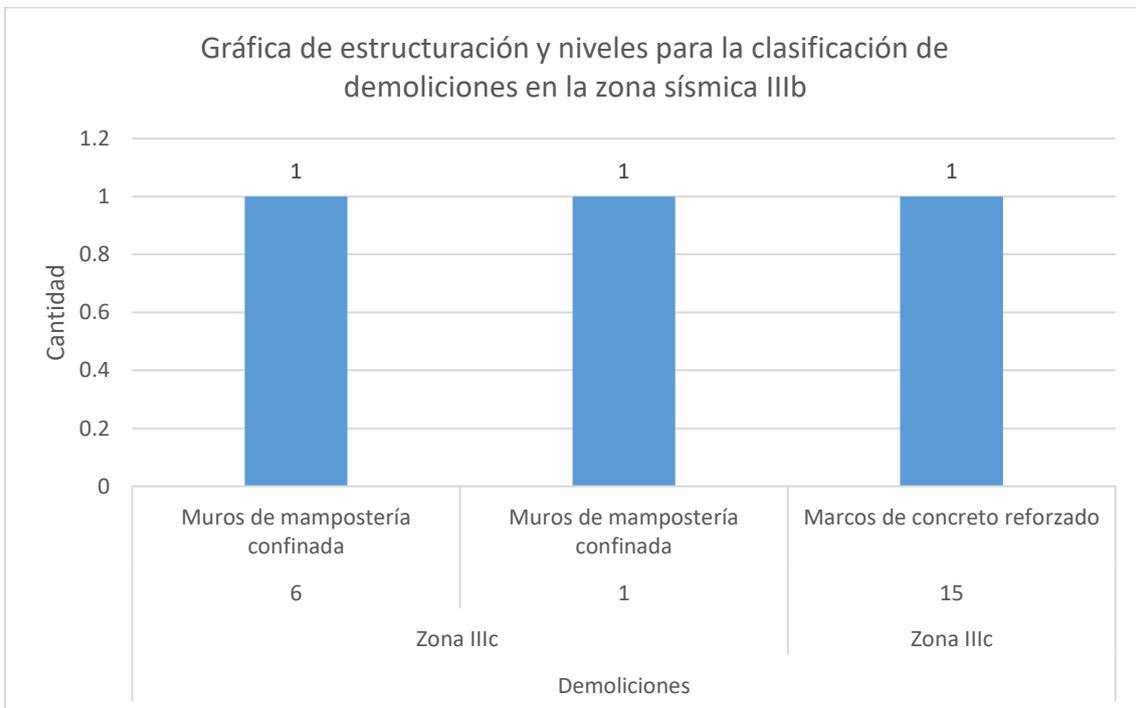


Figura 3.135. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.

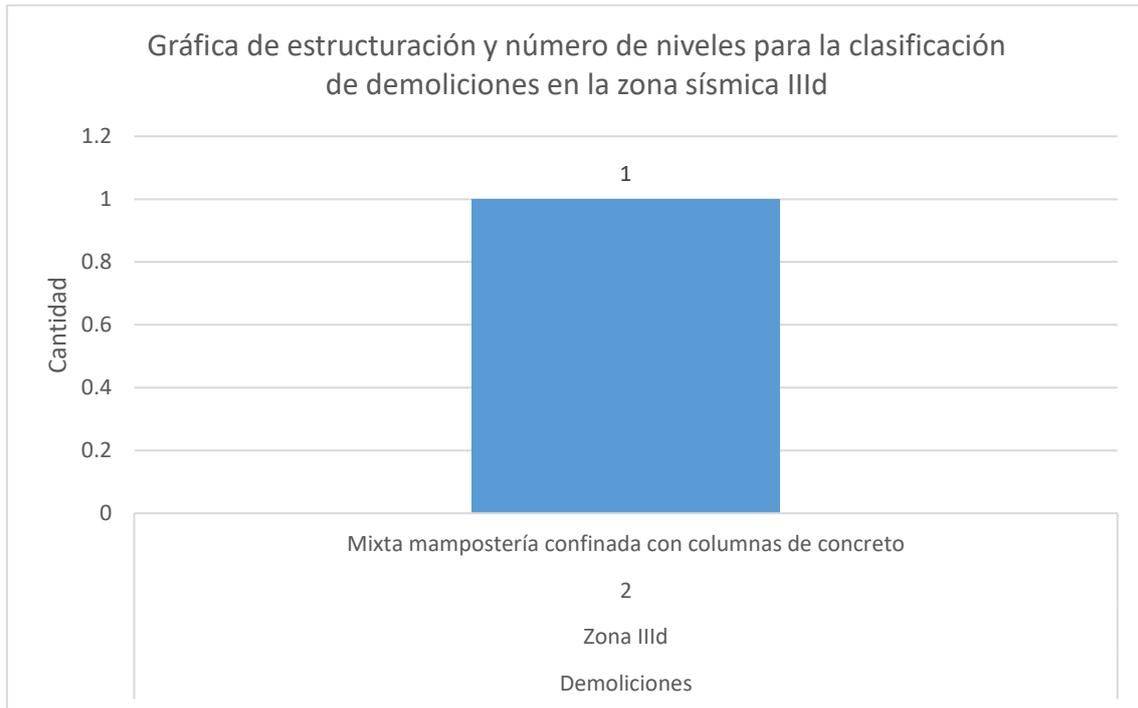


Figura 3.136. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica III d.

La figura 3.99 muestra la estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica I. Las figuras 3.100 a 3.103 para la zona sísmica II, las figuras 3.104 a 3.108 para la zona sísmica IIIa, las figuras 3.109 a 3.110 para la zona sísmica IIIb y la figura 3.111 para la zona sísmica III d.

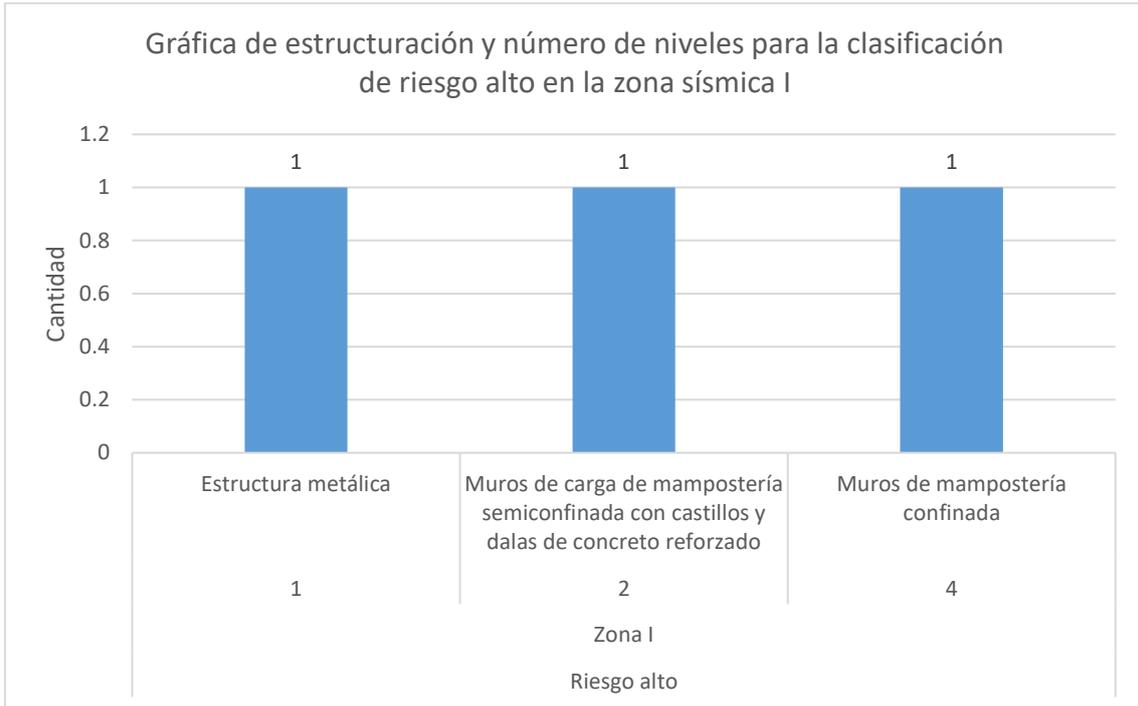


Figura 3.137. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica I.

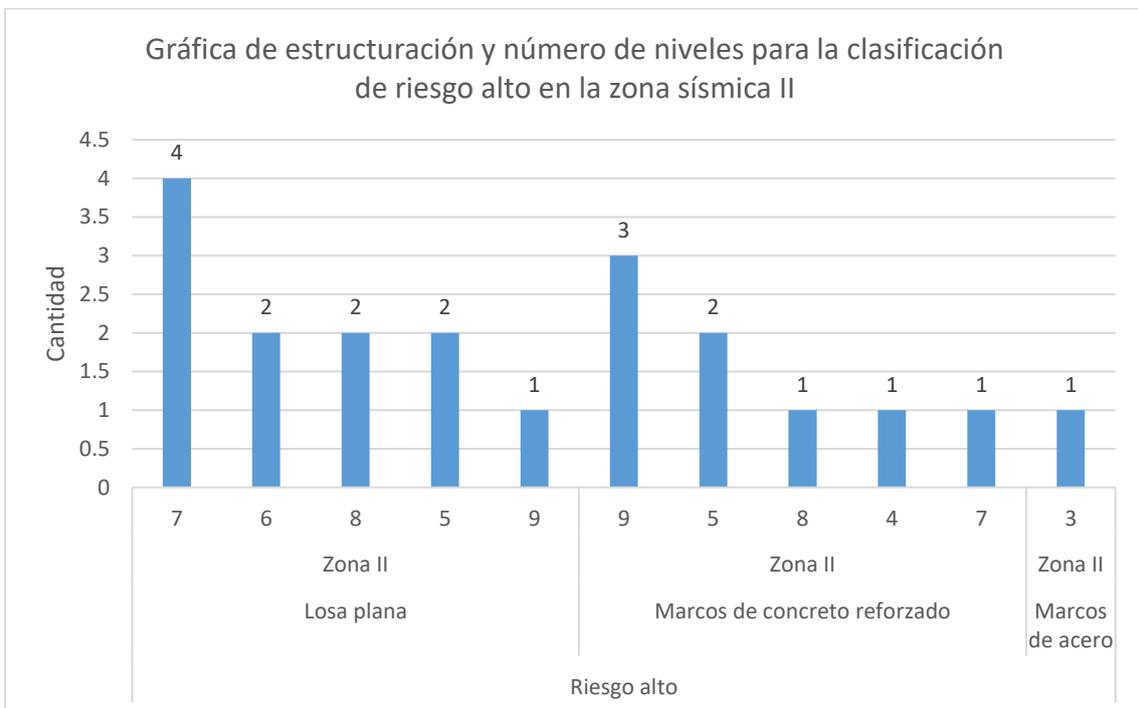


Figura 3.138. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.

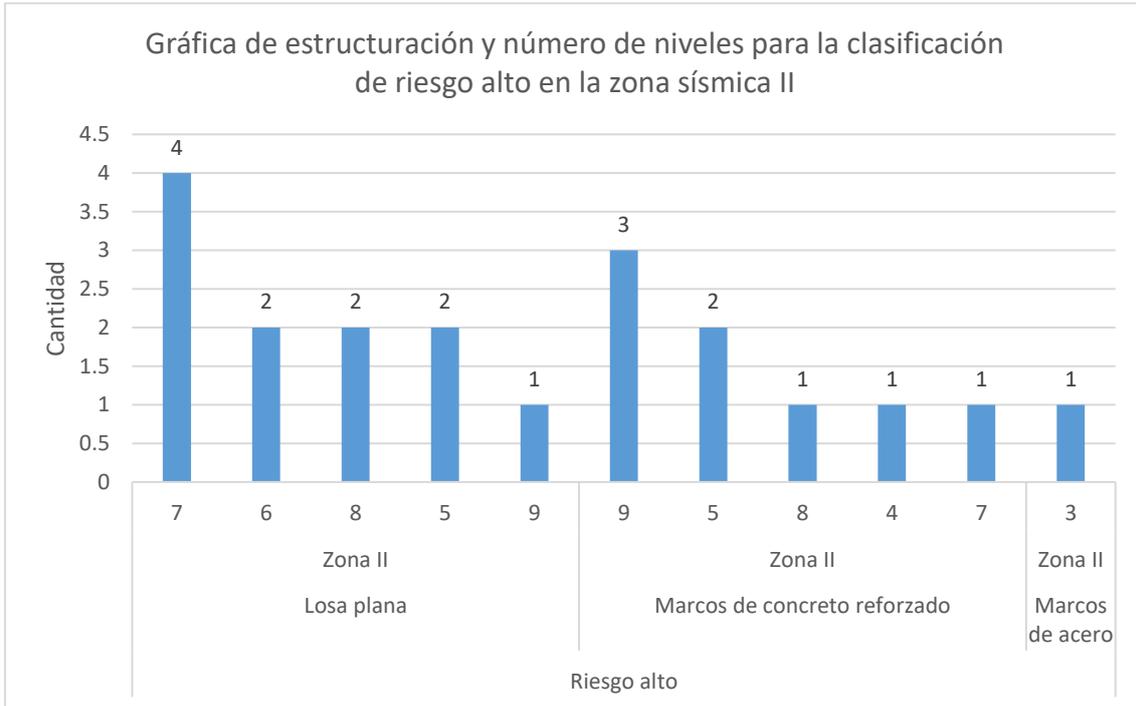


Figura 3.139. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.

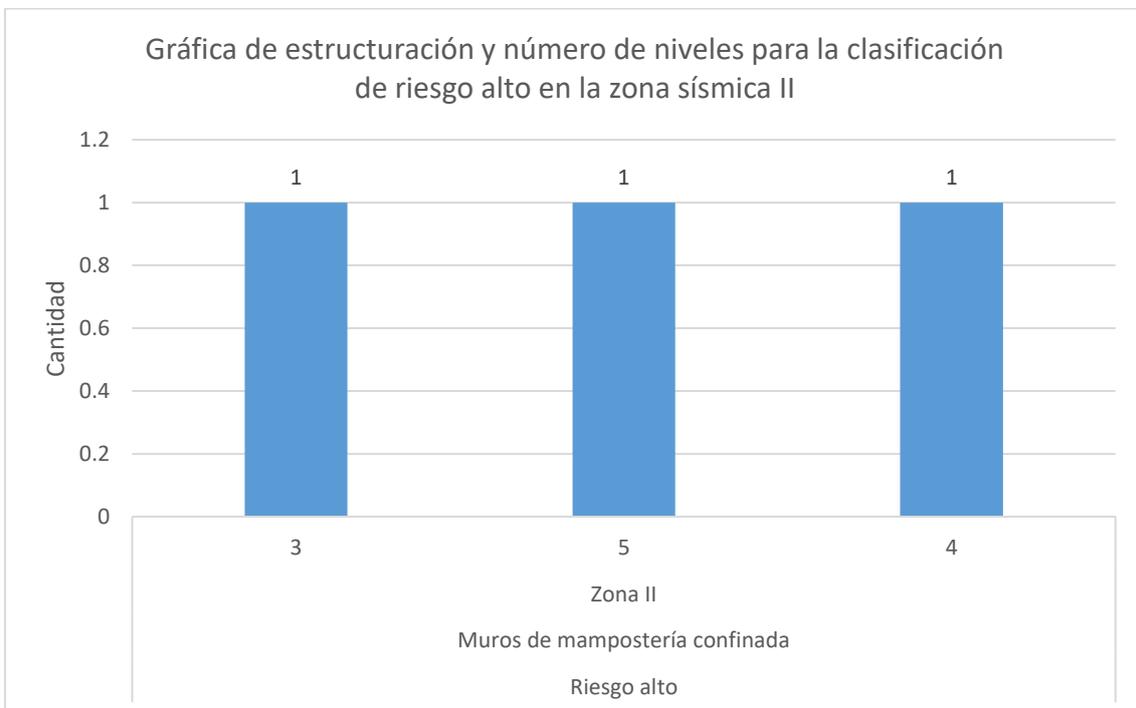


Figura 3.140. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.

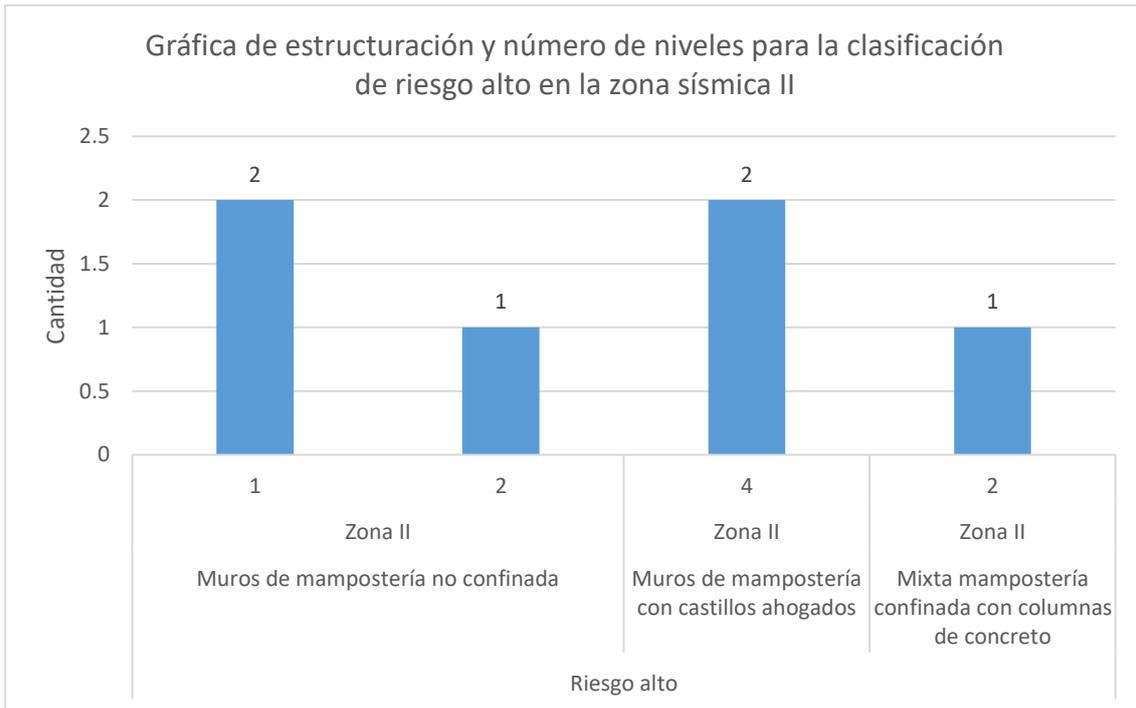


Figura 3.141. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II.

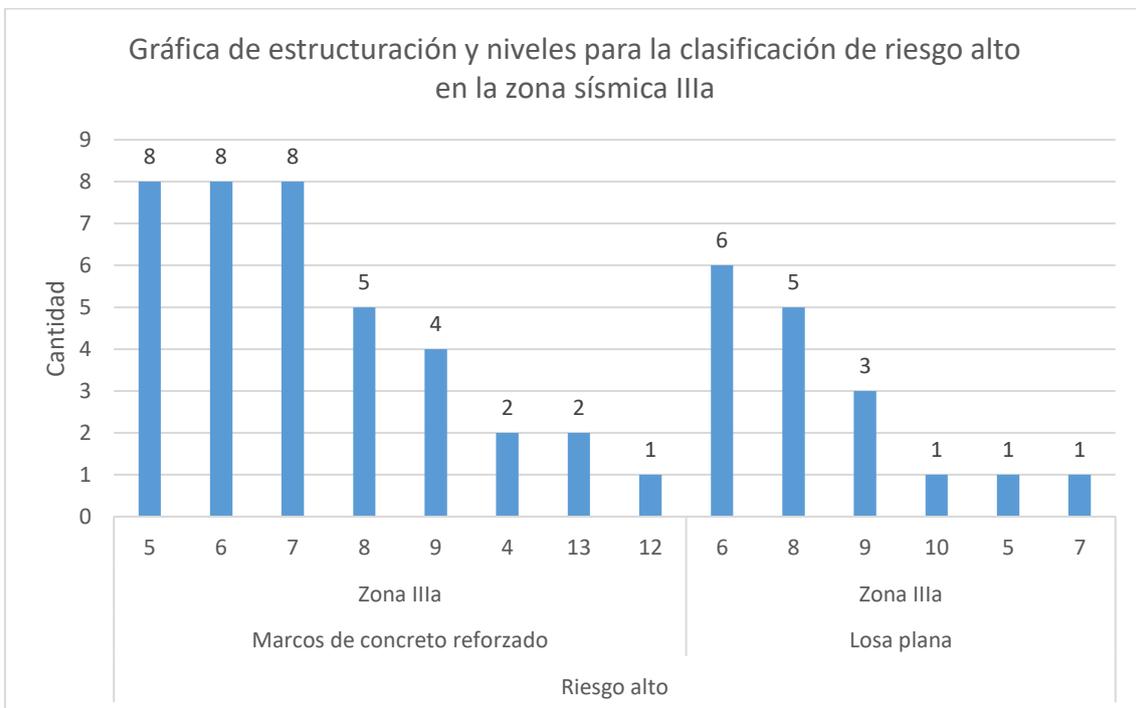


Figura 3.142. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIa.

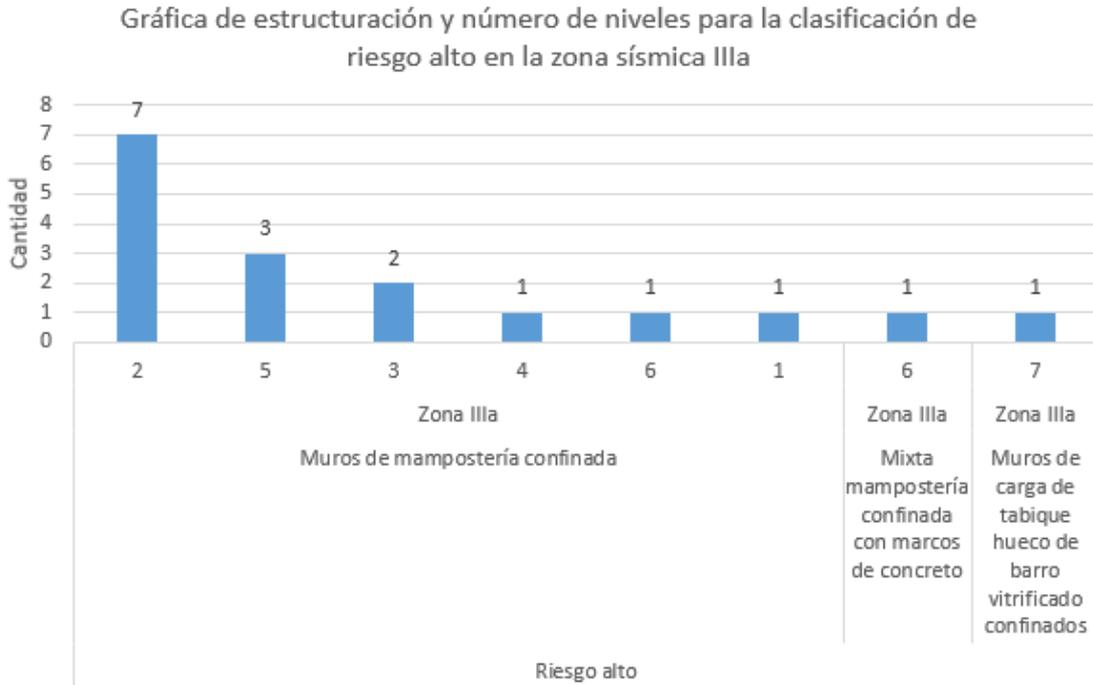


Figura 3.143. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIa.

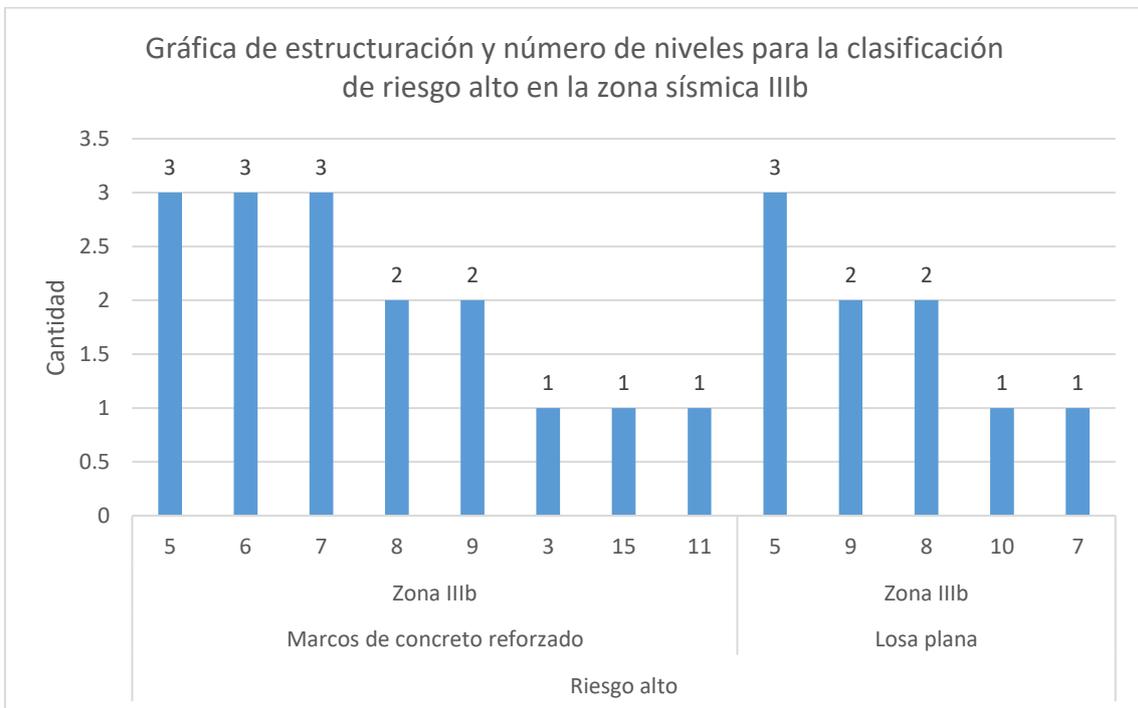


Figura 3.144. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.

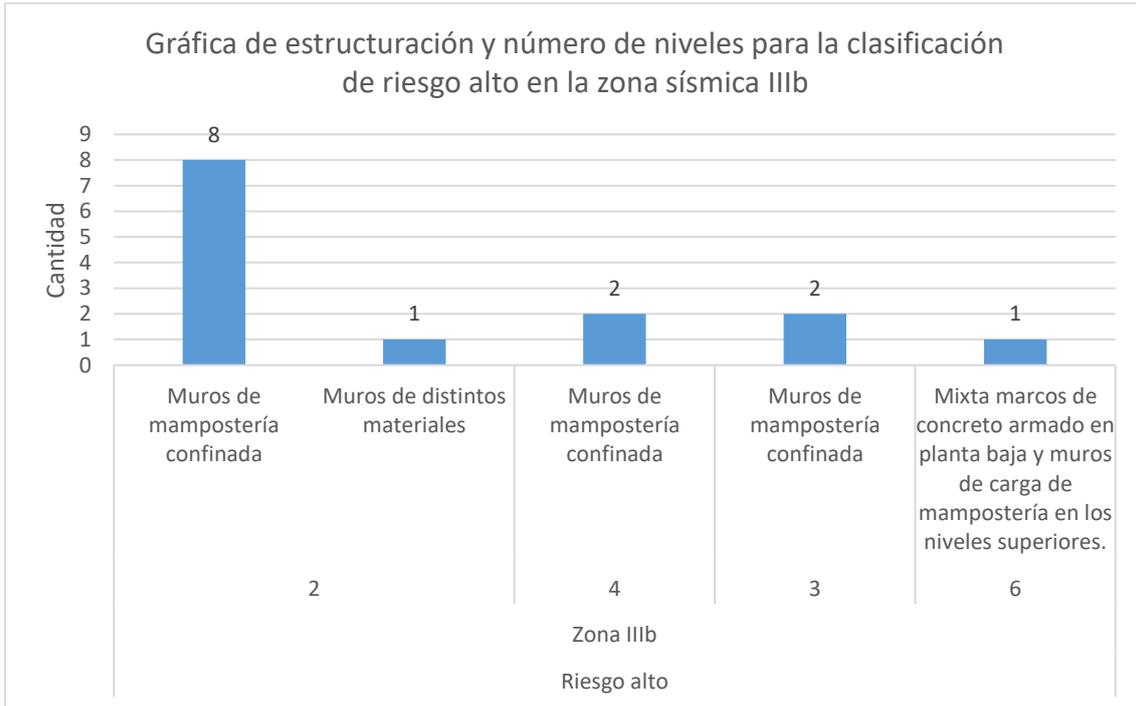


Figura 3.145. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.

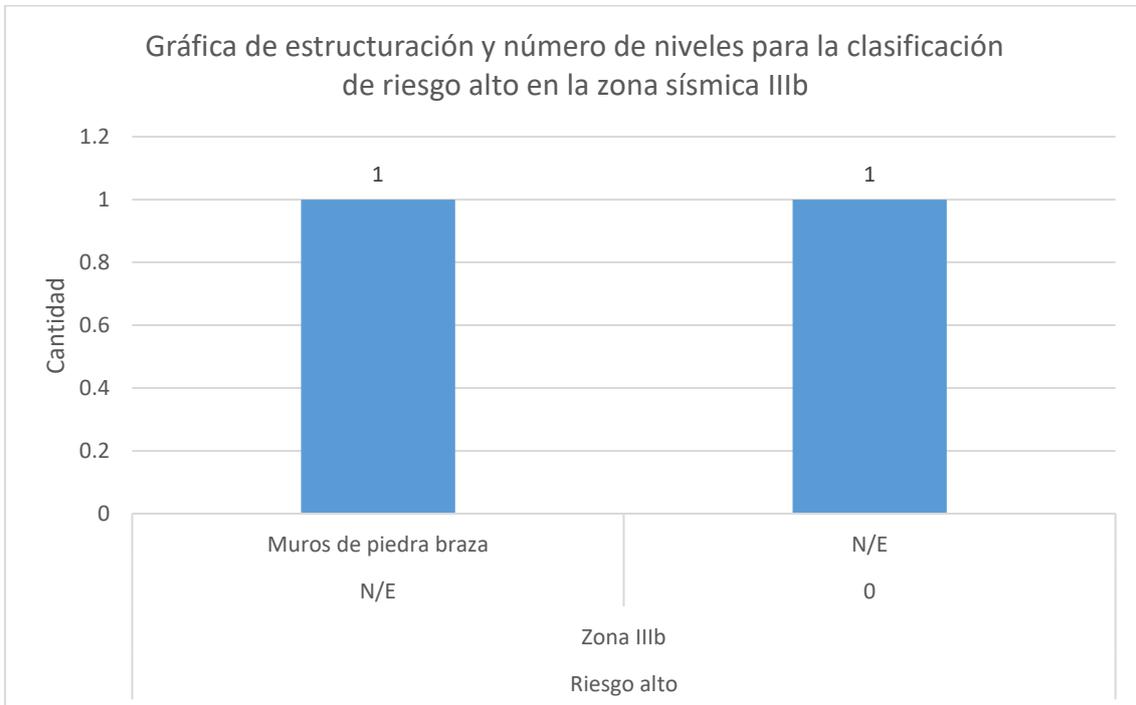


Figura 3.146. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.

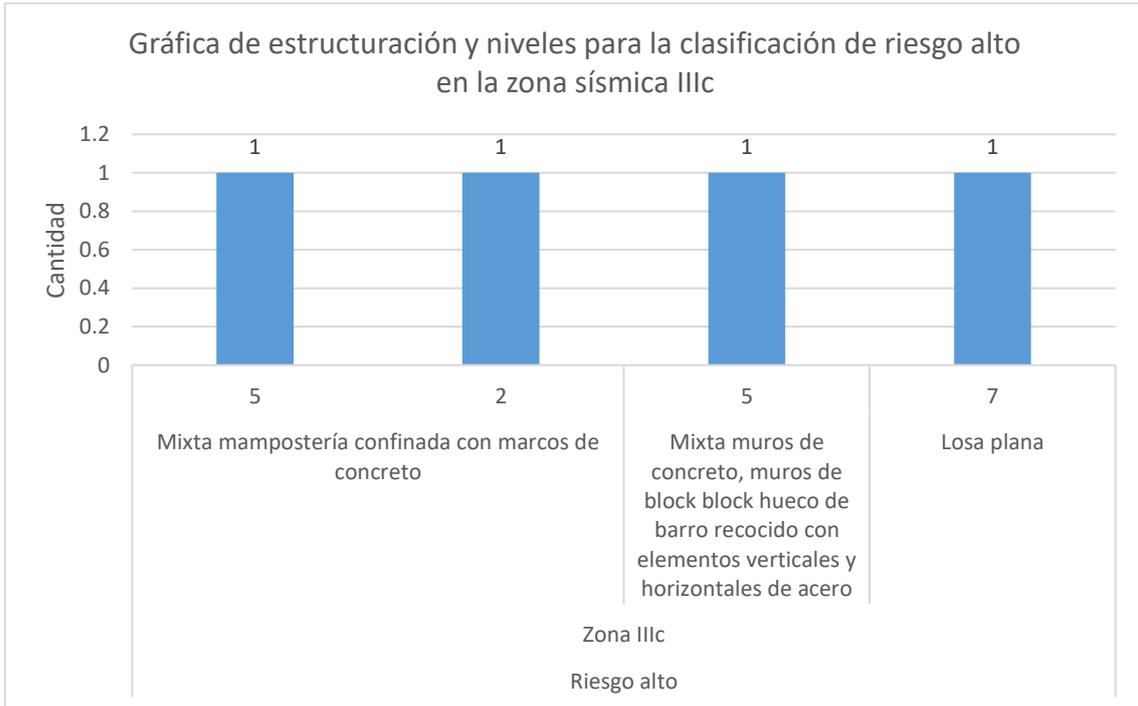


Figura 3.147. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.

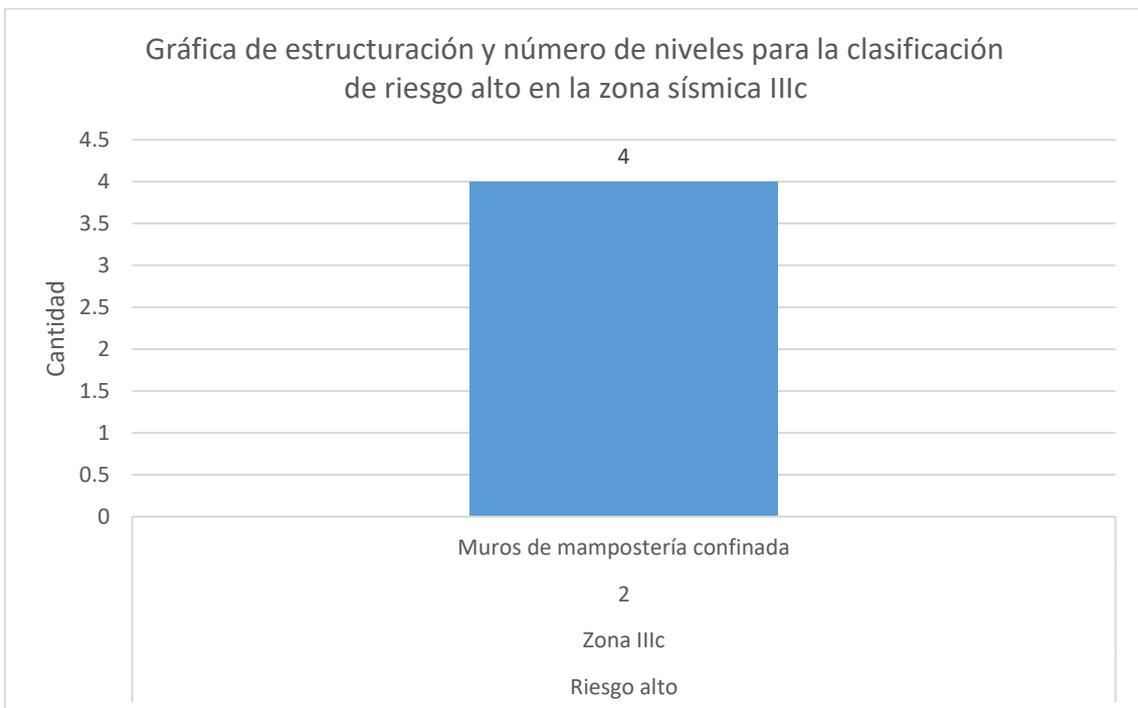


Figura 3.148. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.

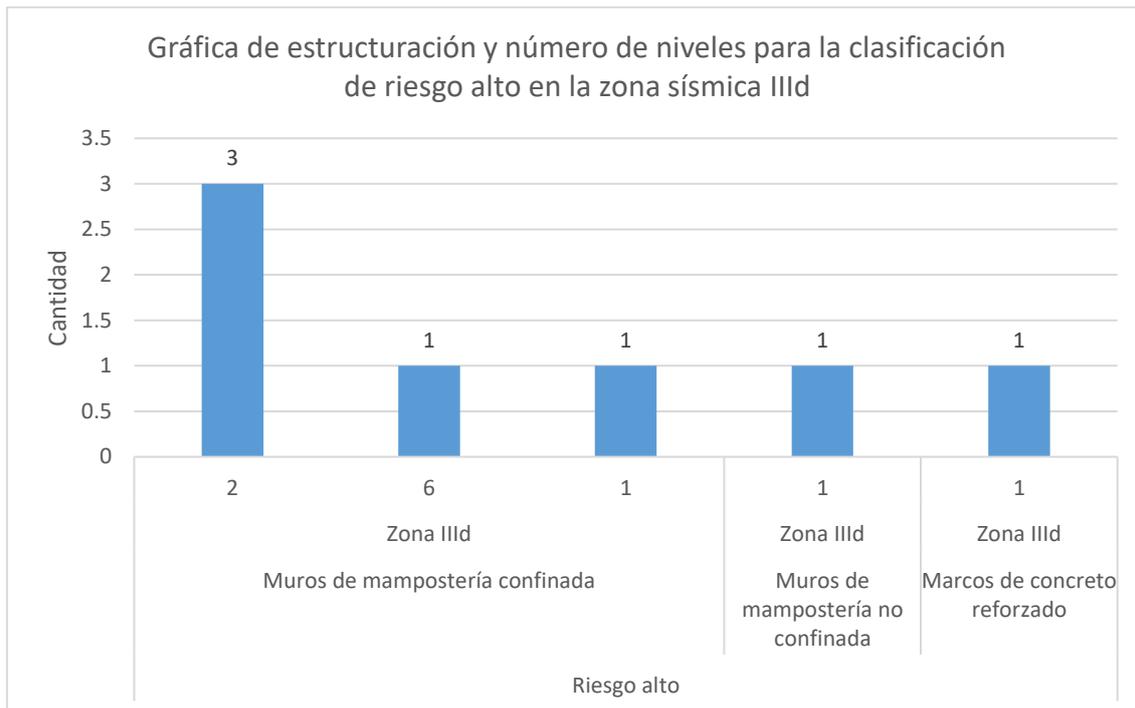


Figura 3.149. Gráfica de estructuración y número de niveles para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica III d.

Los edificios clasificados como derrumbe en la zona sísmica II (8 inmuebles), el mayor porcentaje correspondió a la estructuración con base en marcos de concreto reforzado de siete y ocho niveles, con un 37.50%. El segundo mayor porcentaje corresponde a estructuras metálicas de un nivel con un 12.50%, y el menor porcentaje corresponde a la estructuración de muros de mampostería confinada de tres niveles con 12.50%.

La clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa (23 inmuebles), 47.83% correspondió a losa plana con cuatro, cinco, seis, y ocho niveles. El segundo mayor porcentaje corresponde a la estructuración de muros de mampostería confinada de dos y tres niveles con un 17.39%, y el menor porcentaje fue estructuración mixta de mampostería confinada con columnas de concreto con un 4.35%.

La clasificación de demoliciones de la zona sísmica II (10 inmuebles) tuvo 50% de edificios soportados en marcos de concreto reforzado de cinco y seis niveles. El segundo mayor porcentaje, 20%, corresponde a la estructuración de losa plana de cinco niveles, y el menor porcentaje corresponde a muros de mampostería no confinada con un 10%.

La clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIa (16 inmuebles), 62.5% fueron estructuras con marcos de concreto reforzado de entre tres y diez niveles. El segundo mayor porcentaje, 12.5%, corresponde a muros de mampostería confinada de entre dos y cinco niveles, y el menor porcentaje corresponde a la estructuración de losa plana de seis niveles con un 6.25%.

Los edificios clasificados como demoliciones en la zona sísmica IIIb (32 inmuebles), 37,5% fueron marcos de concreto reforzado entre uno y diez niveles. El segundo mayor porcentaje corresponde a muros de mampostería confinada de entre dos y cuatro niveles con un 34.38%,



y el menor porcentaje correspondió a la estructuración de muros de diversos materiales de dos niveles con un 3.13%.

Para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIc (tres inmuebles), el mayor porcentaje fue el de muros de mampostería confinada de entre uno y seis niveles con un 66.67%. El segundo mayor porcentaje corresponde a la estructuración de marcos de concreto reforzado de 15 niveles con un 33.33%.

En la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II (29 inmuebles), el mayor porcentaje, 31.93%, fue el de estructuración de losa plana de entre cinco y nueve niveles. Le siguió la estructuración de marcos de concreto reforzado de entre cuatro y nueve niveles con un 27.59%. El menor porcentaje correspondió a la estructuración mixta de mampostería confinada con columnas de concreto con un 3.45%.

Para riesgo alto en la zona sísmica IIIa (85 inmuebles), 41.18% correspondió a estructuración de marcos de concreto reforzado de entre cuatro y nueve niveles. El segundo mayor porcentaje fue de losa plana de cinco a diez niveles con un 20%. El menor porcentaje corresponde a la estructuración mixta de mampostería confinada con columnas de concreto con un 1.18%.

En riesgo alto para la zona sísmica IIIb (52 inmuebles), se tiene el mayor porcentaje, 25%, para marcos de concreto reforzado en el intervalo de cinco a nueve niveles. Siguió la estructuración a base de muros de mampostería confinada de dos a cuatro niveles con un 23.08%. El menor porcentaje fue la estructuración de muros de piedra braza con 1.92%.

Riesgo alto en la zona sísmica IIIc (52 inmuebles), tuvo el mayor porcentaje de estructuración para muros de mampostería confinada de dos niveles con un 36.36%. El segundo mayor porcentaje corresponde a la estructuración de muros de mampostería no confinada de dos a cuatro niveles con un 27.27%. El menor porcentaje corresponde a la estructuración de losa plana de siete niveles con un 9.09%.

Riesgo alto en la zona sísmica III d (siete inmuebles) tuvo el mayor porcentaje para la estructuración de mampostería confinada de uno, dos, y siete niveles con un 71.43%. El segundo mayor porcentaje fue para muros de mampostería no confinada de un nivel con un 14.29%. El menor porcentaje corresponde a la estructuración a base marcos de concreto reforzado de un nivel con un 14.29%.

3.6 Defectos de estructuración de para las tres clasificaciones de los inmuebles

La figura 3.112 muestra los inmuebles con defecto de estructuración para los tres tipos de clasificaciones de inmuebles.

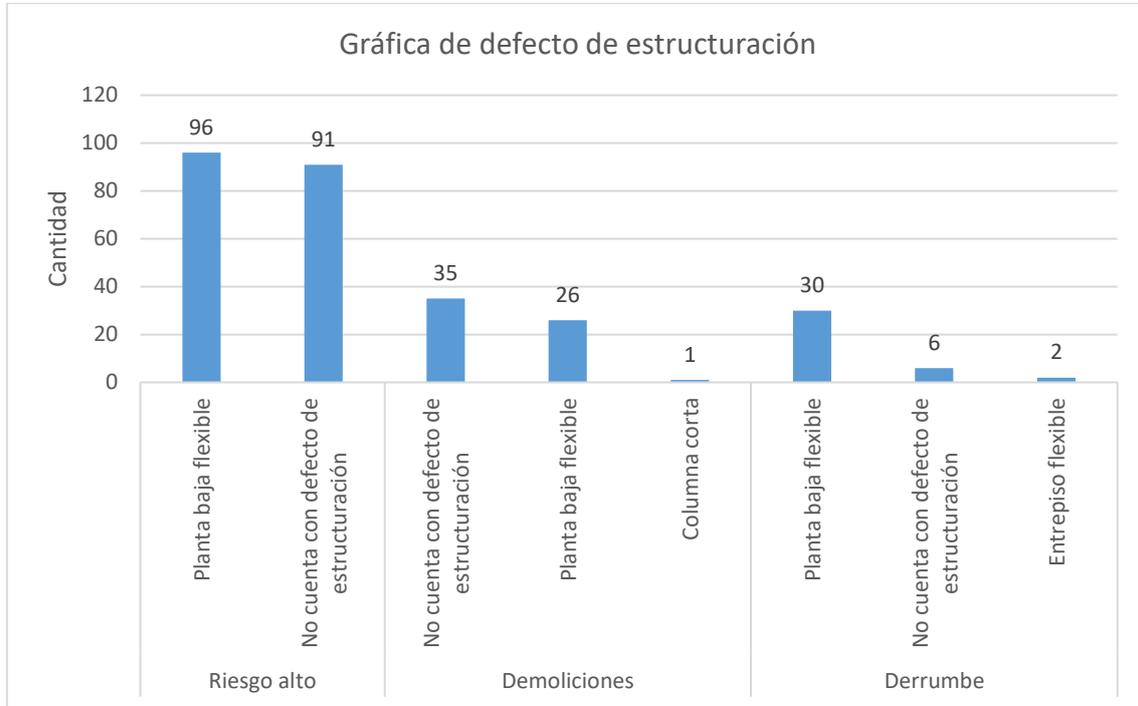


Figura 3.150. Gráfica de defecto de estructuración para las tres clasificaciones de inmuebles.

La figura 3.112 muestra que en la clasificación de Derrumbe, se tiene el 10.45% con defecto de planta baja flexible, 0.70% con el defecto de estructuración de entrepiso flexible. Para la clasificación de demoliciones se tiene un 9.06% con el defecto de estructuración de planta baja flexible, 0.35% con defecto de estructuración de columna corta. En la clasificación de riesgo alto se tiene un 33.45% para el defecto de estructuración de planta baja flexible, de un total de 287 inmuebles analizados. La suma de las tres clasificaciones que se tiene defecto de estructuración es del 55.40%

3.7 Defectos de estructuración y estructuración de los inmuebles de acuerdo a su clasificación.

De acuerdo a la estructuración de los inmuebles, defecto de estructuración y clasificación de los mismo se obtuvieron las figuras 3.113 a 3.120 que se muestran a continuación. Las figuras 3.114 a 3.115 muestran el defecto de estructuración y tipo de estructuración para la clasificación de demoliciones y las figuras 3.116 a 3.120 para la clasificación de riesgo alto.

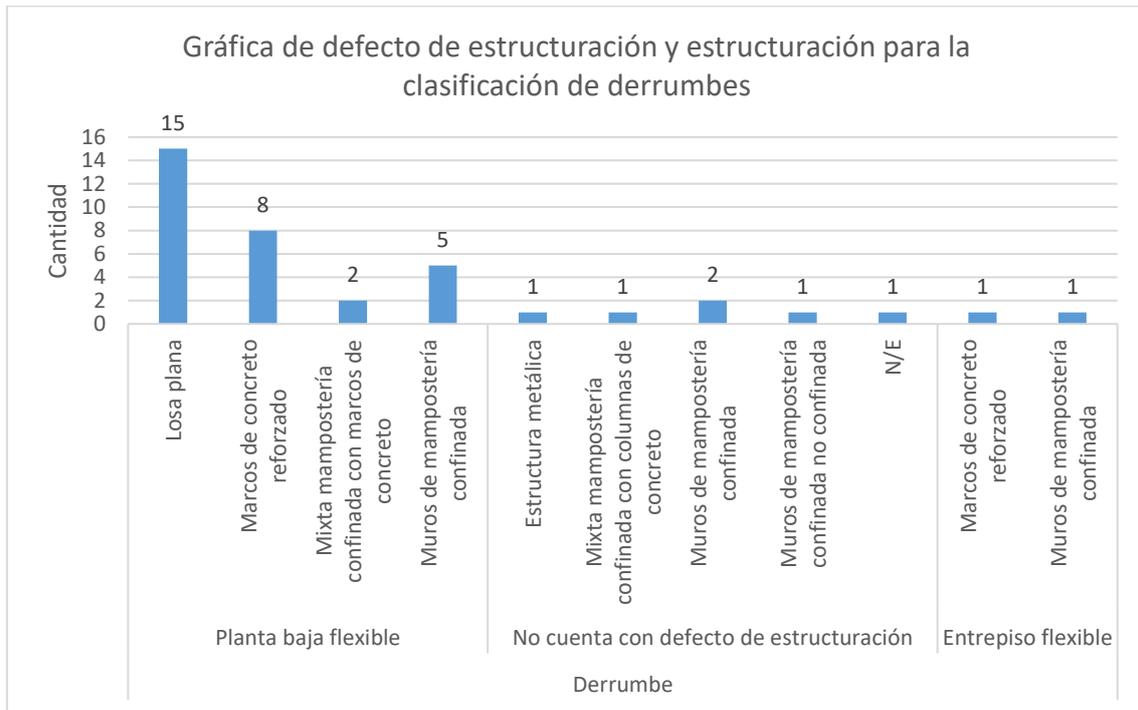


Figura 3.151. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de derrumbes.

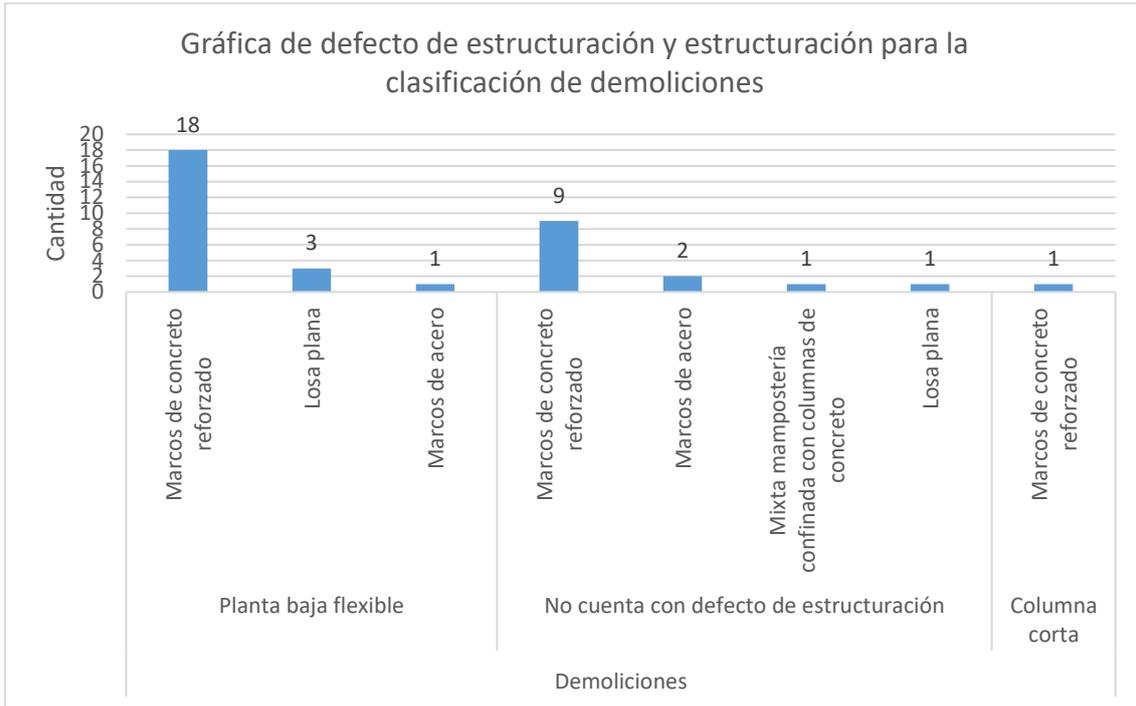


Figura 3.152. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de demoliciones.

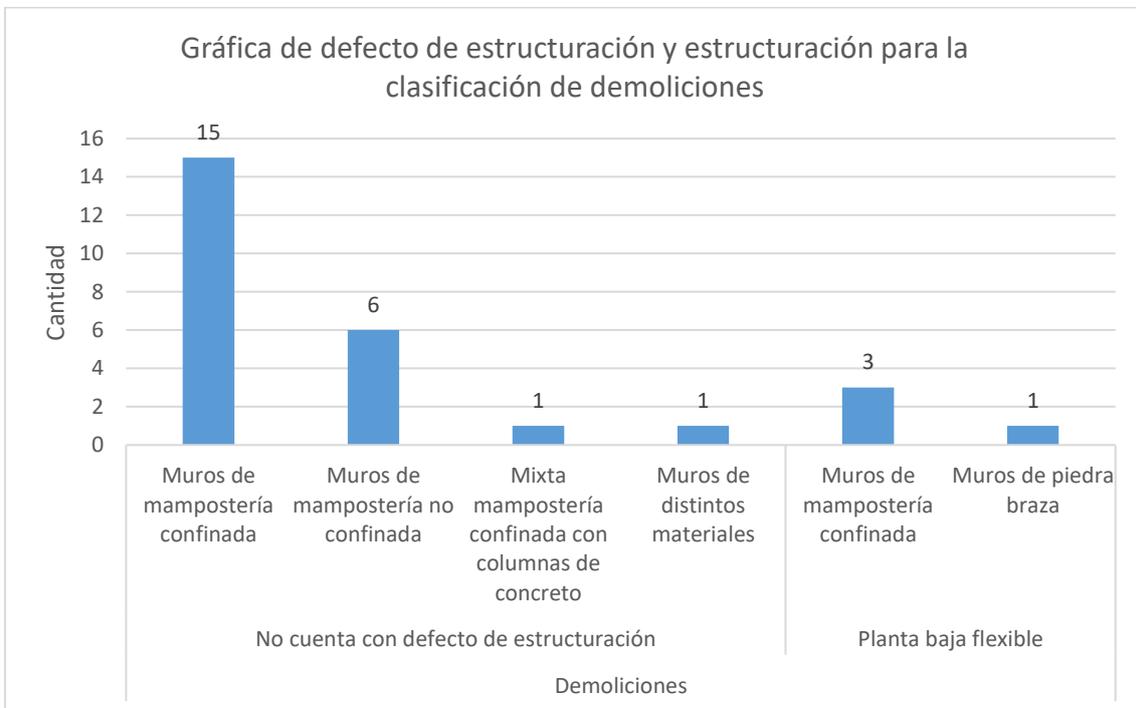


Figura 3.153. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de demoliciones.

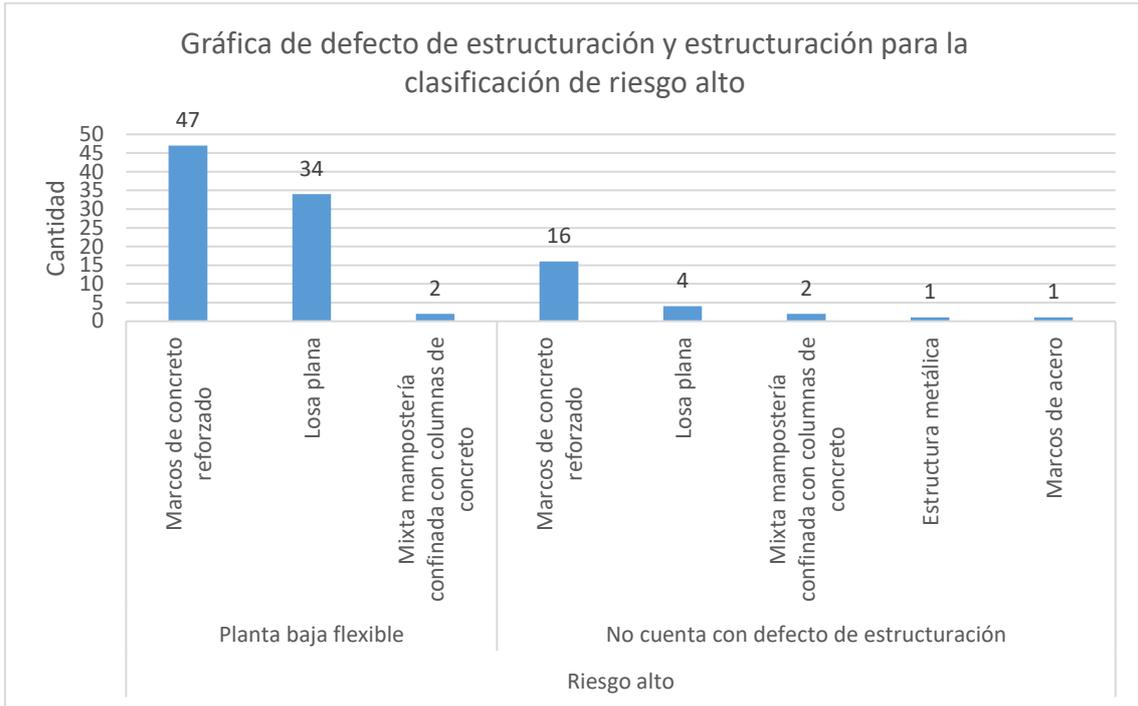


Figura 3.154. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.

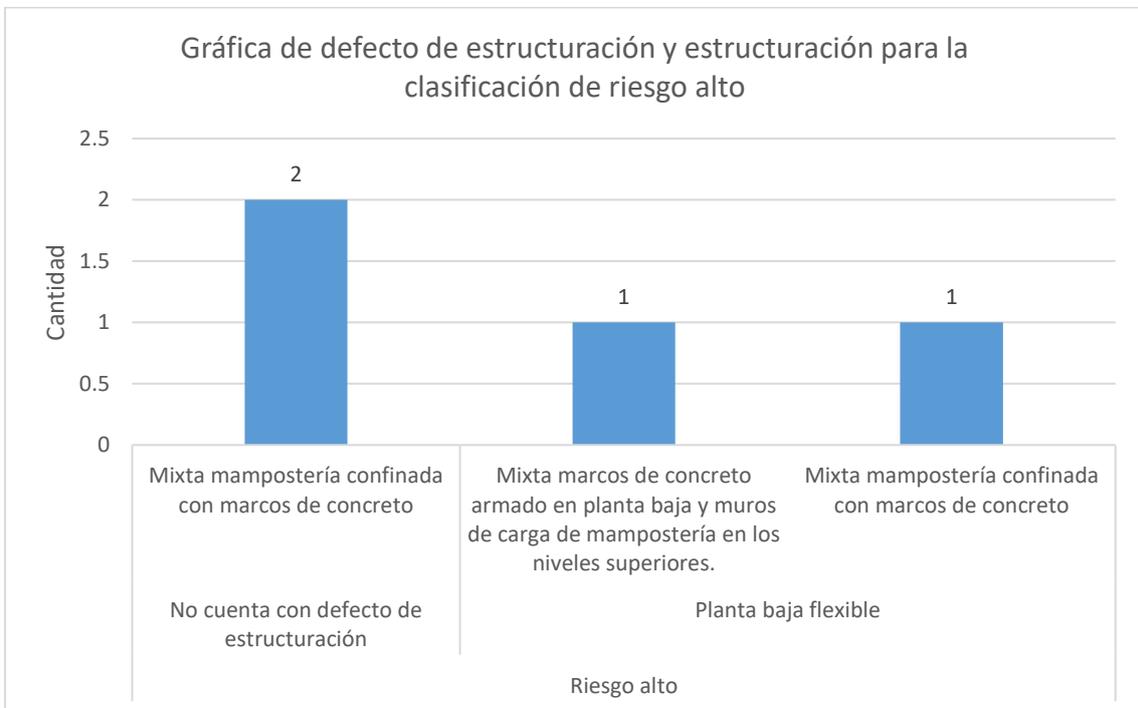


Figura 3.155. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.

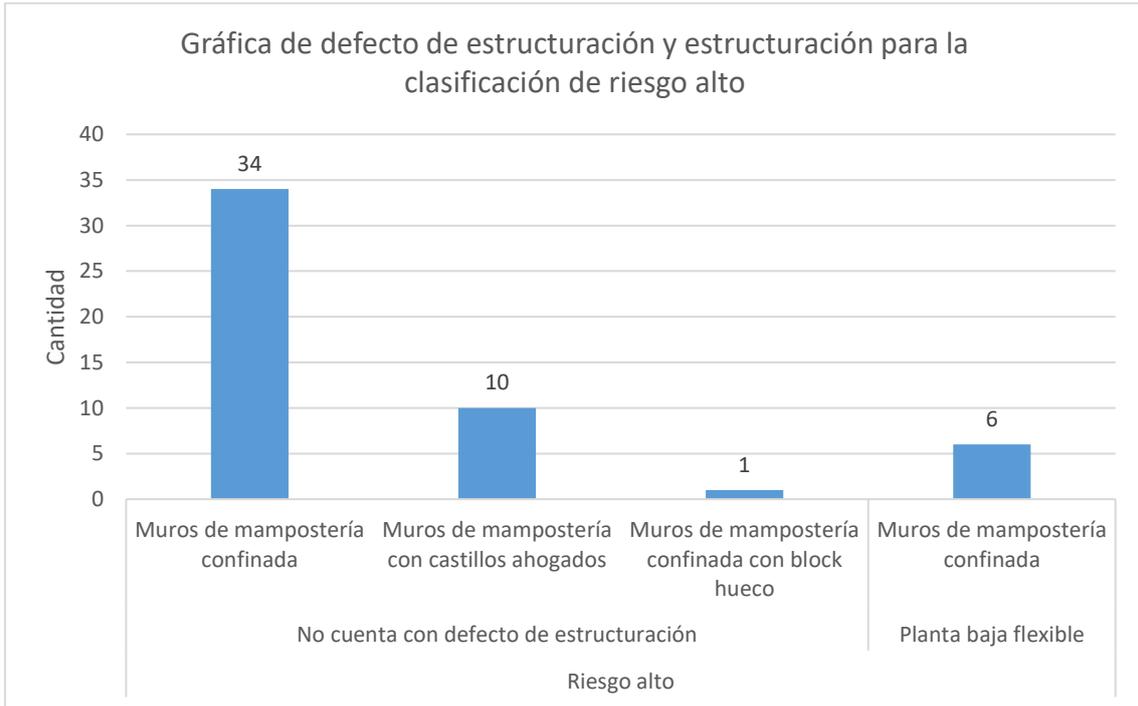


Figura 3.156. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.

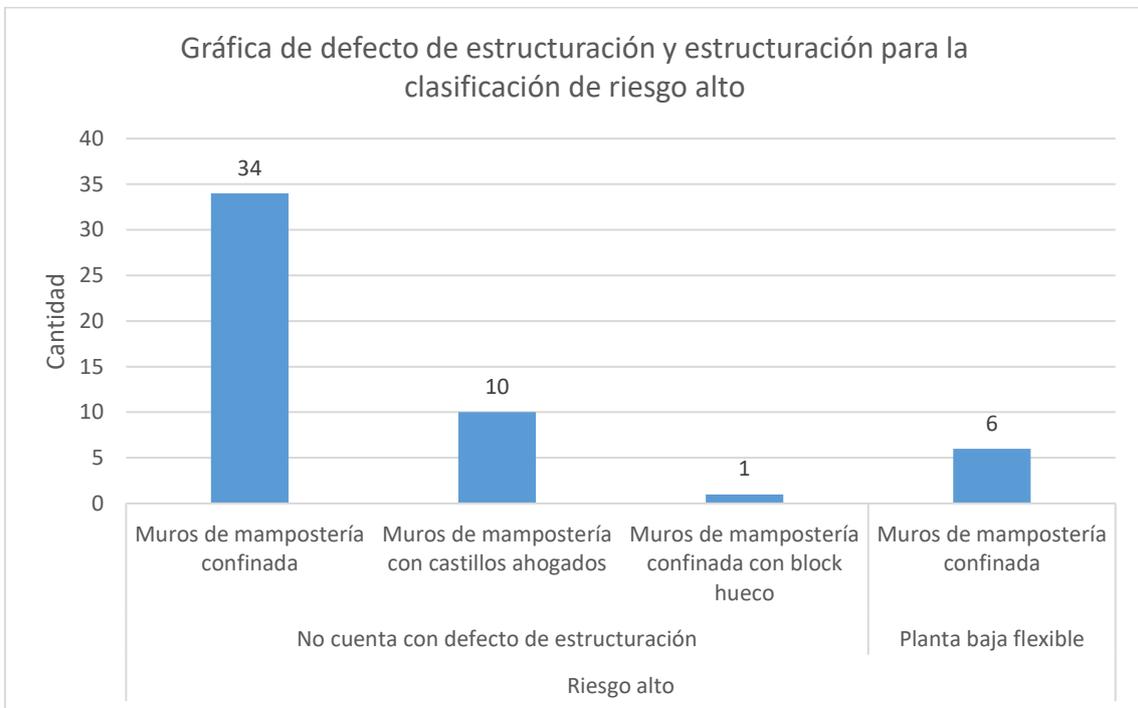


Figura 3.157. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.

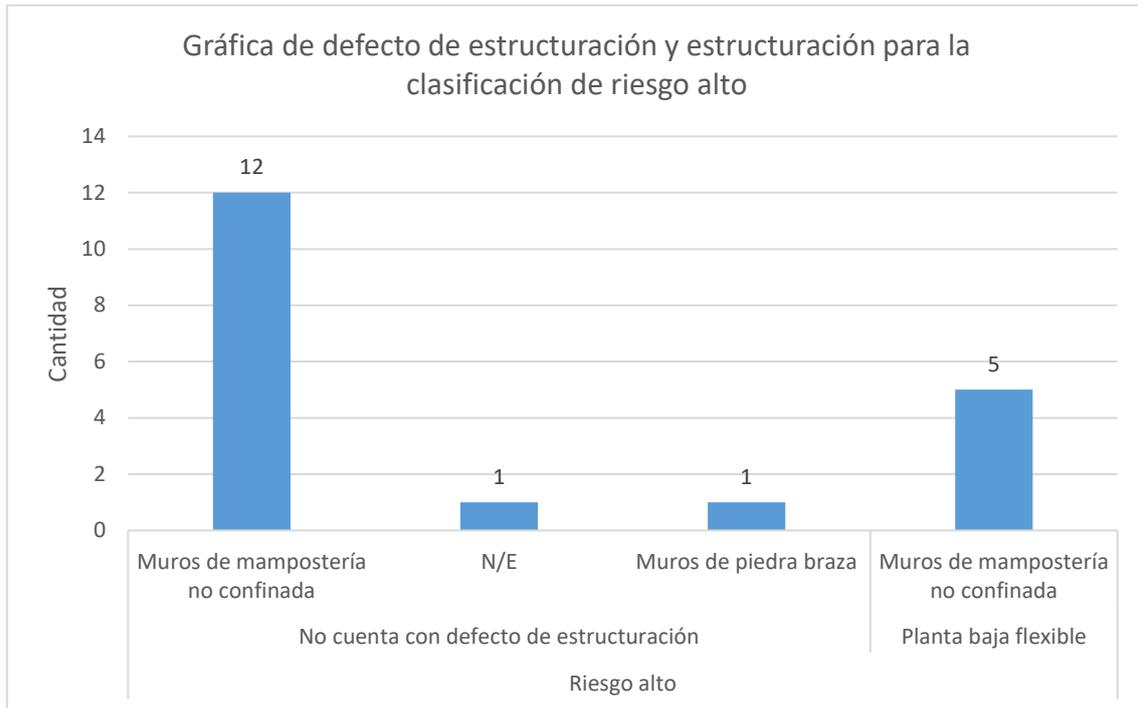


Figura 3.158. Gráfica de defecto de estructuración y estructuración para la clasificación de riesgo alto.

Los inmuebles clasificados en derrumbes suman 32 que presentaron defecto de estructuración. 46.88% corresponde a estructuración de losa plana y planta baja flexible. El segundo porcentaje corresponde a la estructuración de marcos de concreto reforzado y planta baja flexible con un 25%. El tercer porcentaje corresponde a la estructuración de mampostería confinada con planta baja flexible con un 15.63%. El menor porcentaje corresponde a la estructuración a base de muros de mampostería confinada con entrespiso flexible con un 3.13%.

Los inmuebles clasificados para demoliciones fueron un total de 27. 67.66% tenían estructuración de marcos de concreto reforzado y planta baja flexible. El segundo porcentaje corresponde a la estructuración de muros de mampostería confinada y planta baja flexible con un 11.11%. El tercer porcentaje corresponde a la estructuración de losa plana con planta baja flexible con un 11.11%. El menor porcentaje corresponde a la estructuración a base de marcos de acero con planta baja flexible.

Los inmuebles en riesgo alto (96 inmuebles) con estructuración de marcos de concreto reforzado y planta baja flexible fueron 48.96%. El segundo porcentaje corresponde a la estructuración de losa plana y planta baja flexible con un 35.42%. El tercer porcentaje corresponde a la estructuración de muros de mampostería confinada con planta baja flexible con un 6.25%. Y el menor porcentaje corresponde a la estructuración mixta de mampostería confinada con marcos de concreto con un 1.04%.

3.8 Efecto de torsión de los inmuebles

Tomando los reportes fotográficos de los 287 dictámenes estructurales, y con la herramienta de internet de Google maps se seleccionaron las estructuras con efecto de torsión por tener una inadecuada distribución de rigidez de sus muros. La figura 3.120 muestra la gráfica para las tres clasificaciones de los inmuebles.

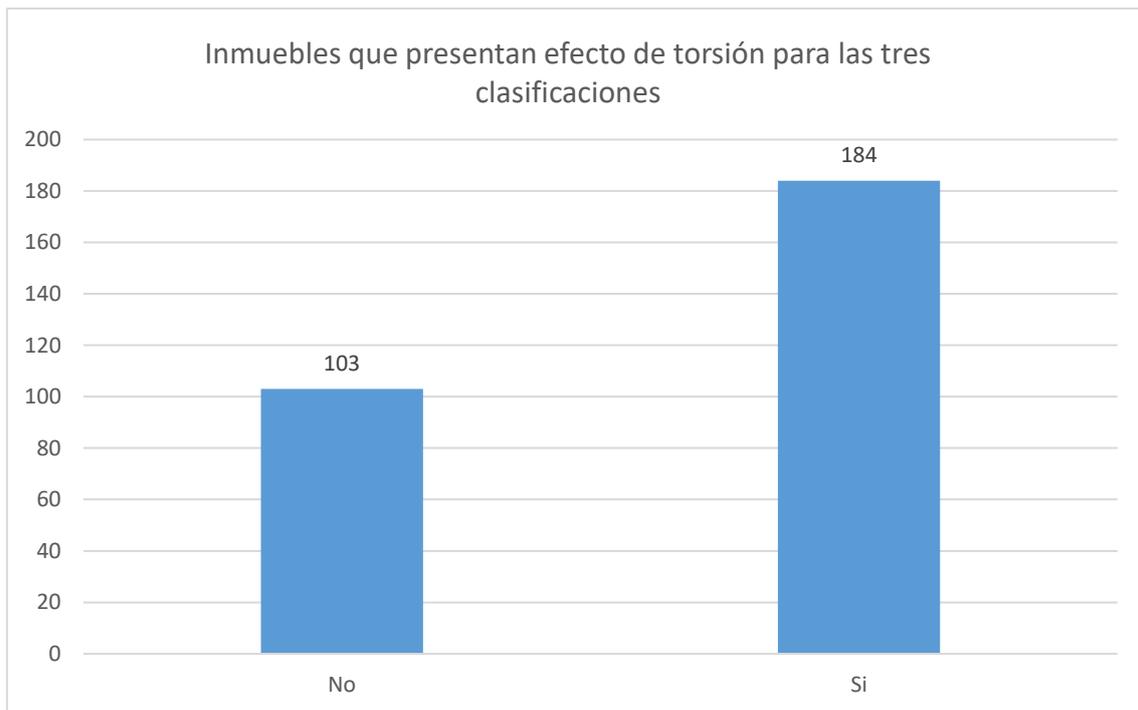


Figura 3.159. Inmuebles que presentan efecto de torsión para las tres clasificaciones.

3.8.1 Efecto de torsión de los inmuebles de acuerdo a su clasificación

La figura 3.122 se muestra la gráfica de efecto de torsión de acuerdo con la clasificación del daño.

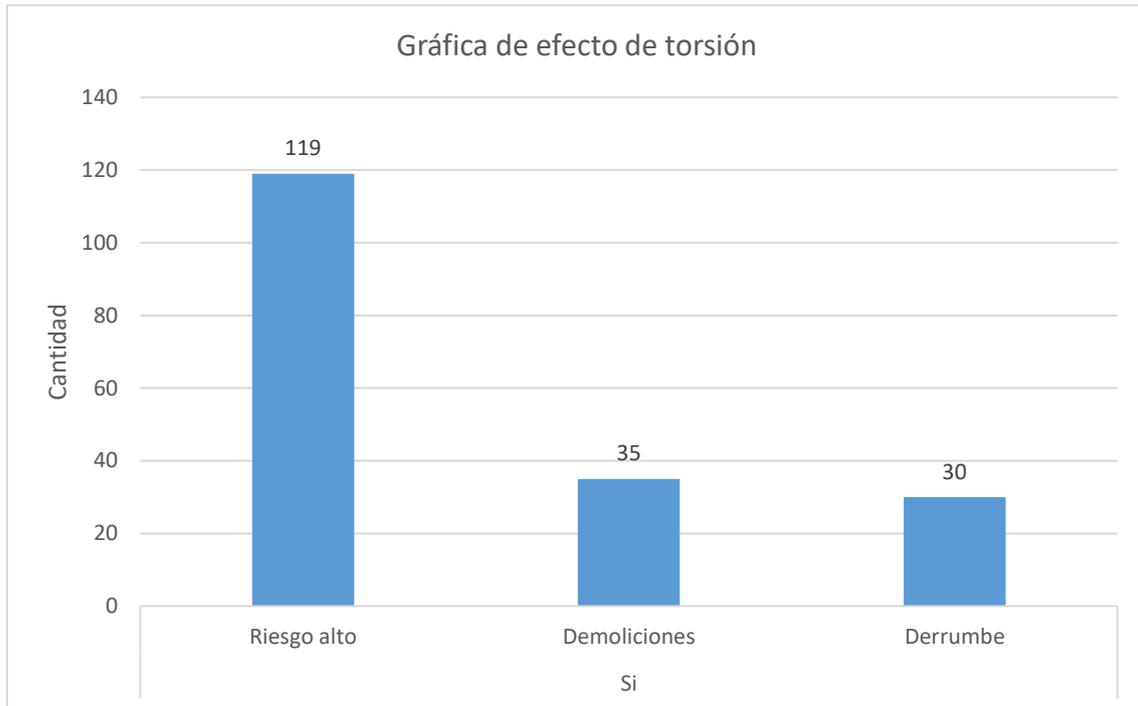


Figura 3.160. Gráfica de efecto de torsión de acuerdo a su clasificación de inmuebles.

184 inmuebles presentaron efecto de torsión por una inadecuada distribución de rigidez de sus muros. En riesgo alto se tuvieron 64.67%, en demoliciones 19.02%, y para la clasificación de derrumbe fue el 16.30%.

3.8.2 Efecto de torsión de los inmuebles de acuerdo a su clasificación y zonificación sísmica

La figura 3.123 muestra los inmuebles con problemas de torsión de cada zona sísmica.

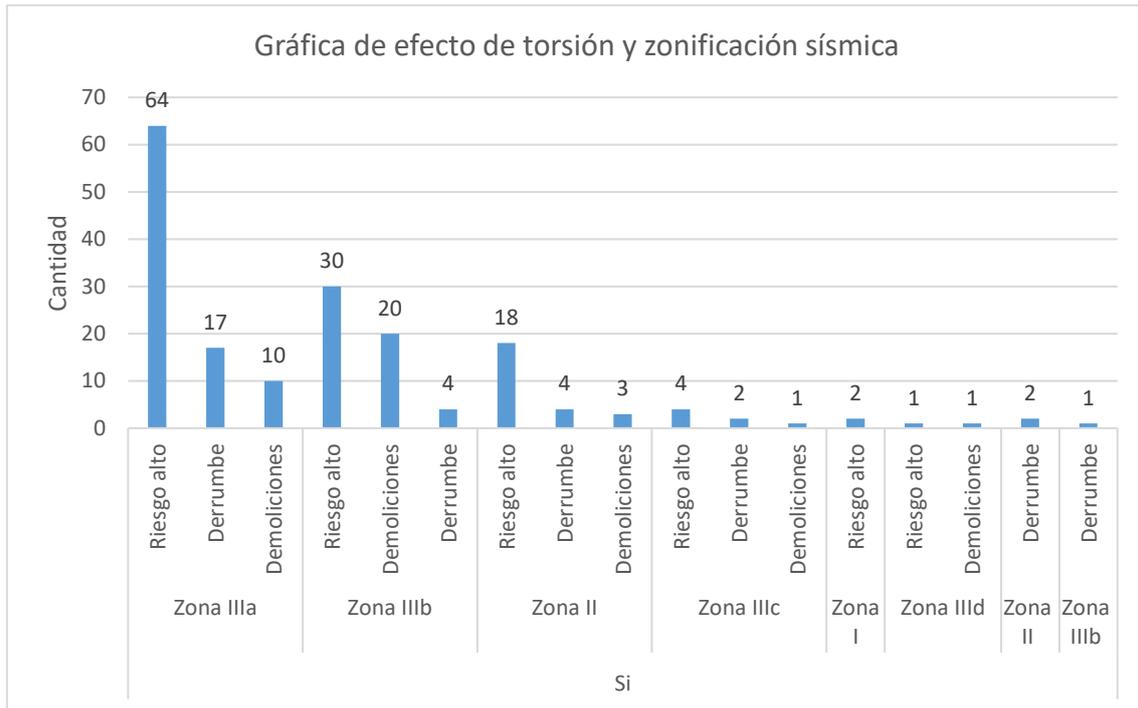


Figura 3.161. Gráfica de efecto de torsión y zonificación sísmica.

De acuerdo a la zonificación sísmica, el mayor porcentaje de edificios está en la zona IIIa (49.46%). De estos, 34.78%, 9.24% y 5.43% corresponden a riesgo alto, derrumbe, y demoliciones, respectivamente. En la zona IIIb (29.35% de edificios), en riesgo alto se encontraron 16.30%, derrumbe 2.17%, y demoliciones 10.87%. En la zona II (13.59% de las edificaciones), en riesgo alto se encontraron 9.78%, derrumbe 2.17%, y demoliciones 1.63%.

3.9 Inmuebles que presentaron efecto de torsión y defecto de estructuración

La figura 3.124 se presenta la gráfica para las clasificaciones de inmuebles de derrumbes, demoliciones, y riesgo alto para las edificaciones con problemas de torsión, de acuerdo con el defecto de estructuración.

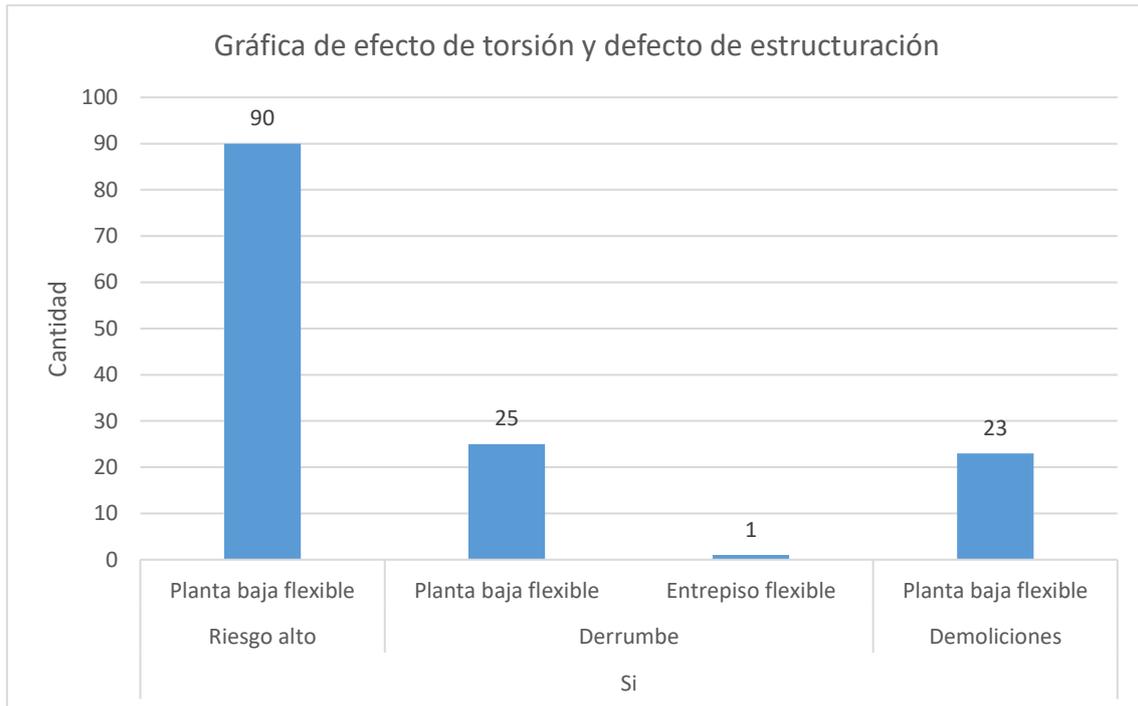


Figura 3.162. Gráfica de efecto de torsión y zonificación sísmica.

139 de los 287 inmuebles analizados presentaron efectos de torsión como el descrito en la sección 3.8 y defecto de estructuración de planta baja flexible. De estos, clasificados en riesgo alto fueron 64.75%, en derrumbe 17.99%, y en demoliciones 16.55%.

3.9.1 Inmuebles que presentaron efecto de torsión, defecto de estructuración de acuerdo a su clasificación y zonificación sísmica

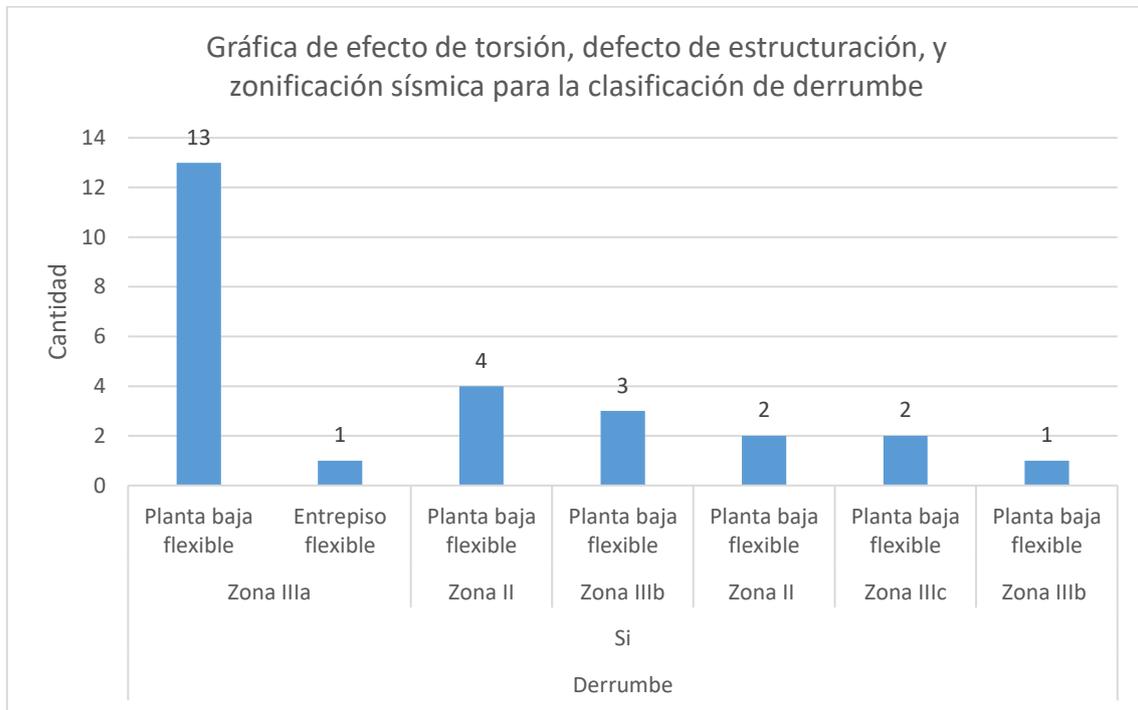


Figura 3.163. Gráfica de efecto de torsión, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de derrumbe.

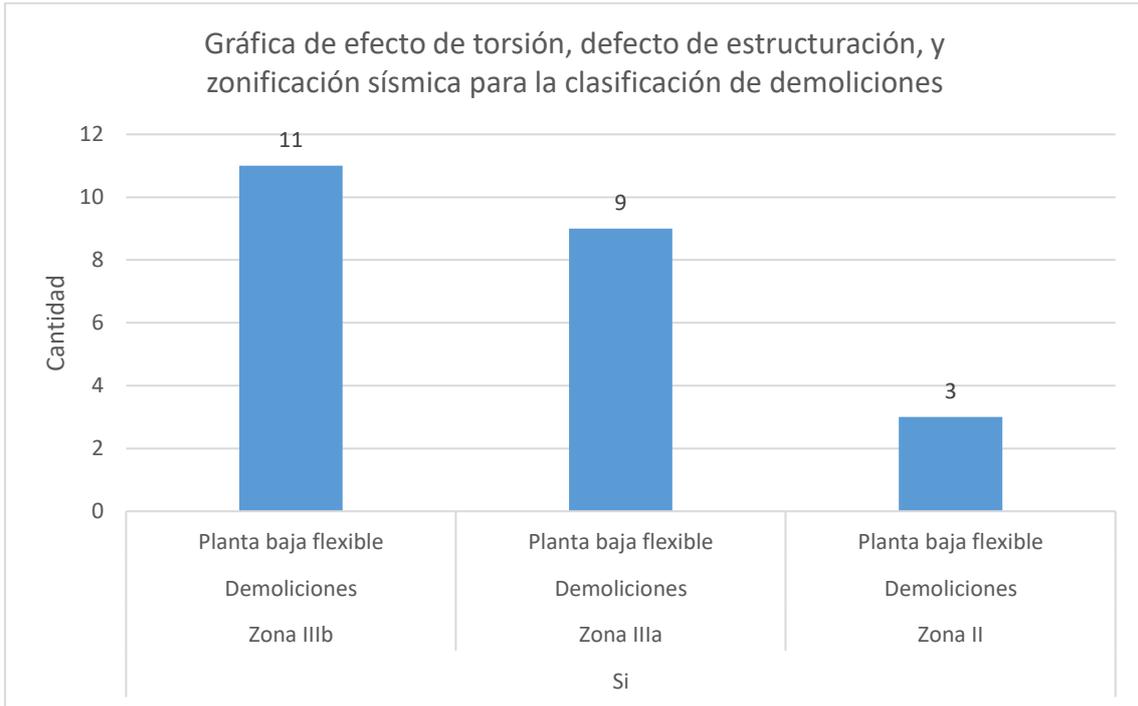


Figura 3.164. Gráfica de efecto de torsión, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.

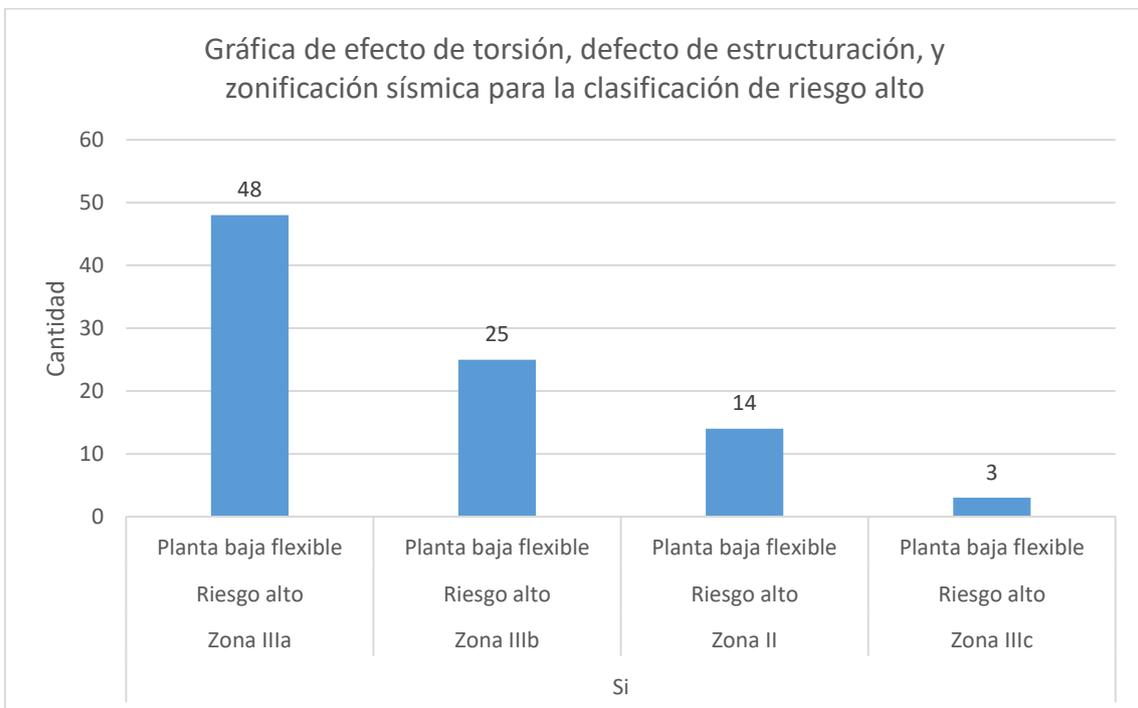


Figura 3.165. Gráfica de efecto de torsión, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de riesgo alto.

De acuerdo con las gráficas mostradas anteriormente, 90 inmuebles caen dentro de esta categoría, de un total de 287 inmuebles, de estos:

Para la zona sísmica IIIa y la clasificación de derrumbes 52% presentan defecto de estructuración de planta baja flexible y tienen efectos de torsión debido a la distribución de la rigidez de sus muros.

En las zonas sísmicas II y IIIb y la clasificación de derrumbes, 16% tienen planta baja flexible y torsión, en cada zona.

En la zona sísmica IIIc y la clasificación de derrumbes el 8% de los edificios presentan estos mismos problemas.

3.9.2 Inmuebles que presentaron efecto de torsión, defecto de estructuración de acuerdo a su clasificación, número de niveles, estructuración, y zonificación sísmica

Las figuras 3.128 a 3.129 muestran la clasificación de inmuebles para el caso de derrumbe. En las figuras 3.130 a 3.131 se muestra la gráfica para la clasificación de inmuebles de demoliciones y en las figuras 3.132 a 3.133 se muestra la gráfica para la clasificación de inmuebles de riesgo alto.

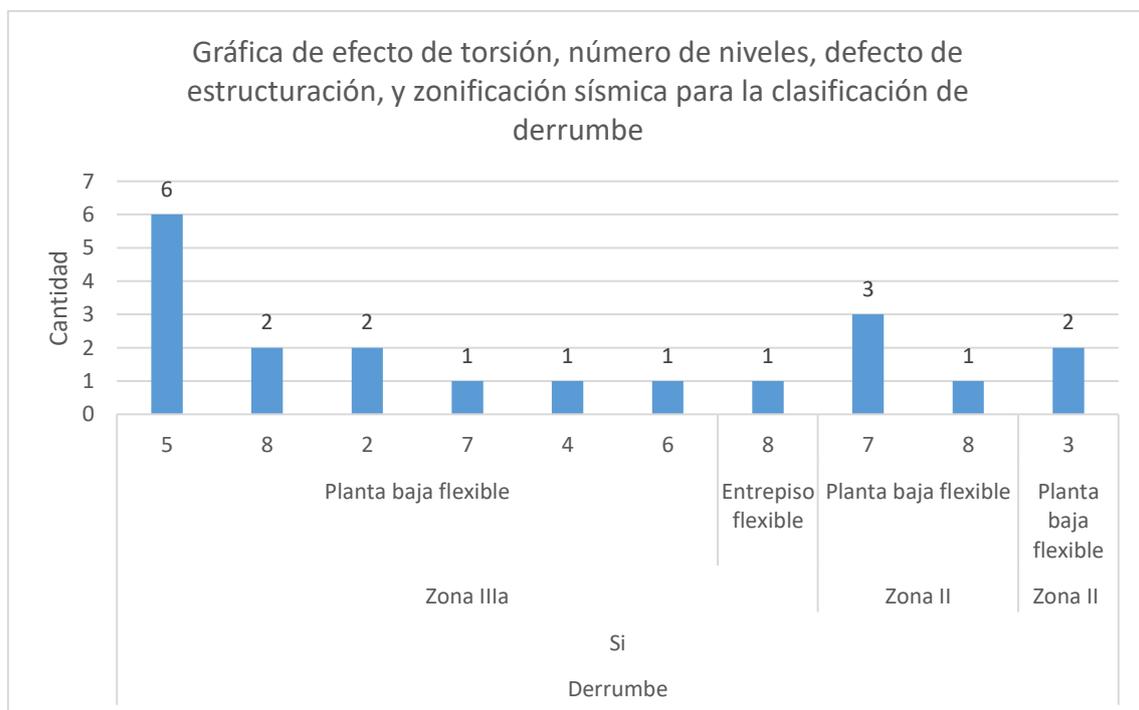


Figura 3.166. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de derrumbe.

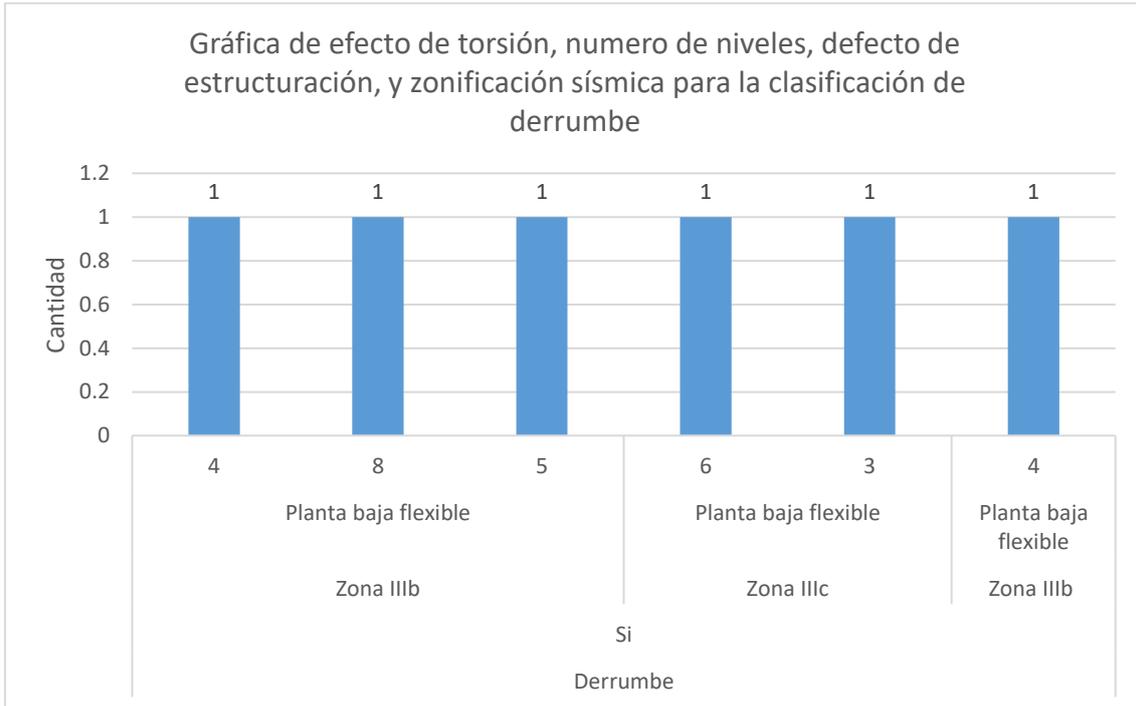


Figura 3.167. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de derrumbe.

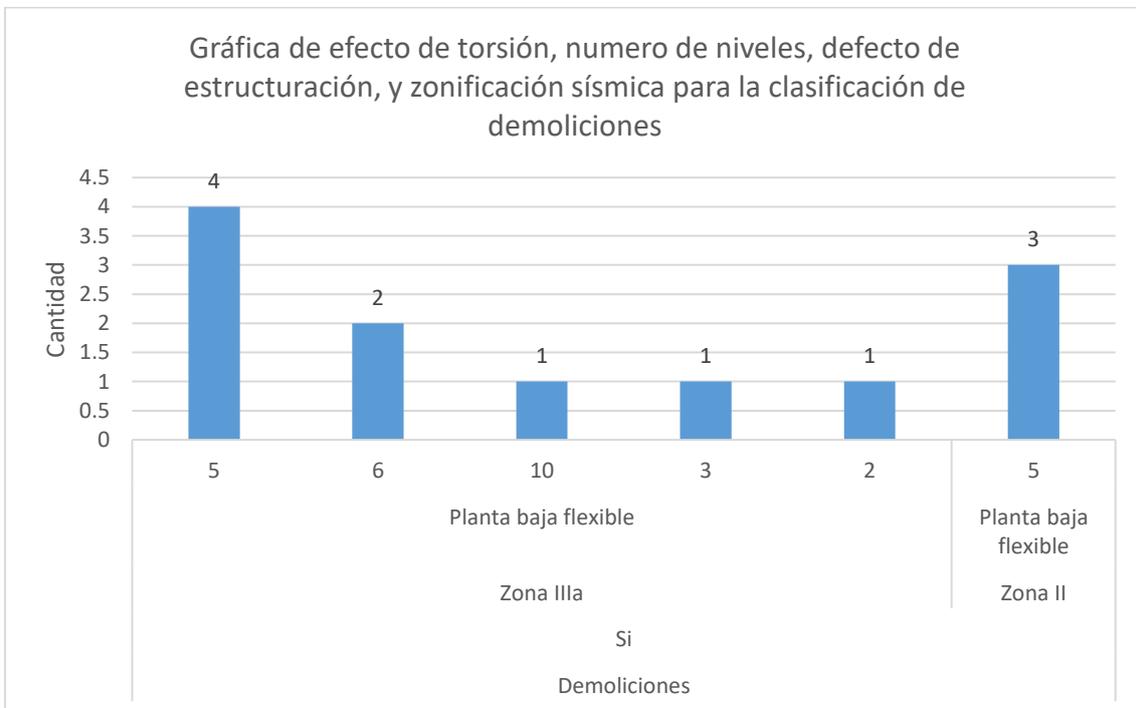


Figura 3.168. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.

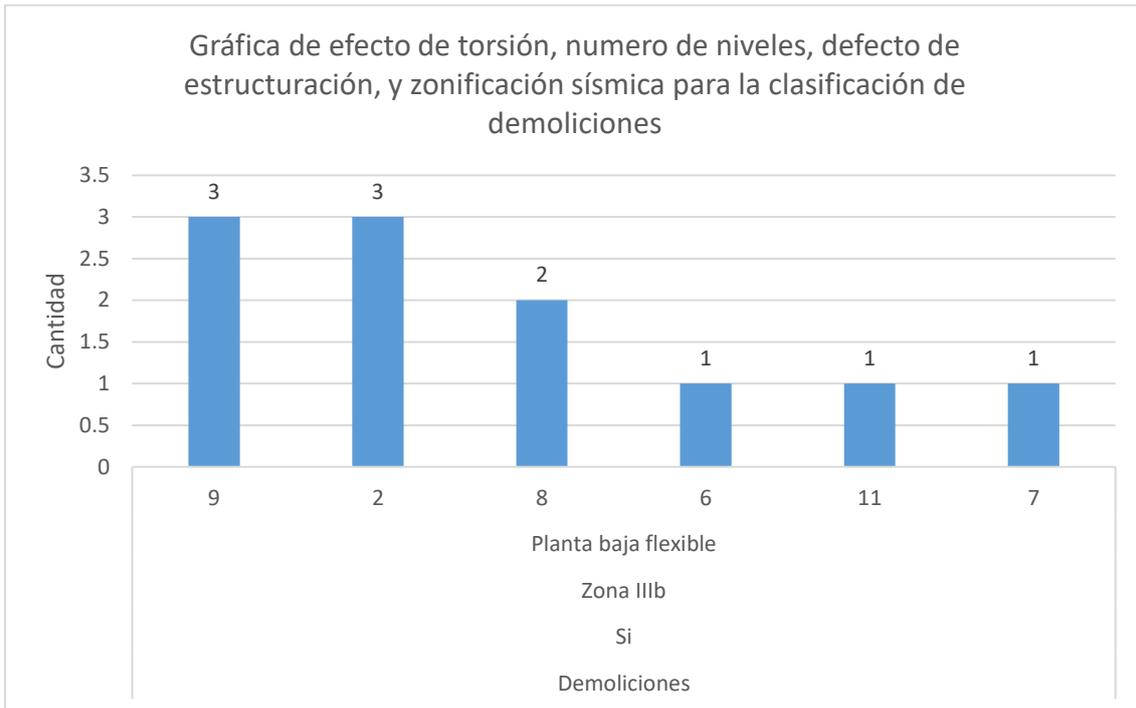


Figura 3.169. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de demoliciones.

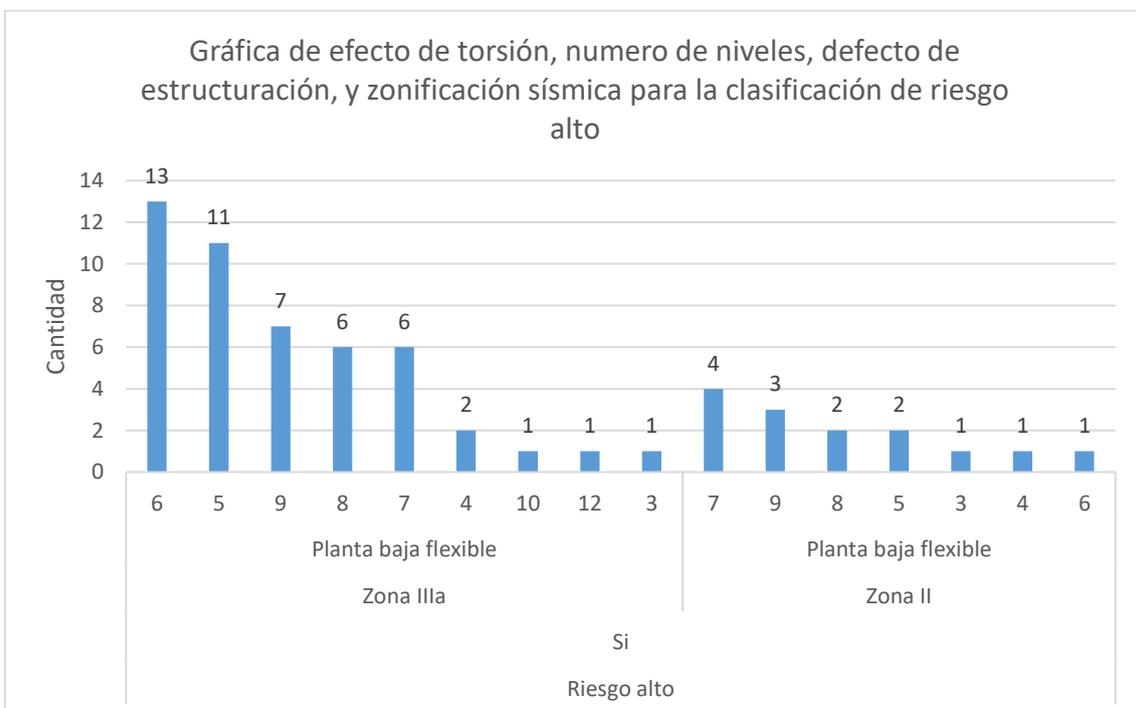


Figura 3.170. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de riesgo alto.

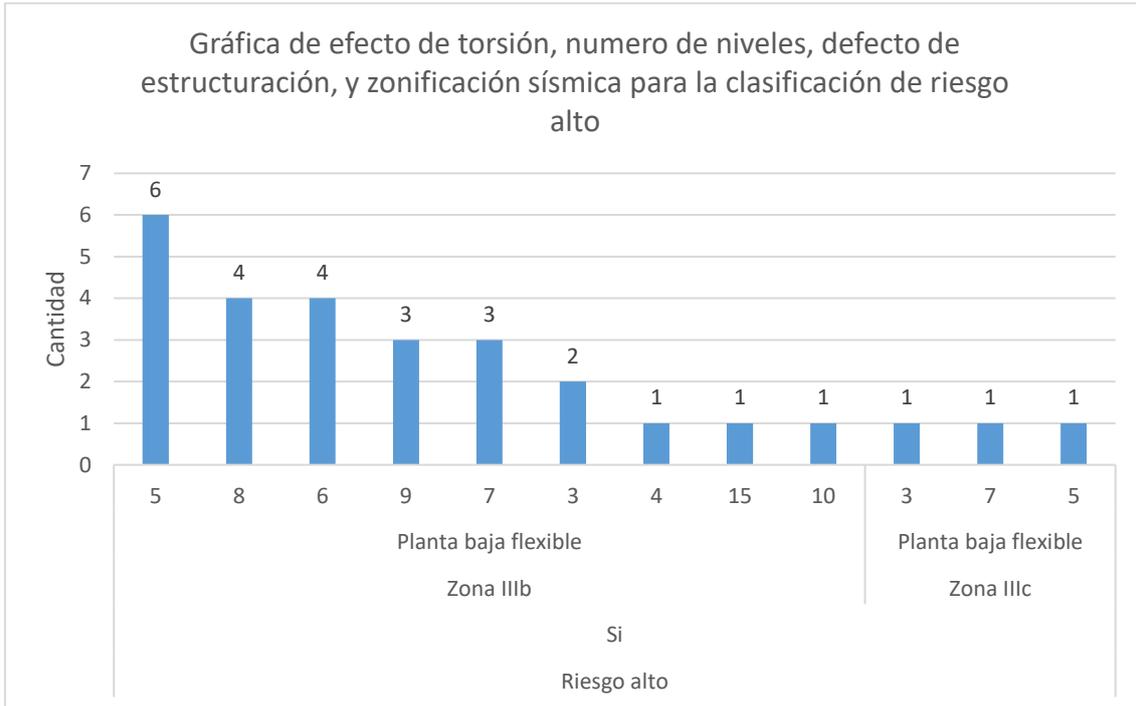


Figura 3.171. Gráfica de efecto de torsión, número de niveles, defecto de estructuración, y zonificación sísmica para la clasificación de riesgo alto.

94 de un total de 287 inmuebles analizados tuvieron problemas de torsión. En la zona IIIa y la clasificación de derrumbe se encontraron 55% de los edificios. Para la zona II y clasificación de derrumbe con tres, siete, y ocho niveles se tiene el segundo mayor porcentaje con un 30% de un total de 20 inmuebles para esta clasificación.

La zona IIIa (12 inmuebles) y clasificación de demoliciones con dos, tres, cinco, seis, y diez niveles se tiene 75% de edificios y para la zona II 25%.

Para la zona IIIa y clasificación de riesgo alto (62 inmuebles), tuvieron entre cuatro y ocho niveles y correspondió un porcentaje del 72.58%. Para la zona II entre cuatro y nueve niveles 22.58%.

3.10

Inmuebles que presentan efecto de torsión y defecto de estructuración de acuerdo a su clasificación, estructuración y zonificación sísmica

Considerando la estructuración, zonificación sísmica, efecto de torsión, y clasificación de los inmuebles, se obtuvieron las figuras 3.134 a 3.142.

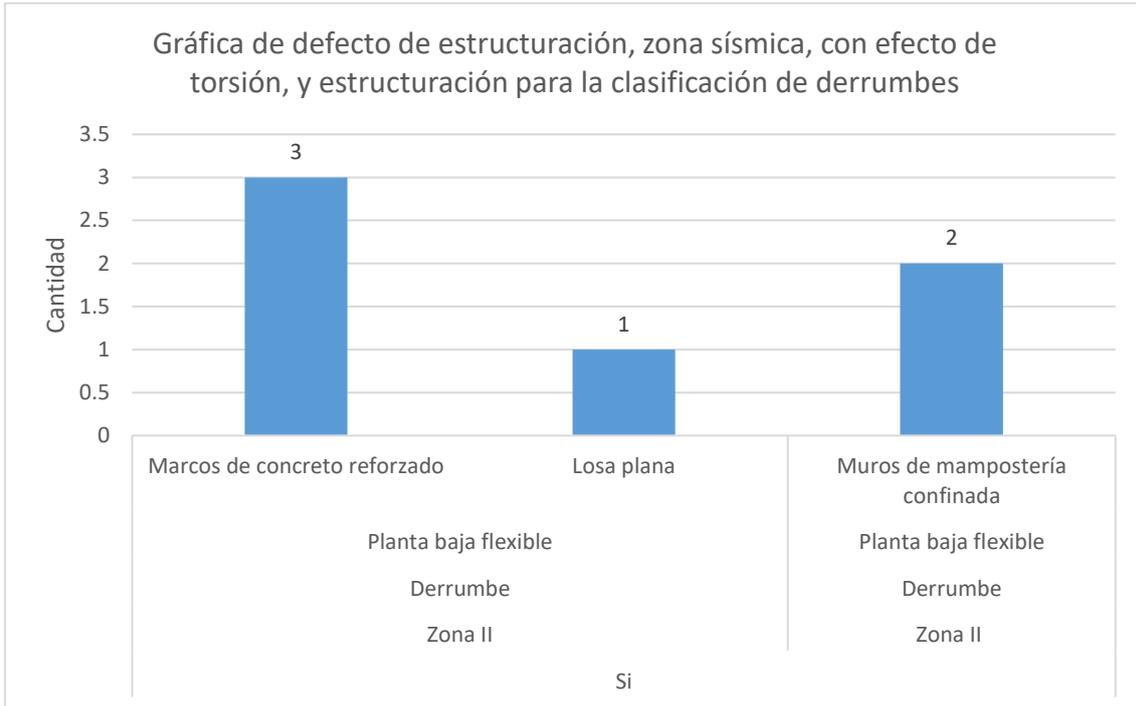


Figura 3.172. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica II.

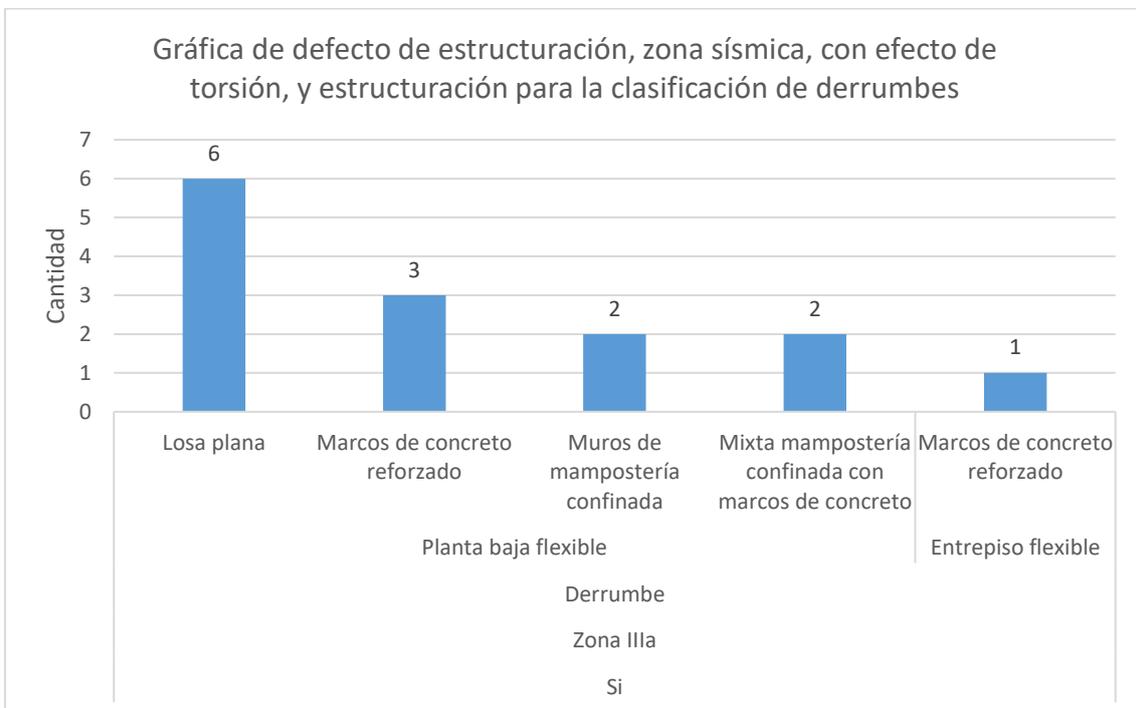


Figura 3.173. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIa.

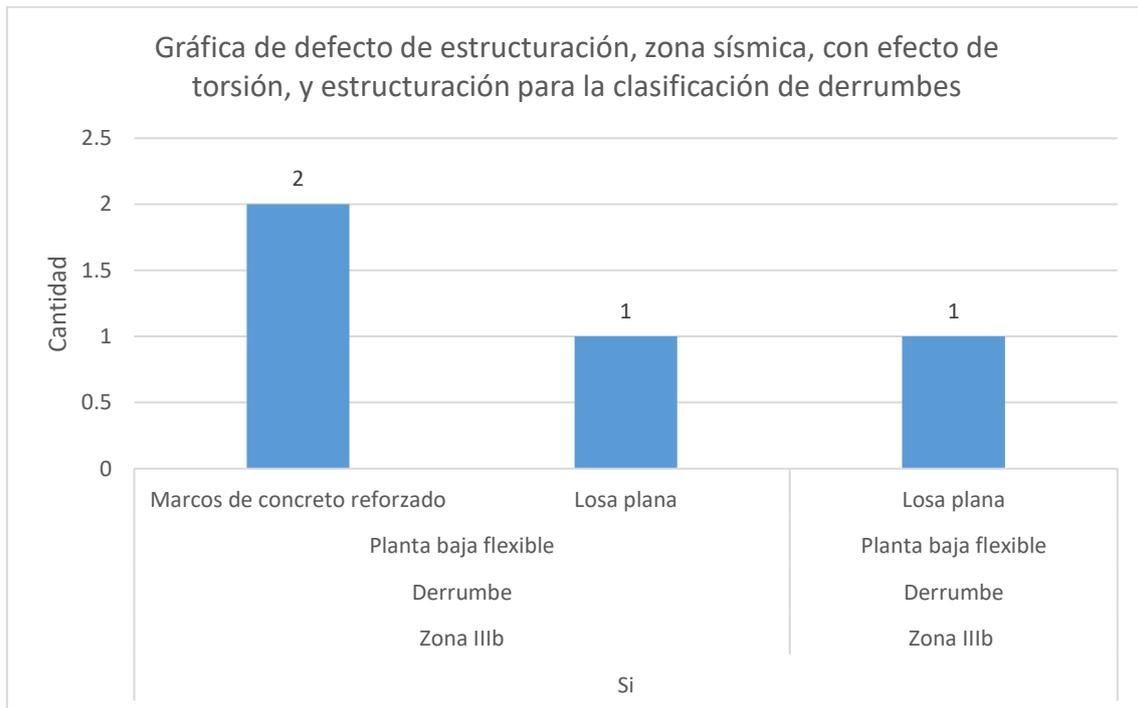


Figura 3.174. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIb.

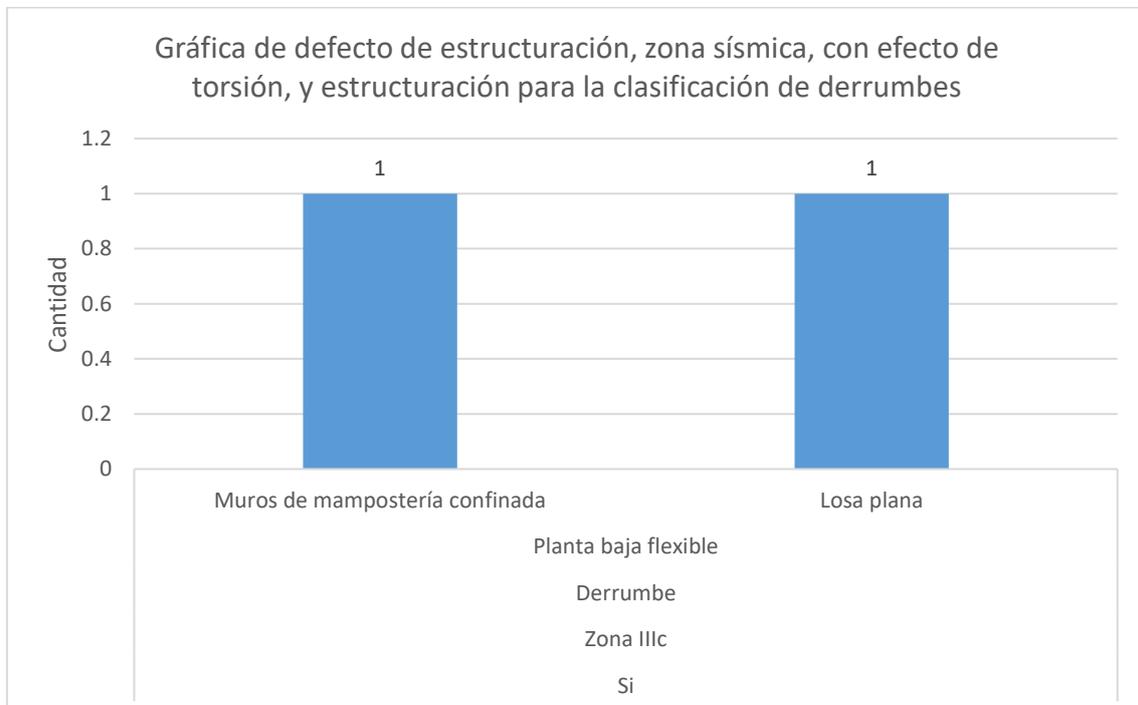


Figura 3.175. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de derrumbes en la zona sísmica IIIc.

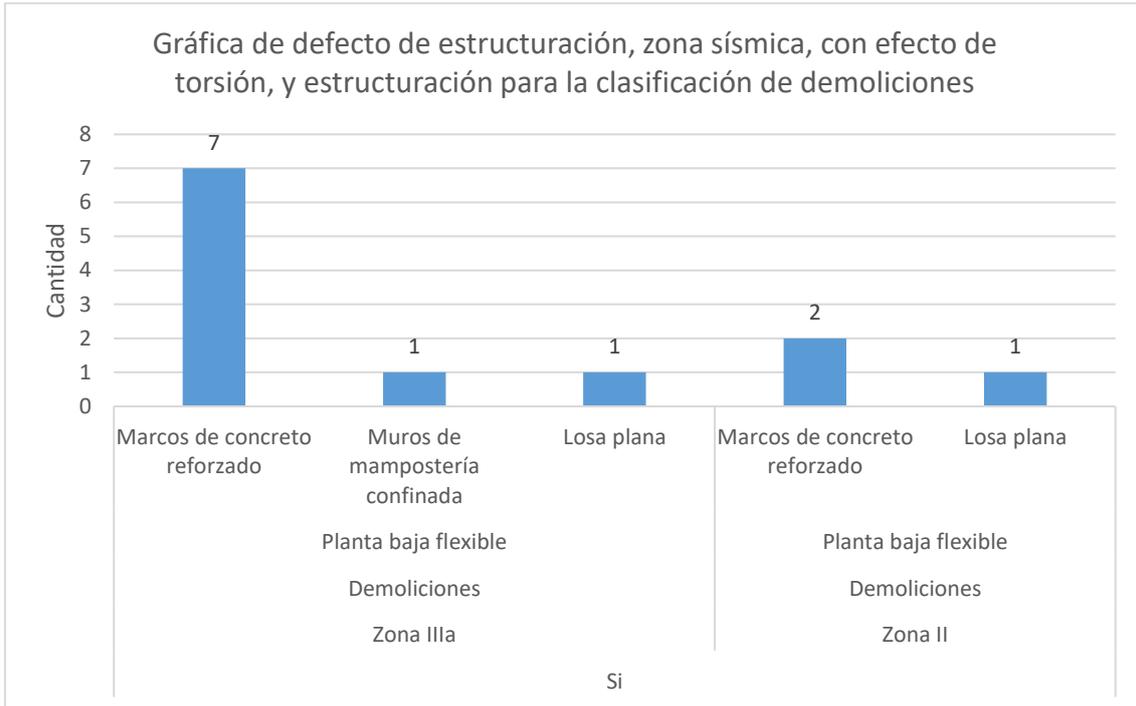


Figura 3.176. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica II.

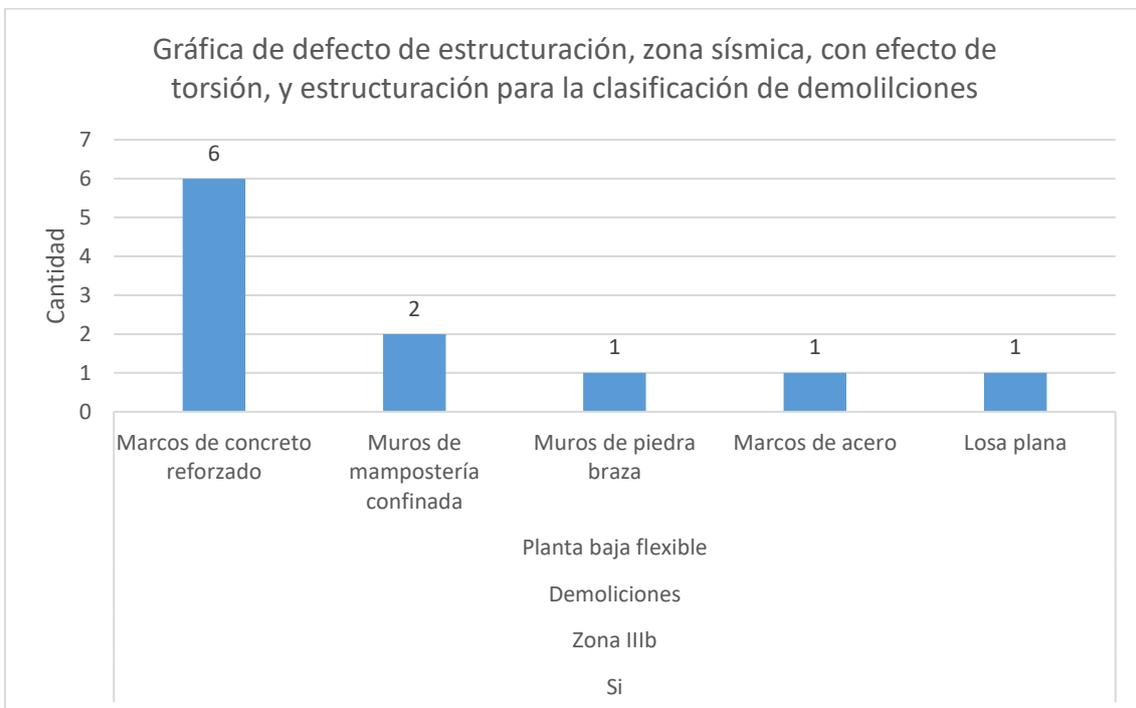


Figura 3.177. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de demoliciones en la zona sísmica IIIb.

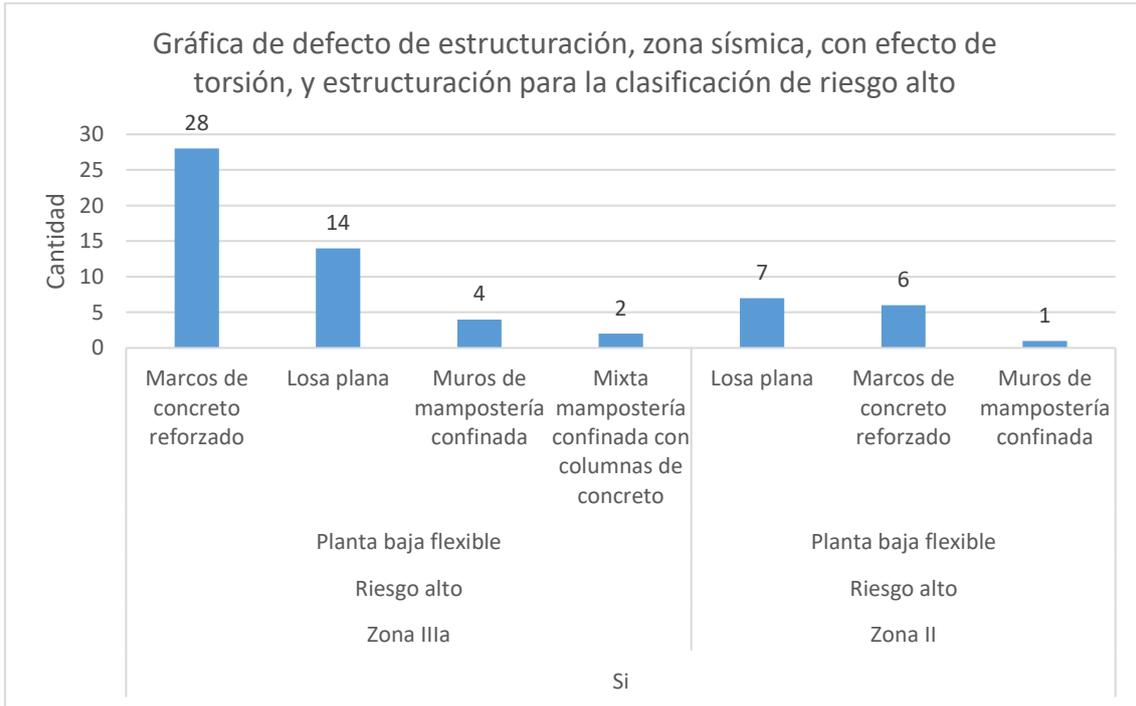


Figura 3.178. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, estructuración para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica II y IIIa.

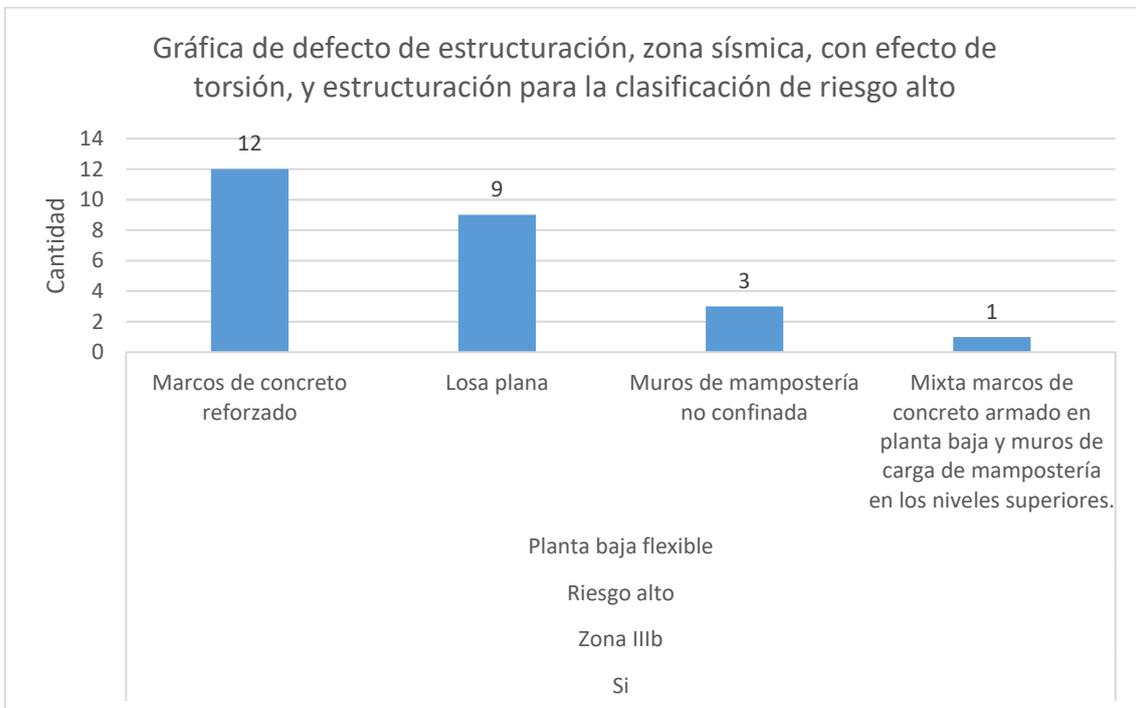


Figura 3.179. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIb.

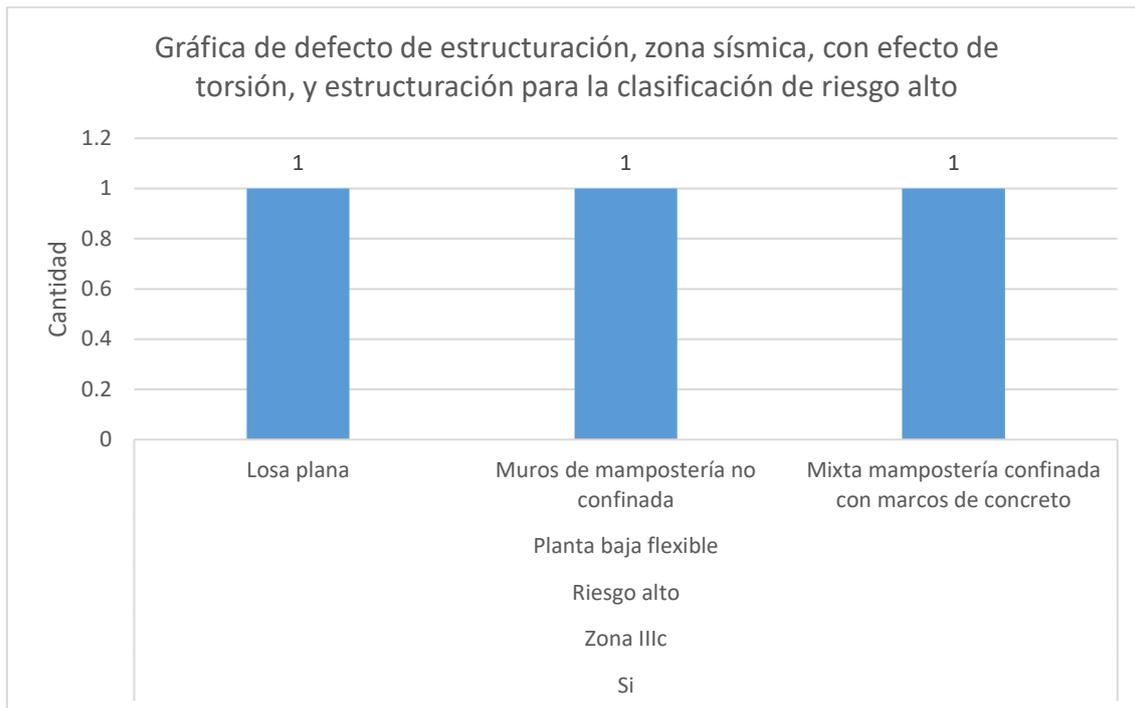


Figura 3.180. Gráfica de defecto de estructuración, con efecto de torsión, y estructuración para la clasificación de riesgo alto en la zona sísmica IIIc.

Para la clasificación de inmuebles de derrumbes (25 inmuebles), los inmuebles que representan la categoría de la sección 3.10, el mayor porcentaje lo representa la estructuración de losa plana con un 40%. De este porcentaje, el 24% corresponde a la zona sísmica IIIa, 4% para la zona sísmica II, 4% para la zona sísmica IIIc y 4% para la zona sísmica IIIb. El segundo mayor porcentaje lo representa la estructuración de marcos de concreto reforzado con un 32%. De este porcentaje le corresponde 12% para la zona sísmica II, 12% para la zona sísmica IIIa, y 8% para la zona IIIb. Finalmente, el menor porcentaje lo representa la estructuración mixta mampostería confinada con marcos de concreto con un 8% para la zona sísmica IIIa.

Para la clasificación de inmuebles de demoliciones, se tiene que para los inmuebles que representan la categoría de la sección 3.10, el mayor porcentaje lo representa la estructuración a base de marcos de concreto reforzado con el 65.22%, de este porcentaje le corresponden el 30.43% para la zona sísmica IIIa, 26.09% para la zona sísmica IIIb, 8.70% para la zona sísmica II. El segundo mayor porcentaje lo representa la estructuración a base de muros de mampostería confinada con un 13.04%, de este porcentaje le corresponden los porcentajes de 8.70% para la zona sísmica IIIb, 4.35% para la zona sísmica IIIa. El menor porcentaje lo representa para la estructuración a base de marcos de acero con un 4.35% para la zona sísmica IIIb, de un total de 23 inmuebles para esta clasificación.

De los inmuebles en riesgo alto (90 inmuebles), el mayor porcentaje lo representa la estructuración de marcos de concreto reforzado con el 51.11%. De este porcentaje, el 31.11% corresponde a la zona sísmica IIIa, 13.33% a la zona sísmica IIIb, y 6.67% a la zona sísmica II. El segundo mayor porcentaje lo representa la estructuración de losa plana con un 34.44%. De este porcentaje le corresponde 15.56% a la zona sísmica IIIa, 10% a la zona sísmica IIIb, 7.78% a la zona sísmica II, y 1.10% a la zona sísmica IIIc. Finalmente, el menor porcentaje lo representa



la estructuración mixta de mampostería confinada con marcos de concreto acero con un 1.11% para la zona sísmica IIIc.

3.11 Tipología de los edificios en base a las estadísticas obtenidas

En la clasificación de derrumbes, de acuerdo al uso del edificio, se tiene el mayor porcentaje de 42.11% para departamentos, cinco niveles representan el mayor porcentaje con 23.68%. De acuerdo a su zonificación sísmica, la zona II tiene el mayor porcentaje con un 7.89% para siete niveles y uso de departamento. La zona sísmica II tiene, en la clasificación de inmuebles de derrumbes, un 12.50% para la estructuración de marcos de concreto reforzado con siete niveles, uso de departamentos, y con defecto de estructuración de planta baja flexible el cual representa el mayor porcentaje de un total de ocho inmuebles para esta clasificación.

La clasificación de derrumbes en la zona sísmica III (IIa, y IIIb) corresponde un 73.68%. Se seleccionó la tipología para esta clasificación y zonificación sísmica de acuerdo al uso, número de niveles, estructuración, y defecto de estructuración. El 10.71%, tiene una estructuración de losa plana, uso de departamentos, de cinco niveles, ubicado en la zona sísmica IIIa, con defecto de estructuración de planta baja flexible. El segundo mayor porcentaje corresponde al 3.57% con una estructuración de marcos de concreto reforzado, de uso de departamentos, de cinco niveles, ubicado en la zona sísmica IIIa, con defecto de estructuración de planta baja flexible.

30% tienen estructuración de marcos de concreto, con un uso de departamentos, de cinco niveles y defecto de estructuración de planta baja flexible, en la zona II.

Para la clasificación de demoliciones en la zonificación sísmica III, 92.31% se encuentran en las zonas IIIa, y IIIb. A partir de este porcentaje se determinará la tipología de inmuebles para la zona sísmica III. El mayor porcentaje es del 10.42% para la estructuración a base de marcos de concreto reforzado, con uso de departamentos, de cinco niveles, con defecto de estructuración de planta baja flexible, y ubicados en la zona sísmica IIIa. El segundo mayor porcentaje es de 4.17% para la estructuración de marcos de concreto reforzado, con uso de departamentos, de nueve niveles, y ubicado en la zona sísmica IIIb.

En riesgo alto y zona sísmica II, el 6.09% corresponde a estructuración de losa plana, con uso de departamentos, de seis niveles, con defecto de estructuración de planta baja flexible.

Para la clasificación de demoliciones en la zonificación sísmica III, se tienen 95.48% en las zonas sísmicas IIIa, IIIb, y IIIc. El mayor porcentaje, 4.05%, corresponde a estructuración de marcos de concreto reforzado, con uso de departamentos, de cinco niveles, con defecto de estructuración de planta baja flexible, y ubicado en la zona sísmica IIIa. El segundo mayor porcentaje es de 3.38% para la estructuración de losa plana, con un uso de departamentos, de seis niveles, con defecto de estructuración de planta baja flexible, y ubicado en la zona sísmica IIIa.



Capítulo 4

4.1 Análisis y diseño de los marcos estructurales

A continuación, se muestran algunas de las propiedades de los marcos estudiados, se presentan las propiedades que se consideran importantes para este trabajo, los diseños estructurales de los mismos están basados en las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF. No se presentan de forma detallada el diseño de sus elementos, ya que no es el objetivo principal de este trabajo.

De acuerdo a la tipología de los edificios analizados en el capítulo 3, se consideran seis edificios que son los estadísticamente más representativos. De los seis edificios tres corresponden a la clasificación de derrumbes y tres a la clasificación de demoliciones.

Para realizar análisis estructural elástico se utilizó el programa SAP2000 versión 20.1.0, con este programa se obtuvieron las características dinámicas de los modelos.

4.2 Descripción del edificio número uno

Este primer edificio corresponde a la clasificación de derrumbes y su uso es habitacional. Se seleccionó de acuerdo con los resultados del capítulo tres, con características frecuentemente encontradas en las estadísticas mostradas en ese capítulo. Su estructuración es con base en marcos de concreto reforzado en el primer nivel, losa maciza en todos los niveles, y muros de tabique sólido confinado a partir del segundo nivel. Sus dimensiones en planta son 20 x 15 m, la separación entre columnas centro a centro es de cinco metros y cuenta con cinco niveles. El primer nivel tiene una altura de 3.50 m y el resto de los niveles es de 3.00 m. En este modelo se consideró el defecto de estructuración de planta baja flexible con muros tipo diafragma de mampostería confinada de block sólido de concreto a sus costados en planta baja. La estructuración y número de niveles se determinó con los resultados estadísticos del capítulo tres. Para su análisis, el edificio se supone ubicado en la sismica IIIa o IIIb de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) RCDF. Por el tipo de suelo, se consideró la interacción suelo estructura en el modelo. La cimentación se compone de 113 pilotes de concreto de 30 cms de diámetro con una longitud de 20 mts. La contratrabe mide 60 x 40 cms colocada en cada uno de sus ejes. En la Figura 0.1 se muestran el modelo numérico para su análisis y diseño estructural.

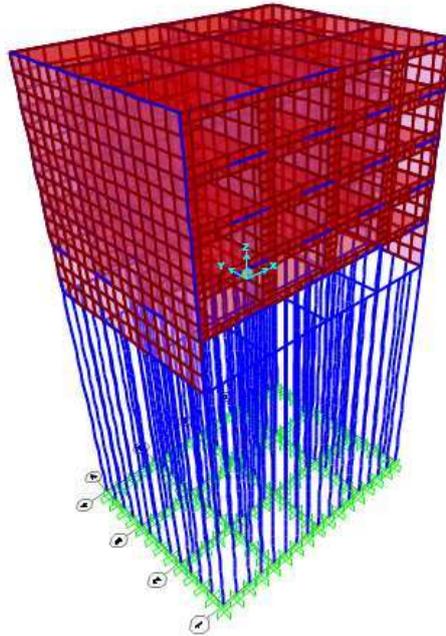


Figura 0.1. Modelo estructural edificio número uno.

4.2.1 Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número uno

Las propiedades de los materiales para los elementos estructurales del edificio número uno se describe en la Tabla 0.1.

Tabla 0.1. Propiedades mecánicas del concreto y del acero estructural.

Propiedades del concreto para traveses, columnas pilotes, contratrases, y losas del modelo número uno	
Peso Volumétrico del Concreto armado (kg/m ³)	2400
Resistencia del concreto a compresión (f'c) (kg/cm ²)	250
Módulo de elasticidad del concreto	$E = 10000\sqrt{f'c}$
Tipo de concreto	Clase II
Propiedades del acero estructural para traveses, columnas y losas del modelo número uno	
Módulo de elasticidad del acero (kg/cm ²)	2.1 X 10 ⁶
Esfuerzo de fluencia del acero (kg/cm ²)	4200
Propiedades del block macizo de concreto para muros de mampostería	



Peso Volumétrico (kg/m ³)	2200
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	5250
Dimensiones (cms)	12X20X40

Se realizó el análisis de cargas sobre los elementos estructurales de acuerdo a los correspondientes pesos de los elementos que integran las losas de entrapiso y azotea, donde se cumplieron los requerimientos del Reglamento De Construcciones Del D.F. (1976). En las tablas Tabla 0.2 y Tabla 0.3 se muestran dichas tablas.

Tabla 0.2. Análisis de cargas del edificio.

Azotea

Material	Espesor (mts)	Peso vol (kg/m ³)	W (kg/m ²)
Impermeabilizante			5
Enladrillado	0.015	1200	18
Mortero	0.02	1500	30
Tezontle	0.1	1250	125
Losa de concreto	0.12	2400	288
Plafón ligero			40
Instalaciones			10
Sobrecarga*			40
Total carga muerta			556
Carga viva (W_m)			100
		CV + CM =	656

Tabla 0.3. Análisis de cargas del edificio número uno.

Entrapiso

Material	Espesor (mts)	Peso vol (kg/m ³)	W (kg/m ²)
Loeta vinílica	0.01	1800	18
Pega piso de 1.5 cms	0.015	1800	27
Losa de concreto	0.12	2400	288
Plafón ligero			40
Instalaciones			10
Sobrecarga*			40
Total carga muerta			423
Carga viva (W_m)			288
		CV + CM =	711

* N.T.C. (1976) Art 224



En virtud de que los edificios dañados en su mayoría se construyeron antes de los años 80's, para el diseño de los modelos se utilizó el reglamento vigente de 1976 a 1985. De acuerdo con el Reglamento De Construcciones del D.F. (1976) se tomaron los valores de cargas vivas mostrados en la tabla Tabla **0.4**.

Tabla 0.4. Cargas vivas utilizadas en el modelo número uno.

Destino de piso o cubierta	W_a (kg/m ²)	W_m (kg/m ²)
a) Habitación (casa– habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	90	$120+420A^{-1/2}$ 288
h) Azoteas con pendiente no mayor de 5 %	70	100

Donde.

W_a = Carga instantánea donde se deberá usar para el diseño sísmico y por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área.

W_m = Carga viva máxima.

Para las distorsiones máximas de entrepiso se tomaron los siguientes valores de las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF donde deben ser inferiores a 0.012 para la planta baja y de 0.006 para los niveles superiores. El factor de comportamiento sísmico de acuerdo a las normas se tomó $Q=4$.

Se realizó un análisis modal espectral utilizando los espectros de diseño con los parámetros del espectro de aceleración de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de 1976 del RCDF que se muestran en la tabla Tabla **0.6**. Las distorsiones máximas de entrepiso en el primer nivel obtenidas a partir del análisis estructural se muestran en la tabla Tabla **0.6**.

Tabla 0.5. Parámetros del espectro de aceleración.

Zona	c	α_0	T_a	T_b	r
I	0.16	0.03	0.3	0.8	1/2
II	0.2	0.045	0.5	2.0	2/3
III	0.24	0.06	0.8	3.3	1

Donde.

c = Coeficiente sísmico

α_0 = Valor de a que corresponde $\alpha T = 0$

T_a, T_b = Periodos característicos de los espectros de diseño

r = Exponente en las expresiones para el cálculo de las ordenadas de los espectros de diseño

Tabla 0.6. Distorsiones de entrepiso para el edificio número uno.

Nivel	hi (cms)	entrepiso h (cms)	Desp Δx (cms)	Desp Δy (cms)
1	350	350	2.96	1.23
2	650	300	3.80	1.74
3	950	300	4.50	2.23
4	1250	300	5.06	2.65
5	1550	300	5.41	2.96

Distorsión x	Distorsión y	Revisión x	Revisión y
0.0085	0.0035	< 0.012 O.K	< 0.012 O.K
0.0028	0.0017	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0023	0.0016	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0019	0.0014	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0012	0.0010	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K

Aunque las distorsiones de entrepiso no superan lo máximo permitido se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos, ya que en el análisis dinámico no lineal como se muestra en la sección 4.3 de este capítulo se sobrepasa la distorsión máxima permitida y el índice de daño corresponde a un edificio que podría alcanzar el colapso.

En la figura Figura 0.1 se muestra en planta el edificio número uno con sus respectivos ejes. En las tablas Tabla 0.7 y Tabla 0.8 se muestran los resultados del diseño estructural elástico utilizando las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF .

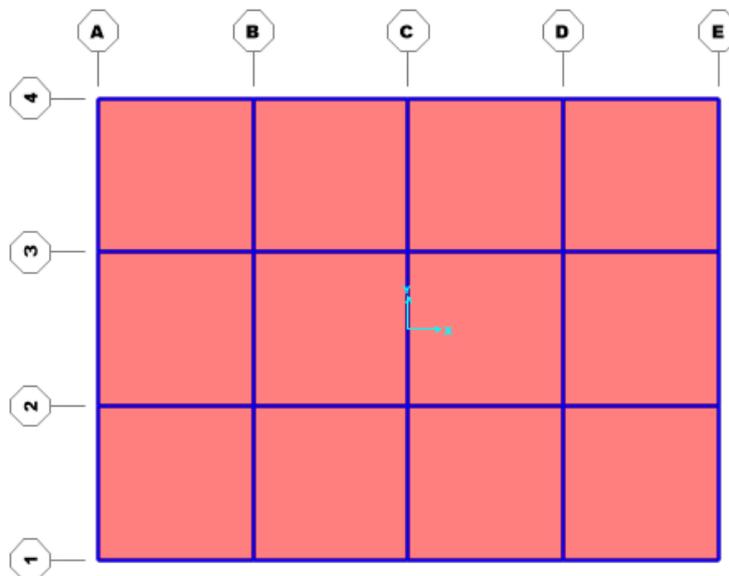


Figura 0.1. Planta con sus respectivos ejes del edificio número uno.



Tabla 0.7. Resultados del diseño estructural de trabe de concreto armado del modelo estructural número uno.

Eje	Nivel	Trabe	Armado del lecho inferior	Armado del lecho superior	Armado transversal
1	PB	45 x 25 cms	2 V#4	2 V#5	E#3 @ 15 cms
2	PB	45 x 25 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#4 @ 20 cms
3	PB	45 x 25 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#4 @ 20 cms
4	PB	45 x 25 cms	2 V#4	2 V#5	E#3 @ 15 cms
A	PB	45 x 25 cms	2 V#4	2 V#5	E#3 @ 15 cms
B	PB	45 x 25 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cms
C	PB	45 x 25 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cms
D	PB	45 x 25 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cms
E	PB	45 x 25 cms	2 V#4	2 V#5	E#3 @ 15 cms

Tabla 0.8. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del modelo estructural número uno.

Eje	Nivel	Columna	Armado	Armado transversal
A-1	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
B-1	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
C-1	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
D-1	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
E-1	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
A-2	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
B-2	PB	40 x 40 cms	8 V#8	E#4 @ 40 cms
C-2	PB	40 x 40 cms	8 V#8	E#4 @ 40 cms
D-2	PB	40 x 40 cms	8 V#8	E#4 @ 40 cms
E-2	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
B-3	PB	40 x 40 cms	8 V#8	E#4 @ 40 cms
C-3	PB	40 x 40 cms	8 V#8	E#4 @ 40 cms
D-3	PB	40 x 40 cms	8 V#8	E#4 @ 40 cms
E-3	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
A-4	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
B-4	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
C-4	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
D-4	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms
E-4	PB	40 x 40 cms	1 V#6 Esquinas, 1 V#4 Caras	E#3 @ 30 cms

Para los modelos no lineales, se consideró al edificio con zona de estribos confinada en los extremos de las columnas de concreto reforzado, de acuerdo con lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Concreto de 1976 del RCD, y también se analizó el caso en el que las columnas no tuvieran dicho confinamiento.



4.3 Análisis dinámico no lineal del edificio número uno

Del edificio número uno se realizó el análisis dinámico no lineal utilizando el programa Perform 3d V7.0.0. El suelo se modeló utilizando resortes con la rigidez correspondiente a los suelos de la Ciudad de México. Se utilizaron 26 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica IIIa y IIIb ya que de acuerdo al capítulo 2 en estas dos zonas sísmicas se presentaron un gran número de inmuebles con derrumbes. Adicionalmente, se incluyeron tres acelerogramas correspondientes a la zona sísmica II debido a su cercanía con la zona de los inmuebles que sufrieron colapso. Los acelerogramas utilizados se muestran en la tabla Tabla 0.1.

Tabla 0.1. Registros sísmicos utilizados para el análisis dinámico no lineal del edificio uno.

Registro sísmico	Zonificación sísmica	Dirección	A máx (g)	Dirección	A máx (g)
AL01	Zona IIIb	N00E	0.119	N90W	0.111
AO24	Zona II	N00E	0.108	N90W	0.122
AU46	Zona II	N00E	0.078	N90W	0.097
BL45	Zona IIIb	N00E	0.104	N90W	0.116
CCCL	Zona IIIb	N00E	0.087	N90W	0.074
CH84	Zona IIIa	N00E	0.152	N90W	0.230
CI05	Zona IIIb	N00E	0.115	N90W	0.116
CJ03	Zona IIIb	N00E	0.114	N90W	0.100
CJ04	Zona IIIb	N00E	0.099	N90W	0.126
CO56	Zona IIIb	N00E	0.112	N90W	0.116
DX37	Zona II	N00E	0.192	N90W	0.126
GA62	Zona IIIb	N00E	0.099	N90W	0.086
GC38	Zona IIIa	N00E	0.128	N90W	0.126
IB22	Zona IIIa	N00E	0.121	N90W	0.164
JC54	Zona IIIa	N00E	0.224	N90W	0.208
LI33	Zona IIIa	N00E	0.141	N90W	0.115
LI58	Zona IIIb	N00E	0.098	N90W	0.092
LV17	Zona IIIa	N00E	0.125	N90W	0.106
MI15	Zona IIIa	N00E	0.211	N90W	0.136
PCJR	Zona IIIb	N00E	0.101	N90W	0.097
PE10	Zona IIIb	N00E	0.103	N90W	0.127
RM48	Zona IIIb	N00E	0.062	N90W	0.080
SCT2	Zona IIIb	N00E	0.094	N90W	0.092
SI53	Zona IIIa	N00E	0.131	N90W	0.181
SP51	Zona IIIb	N00E	0.078	N90W	0.102
TL08	Zona IIIb	N00E	0.085	N90W	0.083
TL55	Zona IIIb	N00E	0.084	N90W	0.070
UC44	Zona IIIa	N00E	0.127	N90W	0.126
VG09	Zona IIIb	N00E	0.122	N90W	0.103



El edificio se modeló en la planta baja flexible con muros tipo diafragma laterales de comportamiento inelástico en su plano y en el resto de niveles los muros de mampostería confinada se suponen de comportamiento lineal ya que por tener muros en cada uno de los ejes al realizar el análisis dinámico no lineal su distorsión de entrepiso es tan pequeña que se tiene un comportamiento lineal en los mismos.

El edificio sin dispositivos disipadores de energía ni contravientos se le denomina modelo de control. Las figuras Figura 0.1 y Figura 0.2 muestran los desplazamientos y distorsiones de la planta baja flexible, respectivamente, correspondiente al análisis dinámico no lineal del modelo de control con columnas confinadas en los extremos por estribos.

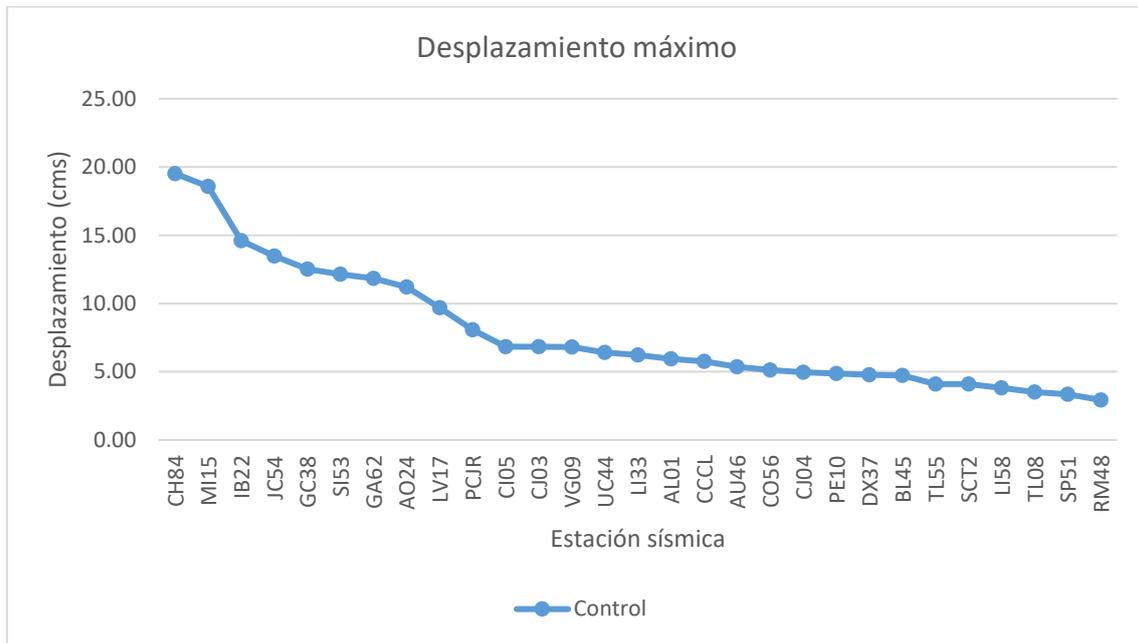


Figura 0.1. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado.

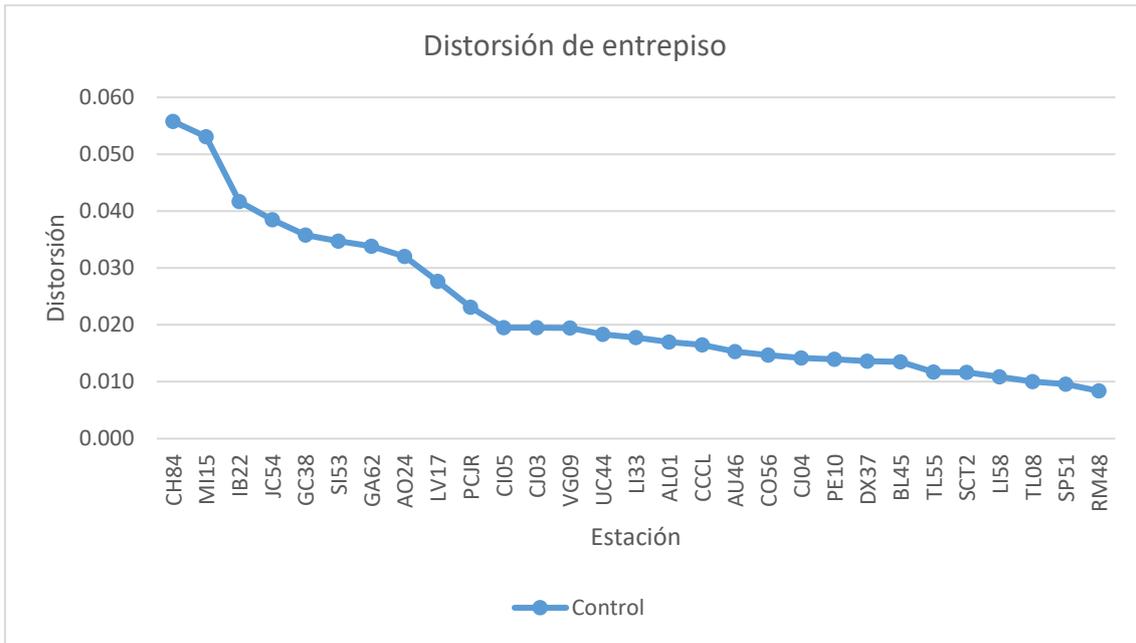


Figura 0.2. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado.

En la figura Figura **0.3** muestra el desplazamiento máximo del primer nivel, para cada acelerograma correspondiente al modelo de control sin confinamiento de estribos. La figura Figura **0.4** muestra los resultados de la distorsión de entrepiso de la planta baja flexible para este mismo modelo.

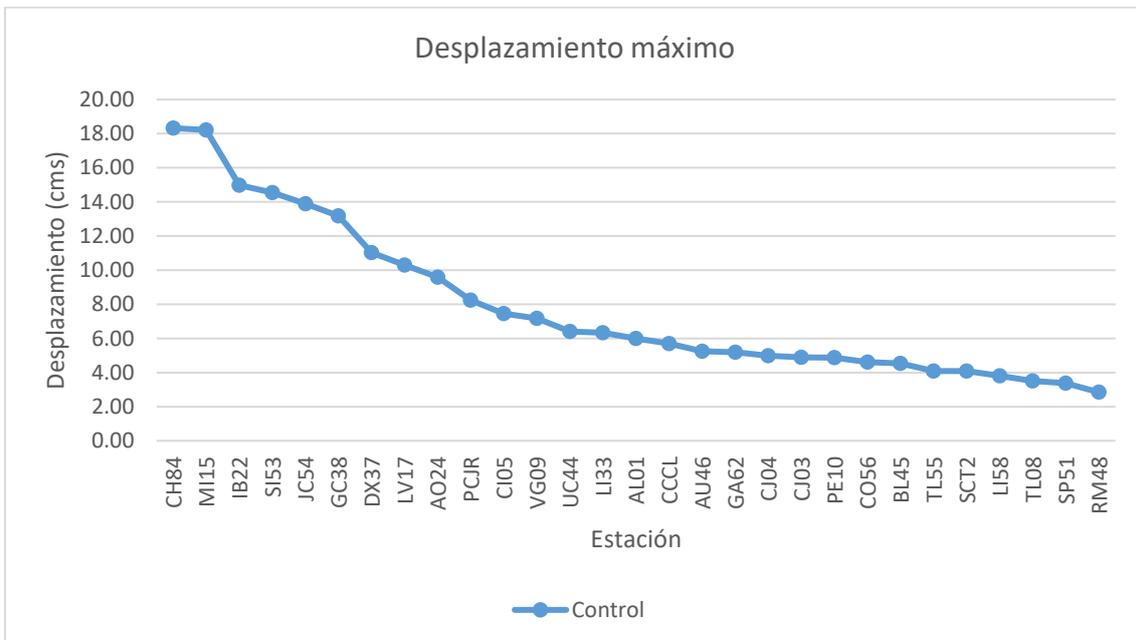


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control no confinado.

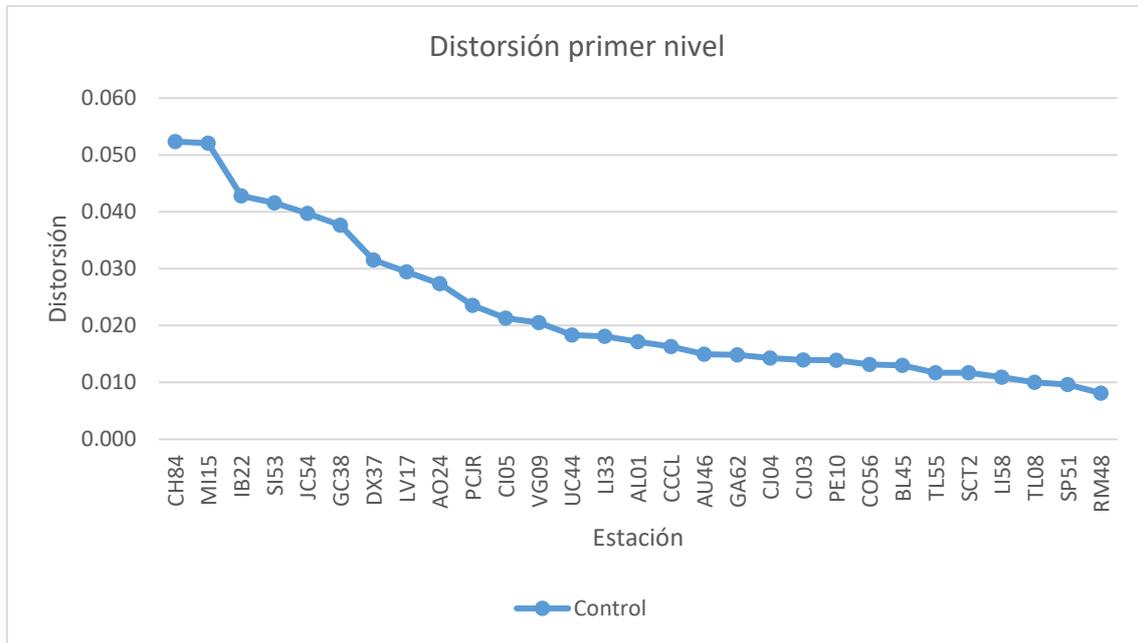


Figura 0.4. Distorsión de entresuelo del primer nivel del modelo de control confinado.

En la figura Figura 0.2 de acuerdo con Akbari (2010), una distorsión de entresuelo correspondiente a 0.056 para el registro sísmico CH84 corresponde a un edificio que hubiera sufrido colapso. En la figura Figura 0.4 con una distorsión de entresuelo de 0.052 también su índice de daño corresponde al colapso. Por lo tanto, en ambos modelos se justifica el utilizar disipadores de energía y contravientos. Aunque la demanda de distorsiones es similar en ambos casos, la capacidad dúctil del modelo sin confinamiento es fuertemente reducida por la excesiva separación de estribos en las zonas de posible formación de articulaciones plásticas.

4.4 Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía (amortiguadores viscosos) de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, el procedimiento de diseño se muestra con mayor detalle en el anexo A de este trabajo. A continuación, se describe el prediseño del edificio número uno.

Analizando el sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos:

Datos

$A = 300 \text{ m}^2$, $W = 992.20 \text{ kg/m}^2$, Numero de niveles = 5, $E = 158114 \text{ kg/cm}^2$

Dimensiones de columnas = 40 x 40 cm, Número de columnas = 20

Altura del primer nivel (L) = 350 cm, $\theta_y = 0.003 \text{ rad}$ (Akbari, 2010)

Cálculos

$W_t = A * W * \text{Numero de niveles} = 1488294 \text{ kgs}$



$$M_t = \frac{W_t}{g} = 1517.1 \text{ kg} - s^2/cm$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = 213333 \text{ cm}^4$$

$$I_{ag} = 0.7I_g = 149333 \text{ cm}^4$$

$$K_{col} = \frac{12EI_{ag}}{L^3} = 6609 \text{ kg/cm}$$

$$K_{niv} = K_{col} * \text{Número de columnas} = 132170 \text{ kg/cm}$$

$$\omega_n = \frac{M_t}{K_{niv}} = 9.33 \text{ rad/s}$$

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} = 0.673 \text{ s}$$

Con el valor del periodo T_n se ingresa al espectro y se lee el valor de S_a como se muestra en la figura Figura 0.1.

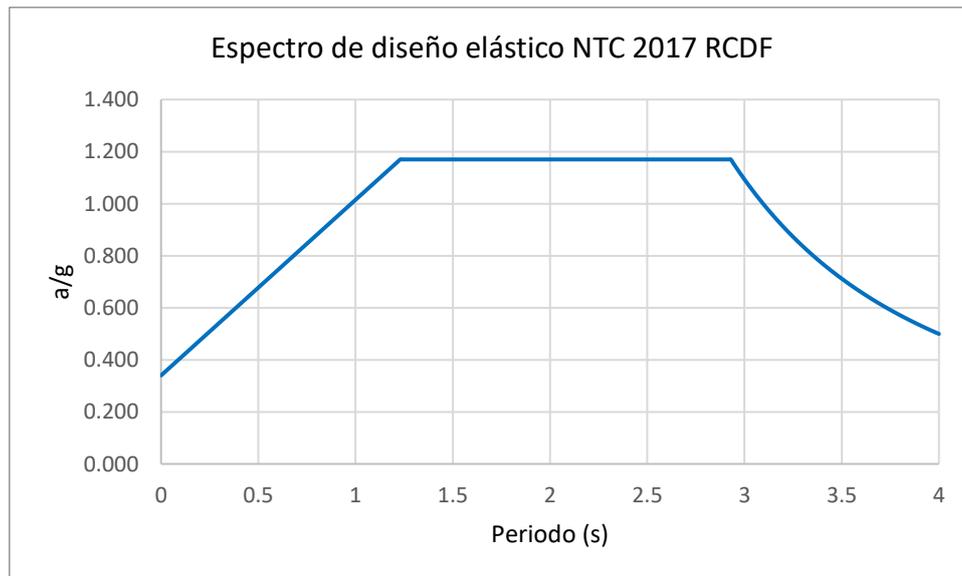


Figura 0.1. Espectro de diseño elástico NTC 2017 RCDF para la zona sísmica IIIb.

$$S_a = 777.1 \text{ cm/s}^2$$

$$S_v = \frac{S_a}{\omega_n} = 83.25 \text{ cm/s}$$

$$S_d = \frac{S_v}{\omega_n} = 8.92 \text{ cm}$$

$$\Delta_y = L * \theta_y = 1.05 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{S_d}{\Delta_y} = 8.49$$



$$V_b = \frac{S_a}{g} W_t = 1178898 \text{ kg}$$

Colocando dispositivos para reducir la demanda de ductilidad

Datos

Cantidad de dispositivos = 8, $C = 8976 \text{ kg-s/cm}$, $\Delta_y = 1.05 \text{ cm}$, $\Delta = 1.00 \text{ cm}$

El valor de C vario de valor mediante varias iteraciones para llegar a un amortiguamiento equivalente lo más aproximado del 30% que más adelante se calcula.

Cálculos de las propiedades dinámicas:

$$\mu = \frac{\Delta}{\Delta_y} = 1.05$$

$$\omega_n = 16.16 \text{ rad/s}$$

El valor de ω_n vario de valor mediante varias iteraciones para llegar a un amortiguamiento equivalente lo más aproximado del 30%.

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} = 0.389 \text{ s}$$

$$T_{eff} = T_n \sqrt{\mu} = 0.4 \text{ s}$$

Con el valor del periodo T_n se ingresa al espectro y se lee el valor de T_b figura Figura **0.1**.

$$T_b = 2.93 \text{ s}$$

$$S_v = 32.38 \text{ cm/s}$$

$$F_{disp} = C * S_v = 290643 \text{ kg}$$

El valor de S_v vario de valor mediante varias iteraciones para llegar a un amortiguamiento equivalente lo más aproximado del 30%.

$$k_{niv} = k_{niv} + (F_{disp}/\Delta) = 396391 \text{ kg/cm}$$

Calculo de ω_n

$$\omega_n = \frac{k_{niv}}{M_t} = 16.16 \text{ rad/s}$$

Se tiene que el valor propuesto de ω_n y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto.

Calculo del amortiguamiento:

Datos

$$\beta_i = 0.05, \theta = 35^\circ$$

$$W_n = F_{disp} * \Delta * \pi * \cos(F_{disp} * \pi/180)^2 = 674120 \text{ kg}$$

$$W = \Delta * k_{niv} * \frac{\Delta}{2} = 239817 \text{ kg}$$



$$\beta_{v1} = \frac{\pi W_n}{4W} = 0.22$$

$$q_H = \max \left[\min \left(1, 0.67 * \frac{T_n}{T_b} \right), 0.5 \right] = 1$$

$$\beta_{HD} = q_H(0.64 - \beta_i) \left(1 - \frac{1}{\mu} \right) = 0.027$$

$$\beta_{eq} = \beta_{v1} + \beta_i \sqrt{\mu} + \beta_{HD} = 0.30$$

El valor calculado de β_{eq} es cercano al 30% por lo tanto los cálculos son correctos.

Cálculo de cantidades espectrales:

Con el valor del periodo T_{eff} se ingresa al espectro y se lee el valor de S_a figura Figura 0.2.

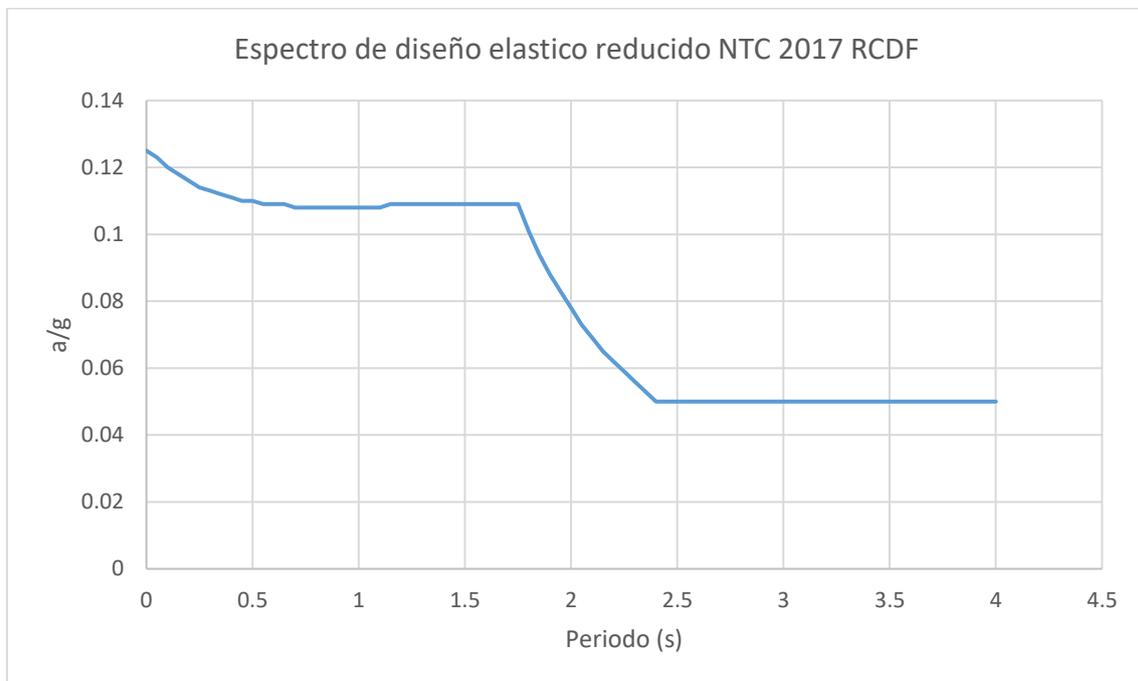


Figura 0.2. Espectro de diseño elástico reducido NTC 2017 RCDF para la zona sísmica IIIb.

$$S_a = 523.3 \text{ cm/s}^2$$

$$S_v = \frac{S_a}{\omega_n} = 32.38 \text{ cm/s}$$

$$S_d = \frac{S_v}{\omega_n} = 2.00 \text{ cm}$$

El valor propuesto de S_v y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto.

Los valores obtenidos en el prediseño de los amortiguadores viscosos se utilizaron en el modelo del edificio de control confinado y no confinado en sus columnas por estribos de acuerdo a las NTC-76 RCDF. Se empleó el programa Perform 3d V7.0.0 y se obtuvieron la demanda de desplazamientos del primer nivel. Los desplazamientos y distorsiones del primer nivel obtenidos con el análisis dinámico no lineal se muestran en las figuras Figura 0.3 a Figura 0.6.

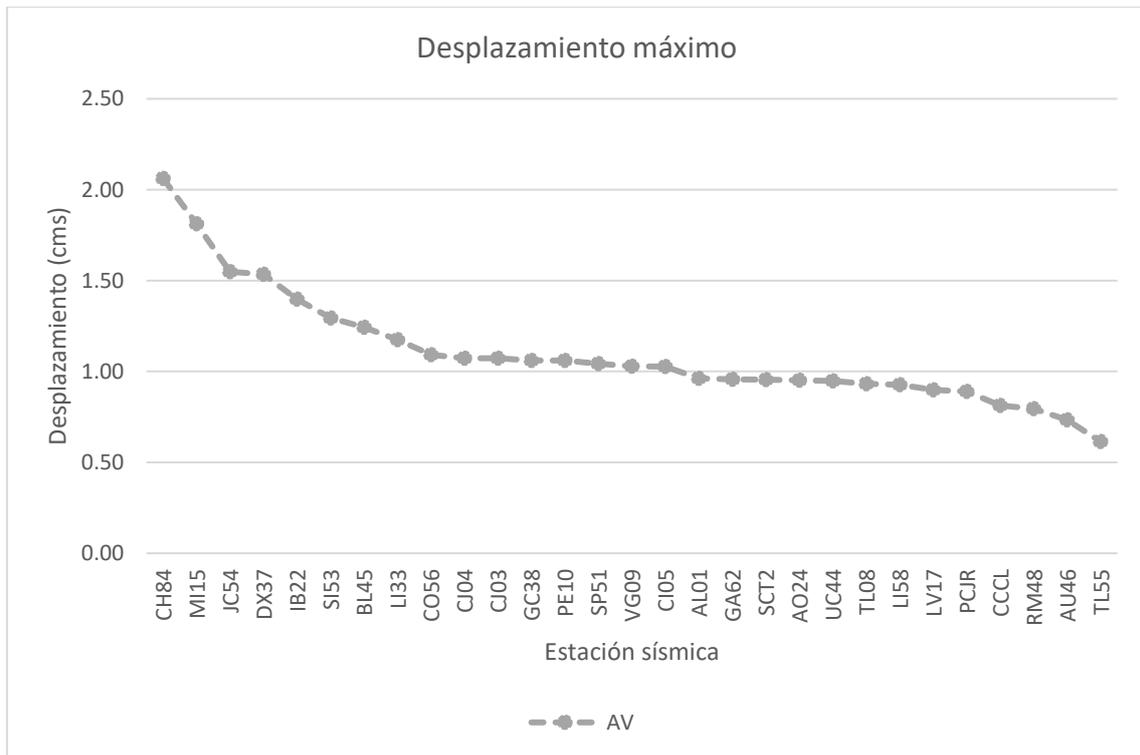


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con amortiguadores viscosos

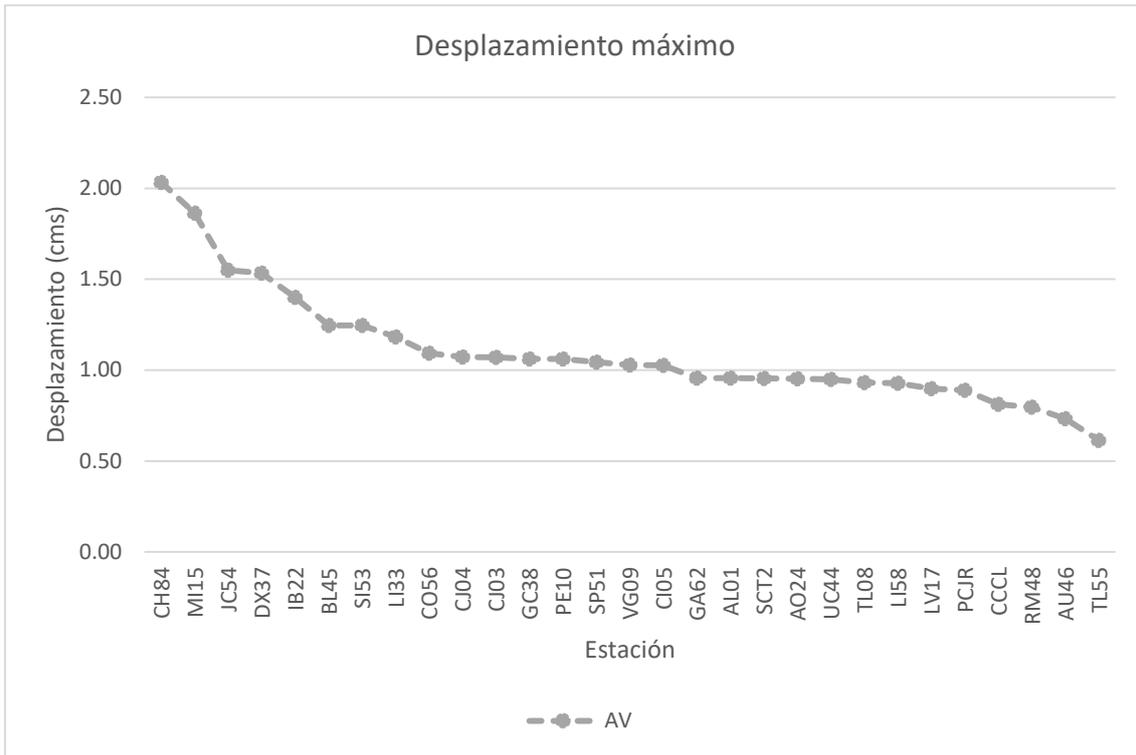


Figura 0.4. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control no confinado con amortiguadores viscosos.

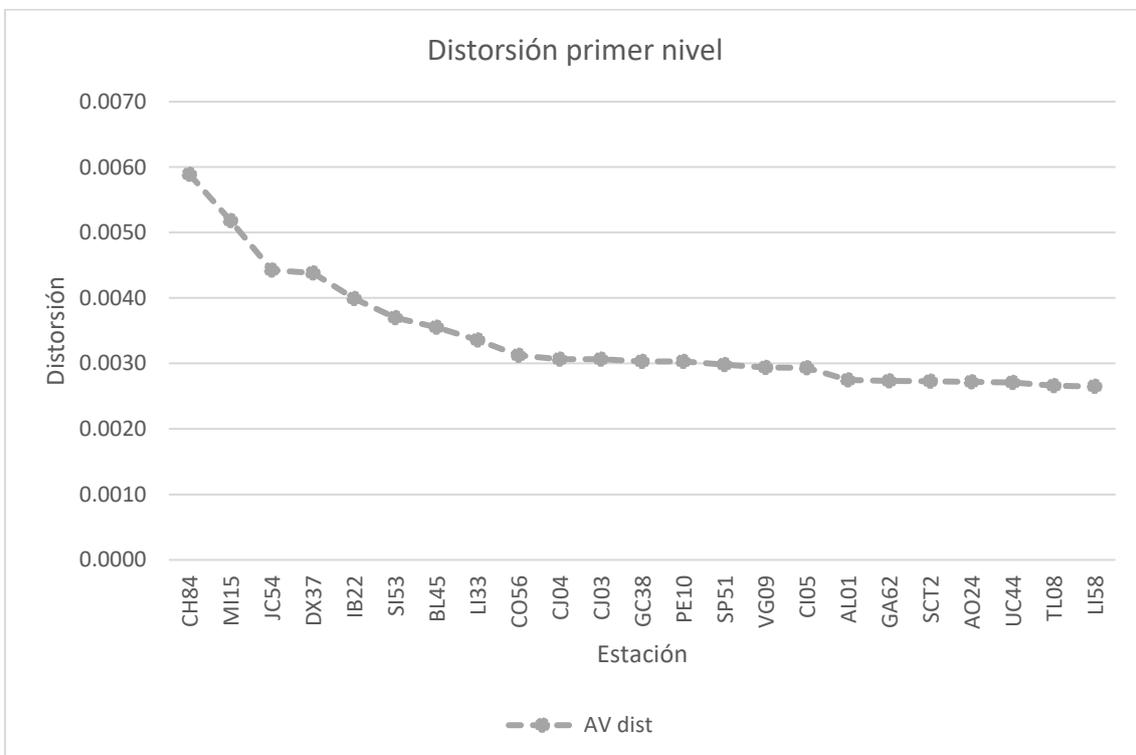


Figura 0.5. Distorsión de entepiso del primer nivel del modelo de control confinado con amortiguadores viscosos.

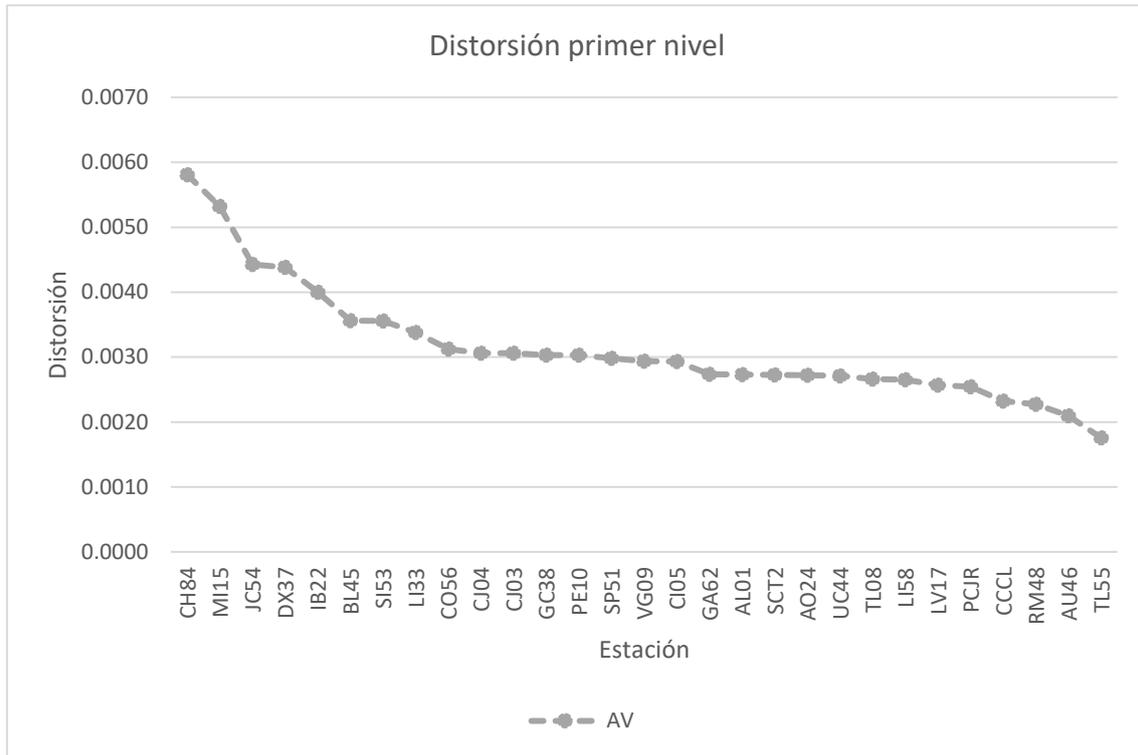


Figura 0.6. Distorsión de entresuelo del primer nivel del modelo de control no confinado con amortiguadores viscosos.

Las figuras Figura 0.5 y Figura 0.6 muestran que la distorsión máxima de entresuelo no excede el valor máximo permitido por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (1976). Por ello, el diseño de los amortiguadores viscosos se considera adecuado.

4.5 Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía TADAS de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad. El procedimiento detallado de diseño se muestra en el anexo A de este trabajo. A continuación, se muestran los resultados del prediseño del edificio número uno.

Analizando el sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos:

Datos

$A = 300 \text{ m}^2$, $W = 992.20 \text{ kg/m}^2$, Numero de niveles = 5, $E = 158114 \text{ kg/cm}^2$

Dimensiones de columnas = 40 x 40 cm, Cantidad de columnas = 20

Altura del primer nivel (L) = 350 cm, $\theta_y = 0.003 \text{ rad}$ (Akbari, 2010)

Cálculos

$W_t = A * W * \text{Numero de niveles} = 1488294 \text{ kgs}$



$$M_t = \frac{W_t}{g} = 1517.1 \text{ kg} - s^2/cm$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = 213333 \text{ cm}^4$$

$$I_{ag} = 0.7I_g = 149333 \text{ cm}^4$$

$$K_{col} = \frac{12EI_{ag}}{L^3} = 6609 \text{ kg/cm}$$

$$K_{niv} = K_{col} * \text{Cantidad de columnas} = 132170 \text{ kg/cm}$$

$$\omega_n = \frac{M_t}{K_{niv}} = 9.33 \text{ rad/s}$$

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} = 0.673 \text{ s}$$

Con el valor del periodo T_n se ingresa al espectro y se lee el valor de S_a

$$S_a = 777.1 \text{ cm/s}^2$$

$$S_v = \frac{S_a}{\omega_n} = 83.25 \text{ cm/s}$$

$$S_d = \frac{S_v}{\omega_n} = 8.92 \text{ cm}$$

$$\Delta_y = L * \theta_y = 1.05 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{S_d}{\Delta_y} = 8.49$$

$$f_y = K_{niv} * \Delta_y = 138779 \text{ kg}$$

$$V_b = \frac{S_a}{g} W_t = 1178898 \text{ kg}$$

Dimensionamiento de dispositivos:

Datos de los dispositivos tipo TADAS

Cantidad de dispositivos = 8, $E = 2038900 \text{ kg/cm}^2$, $f_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon_y = 0.00125$,

$\epsilon_{\text{máx}} = 0.02$ (Ramirez *et al.* 2000)

Altura (h) = 15 cm, base (b) = 10 cm, espesor (t) = 0.64 cm, $\mu_{\text{máx}} = 10.7$, $V_y/V_{yd} = 1.7$

Cálculos

$$V_{yd} = \frac{f_y}{V_y/V_{yd}} = 81635 \text{ kg}$$

$$F_{yd} = \frac{V_{yd}}{\text{Cantidad de dispositivos}} = 10204 \text{ kg}$$



$$\text{Cantidad de placas} = \frac{4F_{yd}t^2}{f_y b} = 59$$

$$\Delta_{yd} = 1.5e_y \left(\frac{h^2}{e_y} \right) = 0.66 \text{ cm}$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \varepsilon_{m\acute{a}x} \left(\frac{h^2}{t} \right) = 7.00 \text{ cm}$$

$$k_e = \frac{F_{yd}}{\Delta_{yd}} = 15480 \text{ kg/cm}$$

Representación tri-lineal equivalente

$$F_{yd} = V_{yd} + K_{niv} * \Delta_{yd} = 168759 \text{ kg}$$

$$F_{yf} = f_y + V_{yd} = 220413 \text{ kg}$$

Representación elastoplástica equivalente

$$D_y = D_{yf}$$

Calculo de sistema lineal equivalente

Datos

$$\beta_i = 0.05, D_{ob} = 2.45 \text{ cm}$$

$$\mu_D = \frac{D_{ob}}{D_y} = 2.67$$

$$A_d = \frac{V_{yd}}{W_t} g = 53.80$$

$$A_y = \frac{f_y}{W_t} g = 91.5$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{D_{ob}}{A_d + A_y}} = 0.82 \text{ s}$$

$$\mu_f = \frac{D_{ob}}{\Delta_y} = 2.34$$

$$\mu_d = \frac{D_{ob}}{D_{yd}} = 3.70$$

$$q_H = 0.50$$

$$\frac{A_d}{A_y} = 0.59$$

$$\beta_{HD} = \frac{2q_H \left(1 - \frac{1}{\mu_f} \right) + 2 \frac{A_d}{A_y} \left(1 - \frac{1}{\mu_d} \right) \left(1 + \frac{A_d}{A_y} \right)}{\pi} = 0.287$$



$$\beta_{eff} = \beta_i \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{A_d}{A_y}}} = 0.30$$

$$\lambda = \begin{cases} T_{eff} < T_c = 0.45 \\ T_{eff} > T_c = 0.45 \frac{T_c}{T_{eff}} \end{cases} = 0.45$$

$$\beta = \left(\frac{\beta_i}{\beta_{eff}} \right)^\lambda = 0.447$$

Sistema lineal efectivo

Con el valor del periodo T_{eff} se ingresa al espectro y se lee el valor de S_a

$$S_a = 0.887 \text{ cm/s}^2$$

$$\beta * S_a = 0.396$$

$$S_a \frac{\beta}{\mu} = 0.15$$

Desplazamiento de azotea

$$D = \frac{\pi^2 S_a \frac{\beta}{\mu} g T_{eff}^2}{4} = 2.46 \text{ cm}$$

Se tiene que el valor de D_{ob} propuesto y D son muy aproximados por lo tanto los cálculos son correctos.

Se realizó el análisis dinámico no lineal con el programa Perform 3d V7.0.0 del edificio de control número uno con dispositivos tipo TADAS y contravientos tipo chevron de acero W12X30 colocados en los ejes del uno al cuatro, como se muestra en la figura Figura **0.1** en los ejes del uno al cuatro (figura Figura **0.1**). Los resultados de desplazamientos y distorsiones del modelo de control confinado y no confinado con dispositivos de control pasivos tipo TADAS se muestran en las figuras Figura **0.2** a Figura **0.5**.

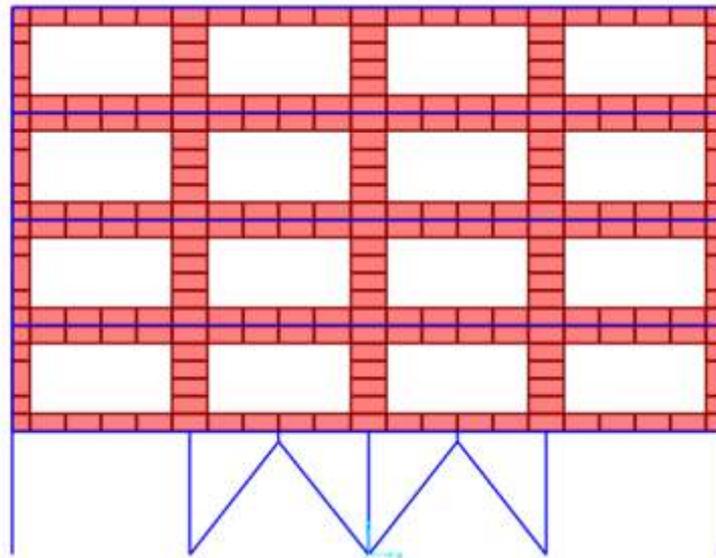


Figura 0.1 Edificio número uno con dispositivos de control tipo pasivo tipo TADAS.

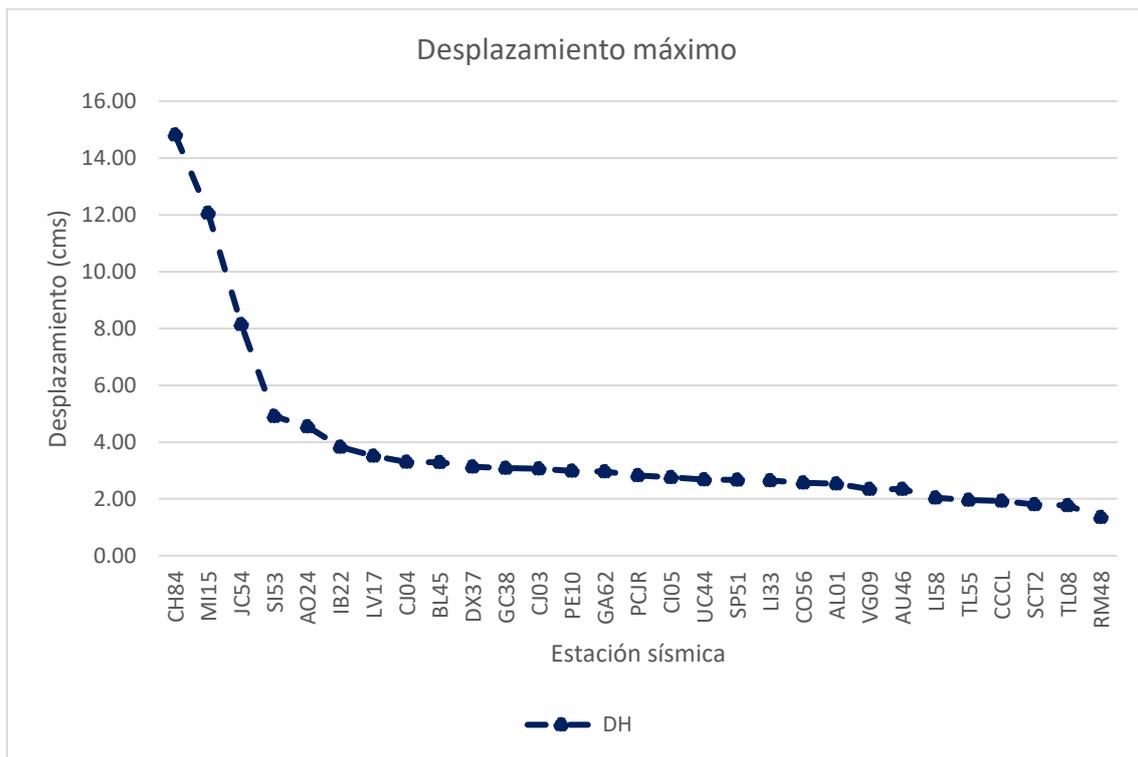


Figura 0.2. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS.

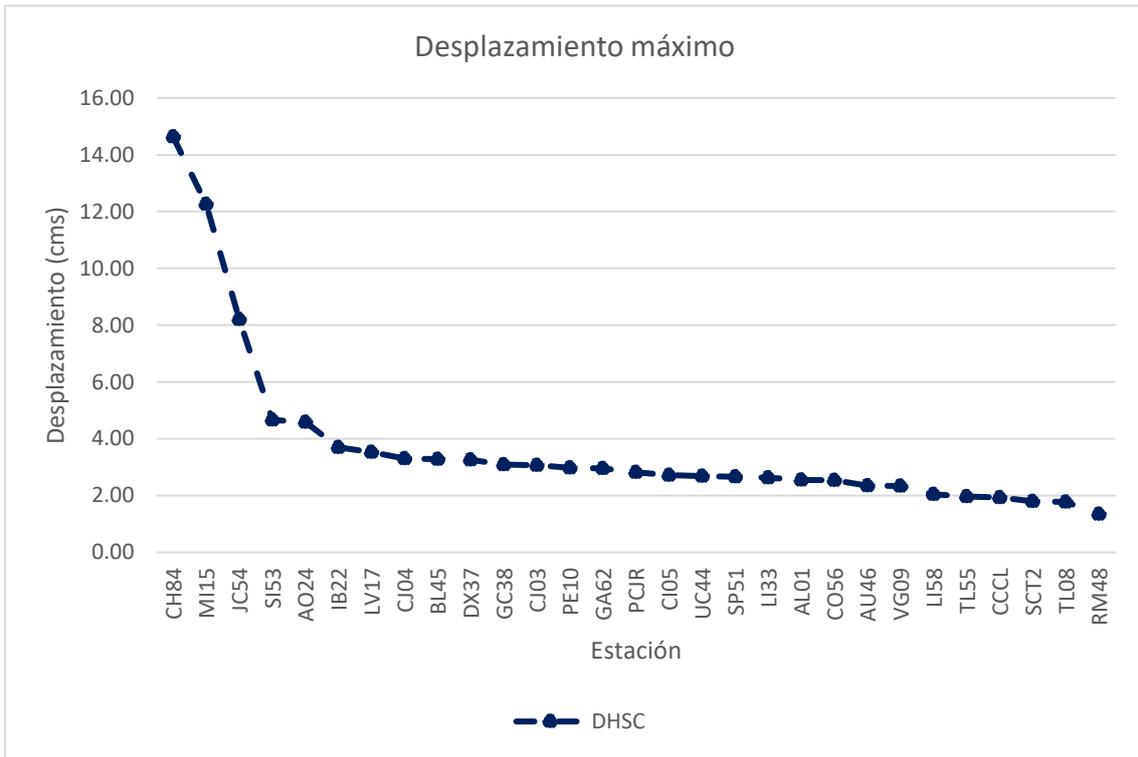


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS.

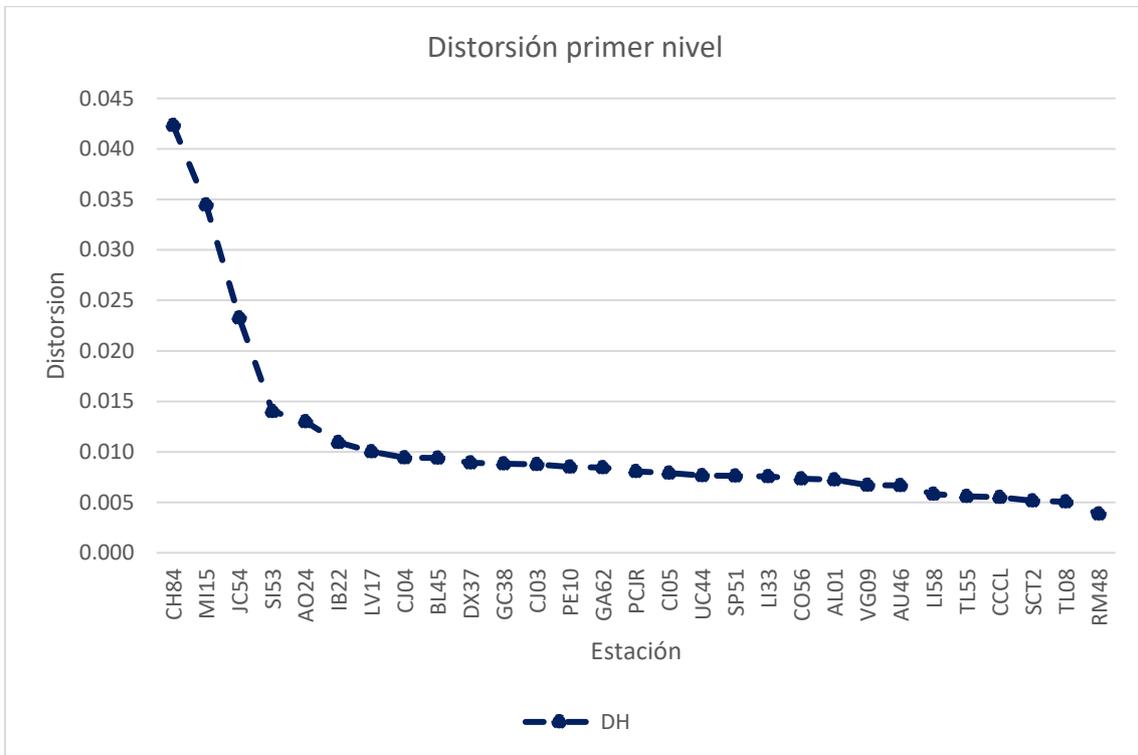


Figura 0.4. Distorsión de entepiso del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS.

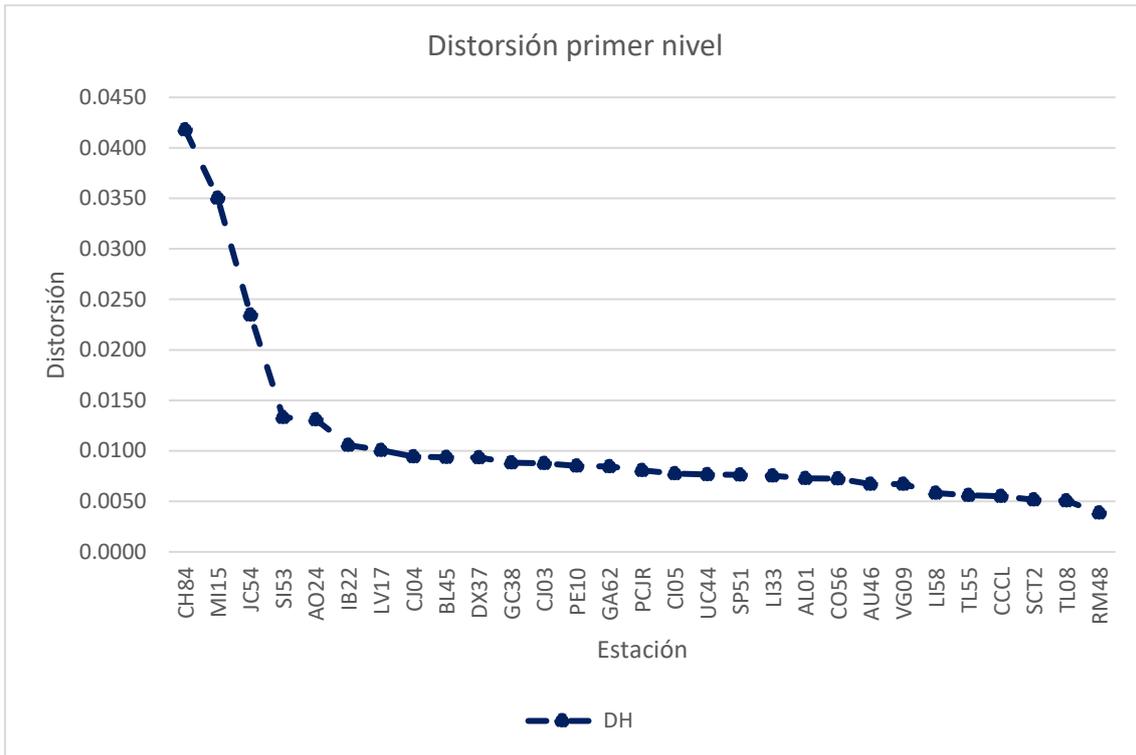


Figura 0.5. Distorsión de entrepiso del primer nivel del modelo de control no confinado con dispositivo de control pasivo tipo TADAS.

Las figuras Figura 0.4 y Figura 0.5 muestran que la distorsión máxima promedio de entrepiso no excede lo máximo permitido por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (1976). Por ello, el diseño de los dispositivos de control pasivos tipo TADAS es el adecuado.

Las figuras Figura 0.6 y Figura 0.7 se muestra la ductilidad de los dispositivos de control tipo TADAS obtenidos del análisis dinámico no lineal, para el modelo de control confinado y no confinado con dispositivos tipo TADAS.

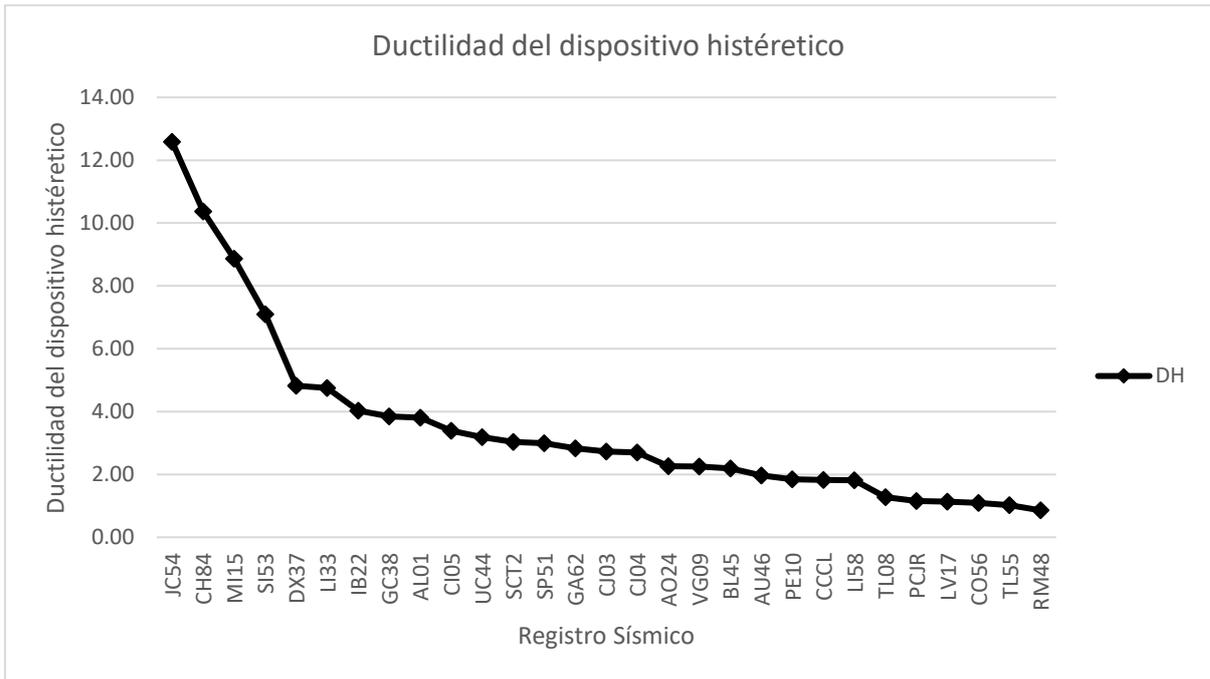


Figura 0.6. Ductilidad del dispositivo histéretico del modelo de control confinado con dispositivo de control pasivo tipo TADAS.

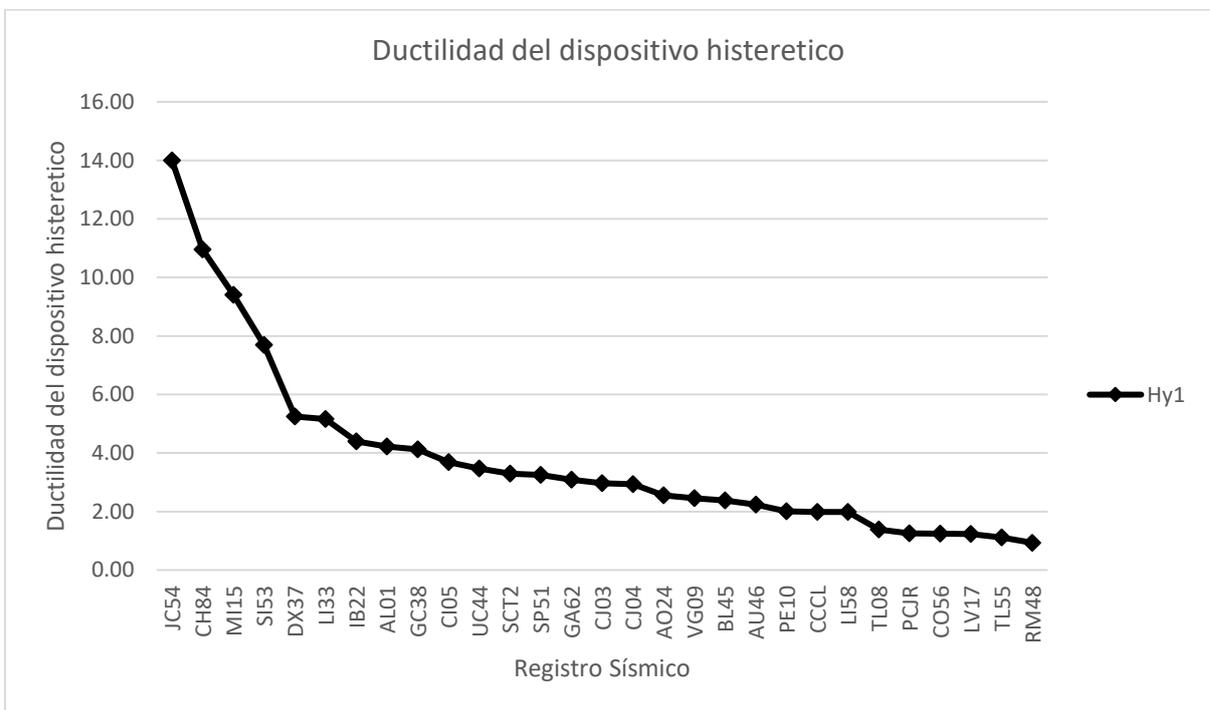


Figura 0.7. Ductilidad del dispositivo histéretico del modelo de control no confinado con dispositivo de control pasivo tipo TADAS.

4.6 Diseño estructural con contravientos del edificio número uno de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (2017) RCCM

Los contravientos del edificio número uno se diseñaron utilizando las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (2017) RCCM y el espectro de diseño elástico de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM, la configuración de los contravientos se muestra figura Figura **0.1**.

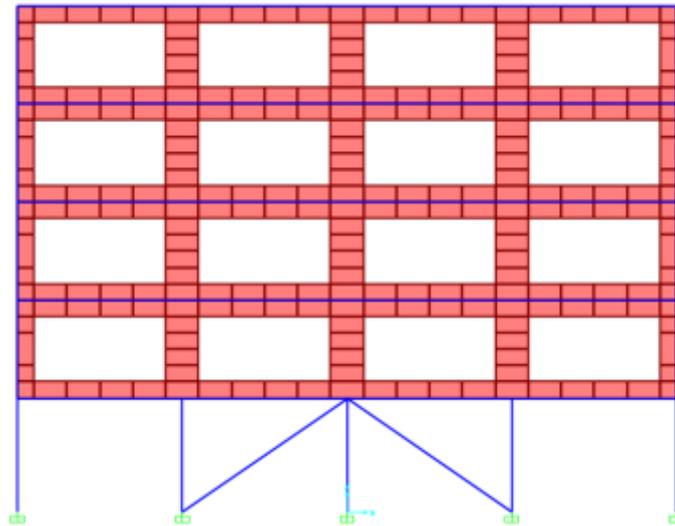


Figura 0.1. Configuración de contravientos del edificio número uno.

Se tienen dos contravientos en cada eje del uno al cuatro teniendo un total de ocho contravientos.

Para el diseño de los contravientos se tomaron los siguientes datos:

Sección W12X50, $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, Longitud (L)= 6.10 m, Carga axial a compresión (P_u) = 44.80 Ton

A continuación, se muestran los cálculos del diseño de dicho contraviento.

Calculo de esfuerzos por flexión y torsión

$$L_x = 610 \text{ cm} \quad K_x = 1 \quad r_x = 13.20 \text{ cm}$$

$$L_y = 610 \text{ cm} \quad K_y = 1 \quad r_y = 5.00 \text{ cm}$$

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = 46.21 \quad \frac{K_y L_y}{r_y} = 122.00$$

$$F_{ex} = 9428 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 2$$

$$X = 0.937$$

$$F_{ey} = 1353 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 1.4$$

$$X = 0.326$$

$$X_{min} = 0.326$$

Resistencia nominal al pandeo por torsión

$$F_n = 1145 \text{ kg/cm}^2$$

Revisión al pandeo local

$$0.56 \sqrt{E/F_y} = 13.49 > \frac{b_p}{2t_p} = 6.40$$

$$1.49 \sqrt{E/F_y} = 35.90 > \frac{h}{t_a} = 26.80$$

No existe pandeo local en el alma ni patines

$$R_c = 97.10 \text{ Ton}$$

En este trabajo se omitió la revisión de los contravientos a tensión, ya que la condición más crítica es a compresión.

4.7 Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS y contravientos

Como una opción adicional, se utilizó la combinación de contravientos y dispositivos disipadores de energía tipo TADAS en el modelo de control (figura Figura **0.6**). En el edificio de control número uno la distribución de los dispositivos se muestra en la figura Figura **0.1**. Se colocaron dos dispositivos disipadores de energía tipo TADAS en los ejes uno y cuatro (figuraFigura **0.1**), y en los ejes dos y tres se colocaron contravientos concéntricos tipo chevron con perfil IR W12X14 que se diseñaron con comportamiento inelástico ante los registros sísmicos de mayor demanda.

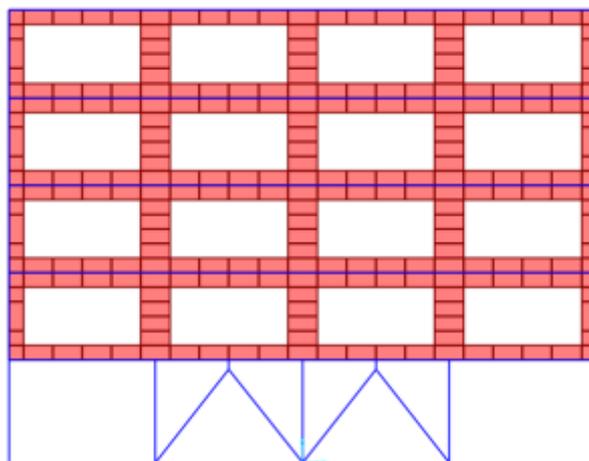


Figura 0.1. Distribución de contravientos y dispositivos disipadores de energía tipo TADAS.



Para el prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS se adoptó el procedimiento de la sección 4.5. Los resultados del prediseño de los dispositivos se muestra en las tablas Tabla 0.1 a Tabla 0.6.

Tabla 0.1. Análisis del sistema como un sistema de un grado de libertad del edificio número uno sin dispositivos.

Sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	bcol (cm)	hcol (cm)
300	992.20	5	158114	40	40
Cant col	hnivel (cm)	θ _y (rad)			
20	350	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1488294	1517.1	213333	149333	6609	132170
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ _y (cm)
9.33	0.67	777.06	83.25	8.92	1.05
μ	f _y (kg)	V _b			
8.49	138779	1178898			

Tabla 0.2. Prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.

Predimensionamiento de los dispositivos tipo TADAS					
Datos					
V _y /V _{yd}	Cantidad de dispositivos		h (cm)	b (cm)	t (cm)
1.1	4		15	10	1.9
E (kg/cm ²)	f _y (kg/cm ²)	e _y	ε _{max}	μ _{máx}	
2038900	2530	0.00125	0.02	10.7	
Cálculos					
V _{yd} (kg)	F _{yd} (kg)	Cantidad de placas requeridas		Δ _{yd} (cm)	
126163	31541	21		0.22	
Δ _{máx} (cm)	k _e (kg/cm)				
2.4	142050				



Tabla 0.3. Representación tri-lineal de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.

Representación tri-lineal		
	Desplazamiento (cm)	Fuerza (kg)
	0.00	0
D_{yd}	0.22	155510
D_{yf}	1.05	264941
	2.00	264941

Tabla 0.4. Representación tri-lineal de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.

Representación elastoplástica equivalente			
		Desp (cm)	Fza (kg)
		0	0
	D_y	0.65	264941
		2.00	264941

Tabla 0.5. Sistema lineal equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.

Sistema lineal equivalente					
Cálculos					
β_i	μ_D	A_d (cm/s ²)	A_y (cm/s ²)	D_{ob} (cm)	T_{eff} (seg)
0.05	1.74	83.16	91.48	1.13	0.50
μ_f	μ_d	q_H	A_d/A_y	β_{HD}	β_{eff}
1.07	5.08	0.50	0.91	0.26	0.29
T_c (s)	λ	β			
0.50	0.45	0.46			

Tabla 0.6. Sistema lineal efectivo de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número uno.

Sistema lineal efectivo					
Cálculos					
T_1 (seg)	S_a 5%	β	$S_a*\beta$	$S_a*\beta/\mu$	D (cm)
0.50	0.68	0.46	0.31	0.18	1.13
D (cm)	V_1 (kg)				
1.128	264961				

Las figuras Figura 0.2 y Figura 0.3 muestran los desplazamientos y distorsiones de entrepiso, respectivamente, del primer nivel del edificio de control número uno confinado con



dispositivos disipadores de energía tipo TADAS y contravientos obtenidos del análisis dinámico no lineal utilizando el programa Perform 3d V7.0.0.

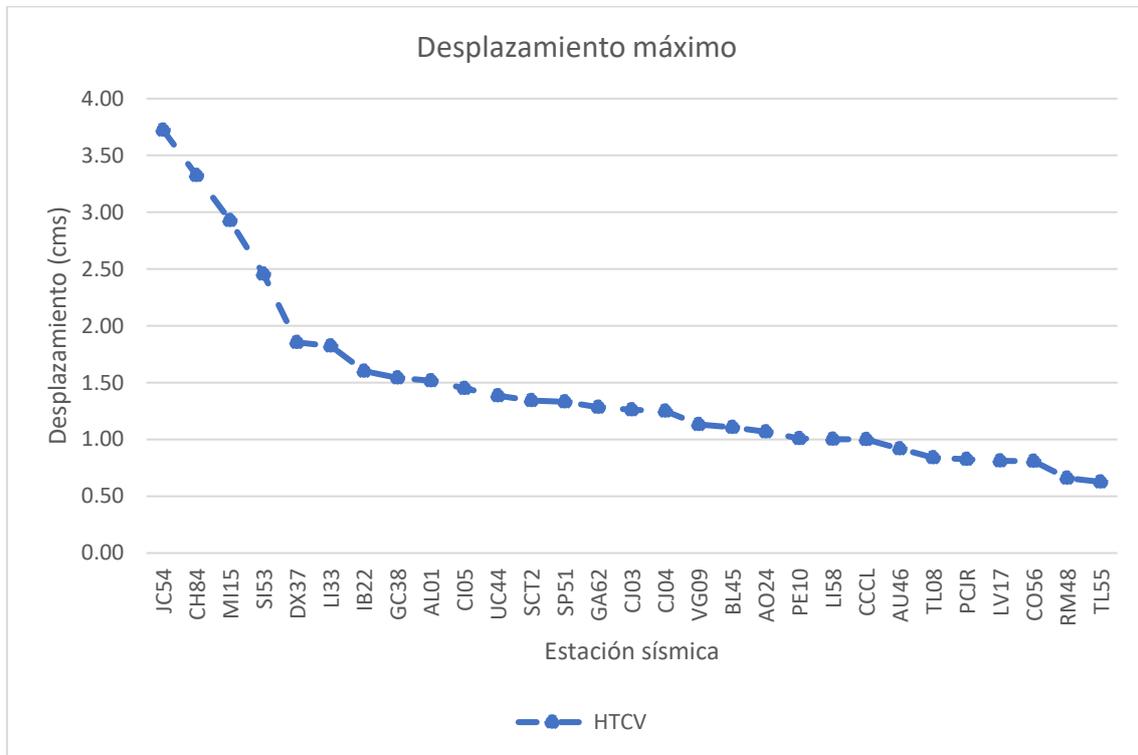


Figura 0.2. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo de pasivo de control tipo TADAS y contravientos.

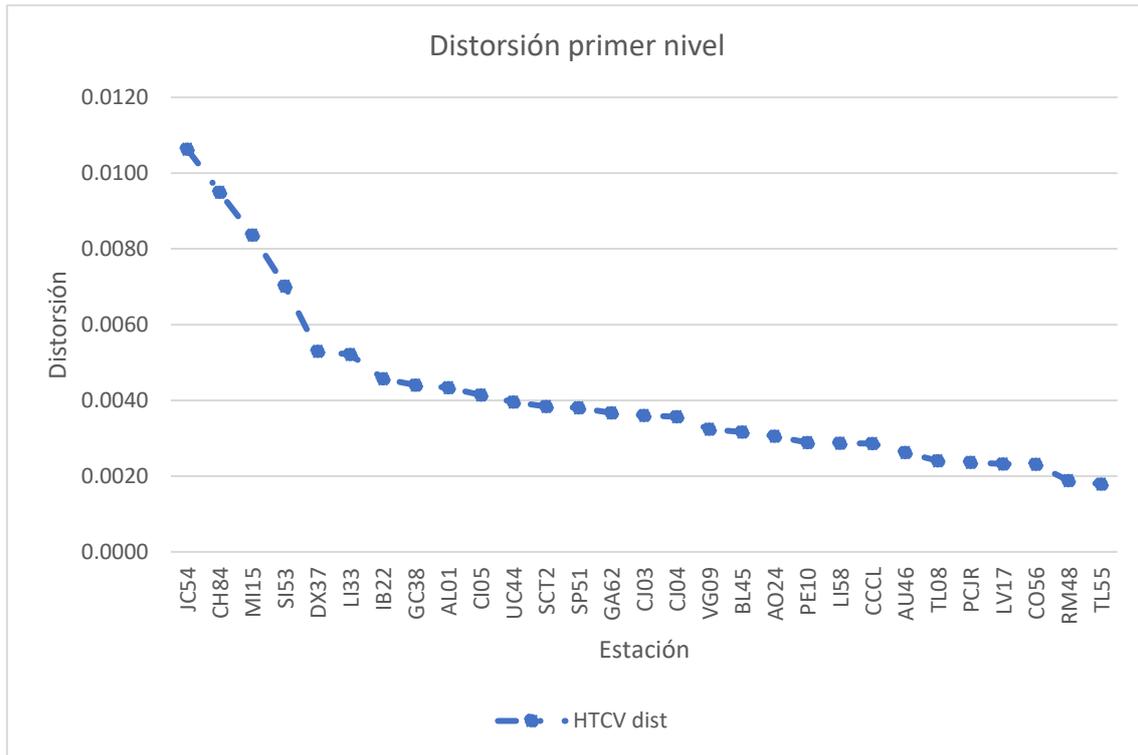


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del modelo de control confinado con dispositivo pasivo de control tipo TADAS y contravientos.

La ductilidad del dispositivo pasivo de control tipo TADAS y contravientos se obtuvo del análisis dinámico no lineal el cual se muestra en la figura **0.4**.



Figura 0.4. Ductilidad del dispositivo pasivo de control tipo TADAS del edificio de control confinado número uno.

La ductilidad promedio del dispositivo es muy baja, por lo que en los demás modelos de edificios se descartará el uso de dispositivos TADAS combinados con marcos contraventeados.

4.8 Descripción del edificio número dos

El segundo edificio a analizar corresponde a la clasificación de derrumbes y su uso es habitacional. Se seleccionó de acuerdo con los resultados del capítulo tres, de acuerdo con las estadísticas mostradas en ese capítulo. Su estructuración es con base en marcos de concreto armado con losa maciza en planta baja, y en el resto de los niveles soportados en muros de tabique sólido confinado con losa maciza. Sus dimensiones en planta son 18 x 15 m, la separación entre columnas de eje a eje es de cinco metros en los ejes del uno al cuatro y de seis metros de A a C (figura Figura 0.2). Cuenta con siete niveles, con altura de entrepiso de 3.00 m en todos sus niveles. La planta baja tiene el defecto de estructuración de planta baja flexible y cuenta con muros tipo diafragma de mampostería confinada a sus costados. La estructuración y número de niveles se determinó estadísticamente a partir del capítulo tres.

Para su análisis, el edificio se supone ubicado en la sísmica II de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) RCDF que, de acuerdo al capítulo dos, esta zona sísmica se ubican los inmuebles con las características estructurales anteriormente mencionadas. Por el tipo de suelo, se modeló la cimentación, que consisten en 112 pilotes de concreto de 40 cms de diámetro con una longitud de 19 mts. La contratrabe es de 80 x 50 cms y une a cada uno de los ejes. En la figura Figura 0.1 se muestran el modelo realizado para su análisis y diseño estructural. Los resortes que modelan el suelo se obtuvieron considerando un

módulo de reacción de 2.4 ton/m^3 , lo que proporciona una rigidez de cada de resorte de 960 ton/m .

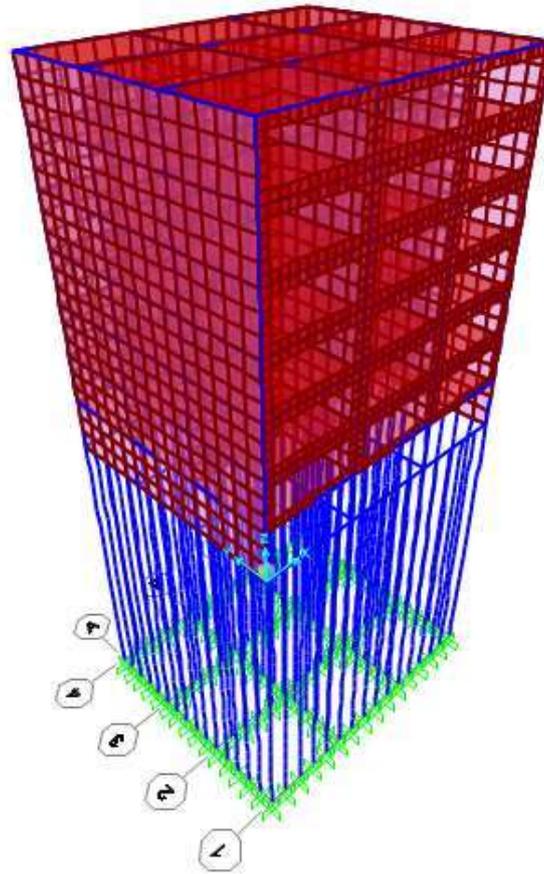


Figura 0.1. Modelo estructural edificio número dos.

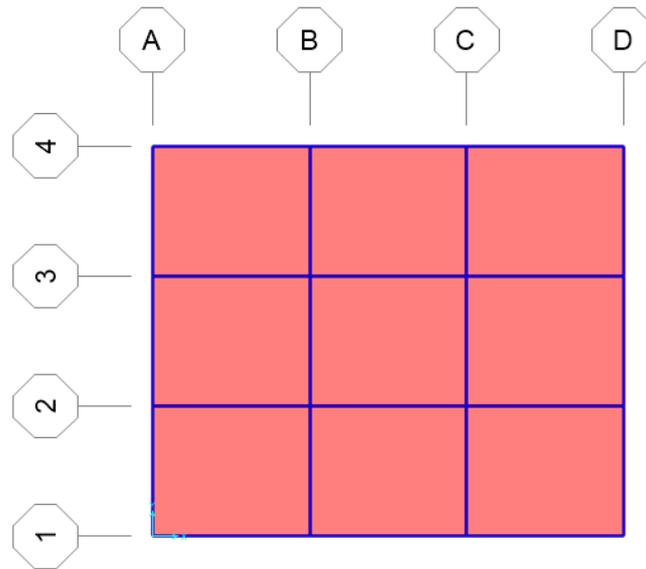


Figura 0.2. Modelo estructural edificio número dos en planta.

4.8.1 Diseño estructural del edificio número dos

Las propiedades de los materiales para los elementos estructurales del edificio número dos se describen en la tabla 4.1.

En virtud de que los edificios dañados en su mayoría se construyeron antes de los años 80's, para el diseño de los modelos se utilizó el reglamento vigente de 1976 a 1985. De acuerdo con el Reglamento De Construcciones del D.F. (1976) se tomaron los valores de cargas vivas mostrados en la tabla Tabla **0.4**.

Se realizó un análisis modal espectral utilizando los espectros de diseño con los parámetros del espectro de pseudo-aceleración de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de 1976 del RCDF que se muestran en la tabla Tabla **0.6**.

El análisis de cargas considera los pesos de los elementos que integran las losas de entepiso y azotea, donde se cumplieron los requerimientos del Reglamento De Construcciones Del D.F. (1976). En las tablas

Tabla **0.1**. Análisis de cargas del edificio. y



Tabla 0.2 se muestran dichas tablas. Las distorsiones máximas de entrepiso en el primer nivel obtenidas a partir del análisis modal espectral se muestran en la tabla Tabla 0.3. La dirección x corresponde a la estructuración de planta baja flexible.

Tabla 0.1. Análisis de cargas del edificio.

Azotea			
Material	Espesor (mts)	Peso vol (kg/m3)	W (kg/m2)
Impermeabilizante			5
Enladrillado	0.015	1200	18
Mortero	0.02	1500	30
Tezontle	0.1	1250	125
Losa de concreto	0.13	2400	312
Plafón ligero			40
Instalaciones			10
Sobrecarga*			40
Total carga muerta			<hr/> 580
Carga viva (W_m)			100
		CV + CM =	680

Tabla 0.2 Análisis de cargas del edificio.

Entrepiso			
Material	Espesor (mts)	Peso vol (kg/m3)	W (kg/m2)
Loseta vinílica	0.01	1800	18
Pega piso de 1.5 cms	0.015	1800	27
Losa de concreto	0.13	2400	312
Plafón ligero			40
Instalaciones			10
Sobrecarga*			40
Total carga muerta			<hr/> 447
Carga viva (W_m)			288
			164



En las tablas Aunque las distorsiones de entrepiso no superan lo máximo permitido se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos, ya que en el análisis dinámico no lineal como se muestra en la sección 4.9 de este capítulo se sobrepasa la distorsión máxima permitida y el índice de daño corresponde a un edificio que podría alcanzar el colapso.

Tabla 0.4 y Tabla 0.5 se muestran los resultados del diseño estructural elástico utilizando las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF.

Tabla 0.3. Distorsiones de entrepiso para el edificio número dos.

Nivel	hi (cms)	entrepiso h (cms)	Desp Δx (cms)	Desp Δy (cms)
1	300	300	1.27	0.54
2	600	300	2.37	1.16
3	900	300	3.46	1.82
4	1200	300	4.48	2.47
5	1500	300	5.36	3.06
6	1800	300	6.06	3.56
7	2100	300	6.53	3.94

Distorsión x	Distorsión y	Revisión x	Revisión y
0.0042	0.0018	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0037	0.0021	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0036	0.0022	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0034	0.0022	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0029	0.0020	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0023	0.0017	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0016	0.0013	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K

La distorsión de entrepiso máxima admisible fue de 0.006, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF. El factor de comportamiento sísmico de acuerdo a las normas se tomó Q=4.

Aunque las distorsiones de entrepiso no superan lo máximo permitido se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos, ya que en el análisis dinámico no lineal como se muestra en la sección 4.9 de este capítulo se sobrepasa la distorsión máxima permitida y el índice de daño corresponde a un edificio que podría alcanzar el colapso.

Tabla 0.4. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número dos.

Eje	Nivel	Trabe	Armado del lecho inferior	Armado del lecho superior	Armado transversal
1	PB	50 x 25 cms	2 V#5	2 V#6	E#3 @ 20 cms
2	PB	50 x 25 cms	2 V#8 + 1 V#6	3 V#8	2E#4 @ 20 cms



3	PB	50 x 25 cms	2 V#8 + 1 V#6	3 V#8	2E#4 @ 20 cms
4	PB	50 x 25 cms	2 V#8 + 1 V#4	3 V#8	2E#4 @ 20 cms
A	PB	50 x 25 cms	2 V#6	2 V#6	E#4 @ 20 cms
B	PB	50 x 25 cms	2 V#8 + 1 V#4	3 V#8	2E#4 @ 20 cms
C	PB	50 x 25 cms	2 V#8 + 1 V#4	3 V#8	2E#4 @ 20 cms
D	PB	50 x 25 cms	2 V#6	2 V#6	E#4 @ 20 cms

Tabla 0.5. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número dos.

Eje	Nivel	Columna	Armado	Armado transversal
A-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
B-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
C-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
D-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
A-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
B-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cms
C-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cms
D-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
A-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
B-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cms
C-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cms
D-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
A-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
B-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
C-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms
D-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cms

Para los modelos no lineales, se consideró al edificio con zona de estribos confinada en los extremos de las columnas de concreto reforzado, de acuerdo con lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Concreto de 1976 del RCDF, y también se analizó el caso en el que las columnas no tuvieran dicho confinamiento.

4.9 Análisis dinámico no lineal del edificio número dos

El análisis dinámico no lineal se realizó con el programa Perform 3d V7.0.0. Se modeló el suelo con base a la cimentación anteriormente descrita y se utilizaron 10 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica II que corresponde a tipo de suelo de transición. Los acelerogramas utilizados se muestran en la tabla Tabla 0.1 y la figuras Figura 4.3 a Figura 4.6 muestran los espectros de respuesta de dichos acelerogramas.



Tabla 0.1. Registros sísmicos correspondientes a la zona sísmica II.

Registro sísmico	Zonificación sísmica	Dirección	A máx (g)	Dirección	A máx (g)
AO24	Zona II	N00E	0.108	N90W	0.122
AU46	Zona II	N00E	0.078	N90W	0.097
CO47	Zona II	N00E	0.072	N90W	0.096
DR16	Zona II	N00E	0.072	N90W	0.078
DX37	Zona II	N00E	0.192	N90W	0.126
EO30	Zona II	N00E	0.068	N90W	0.084
ES57	Zona II	N00E	0.071	N90W	0.086
GR27	Zona II	N00E	0.122	N90W	0.087
LEAC	Zona II	N00E	0.159	N90W	0.199
ME52	Zona II	N00E	0.064	N90W	0.073

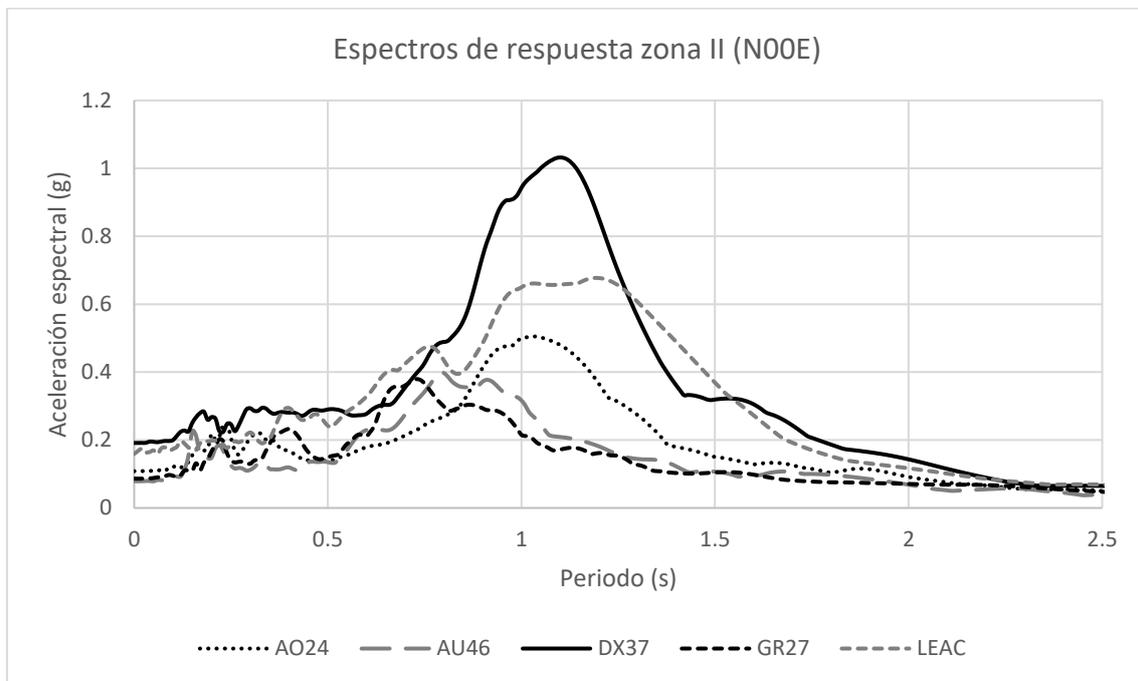


Figura 4.3. Espectros de respuesta Zona II (N00E).

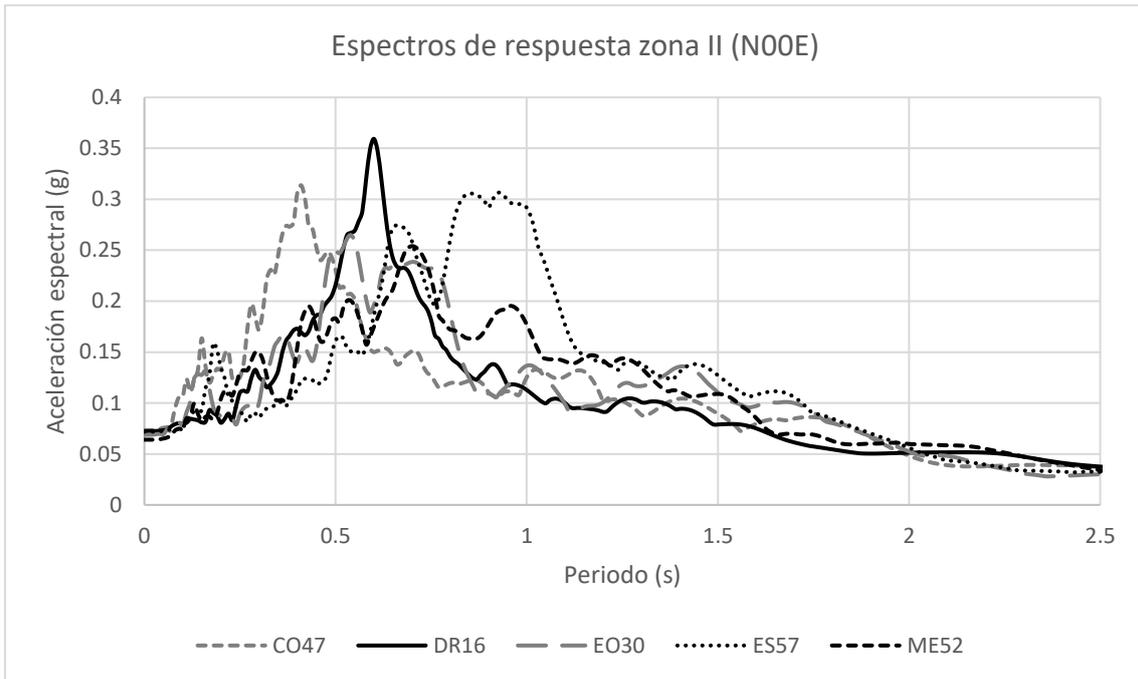


Figura 4.208. Espectros de respuesta Zona II (N00E).

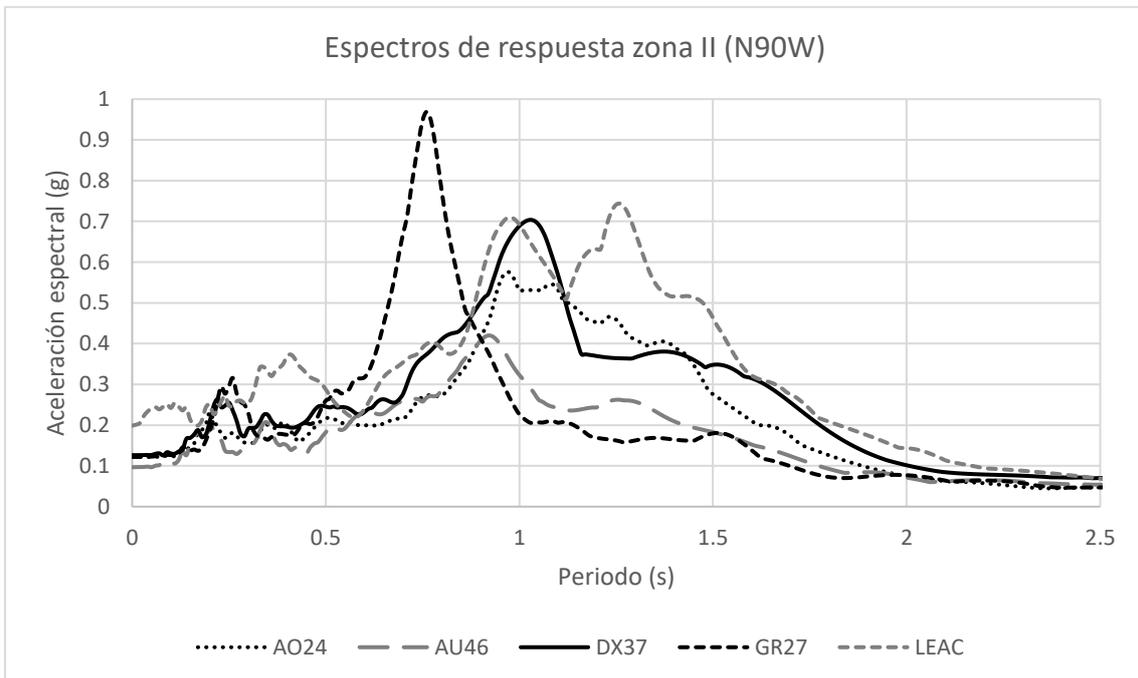


Figura 4.209. Espectros de respuesta Zona II (N90E).

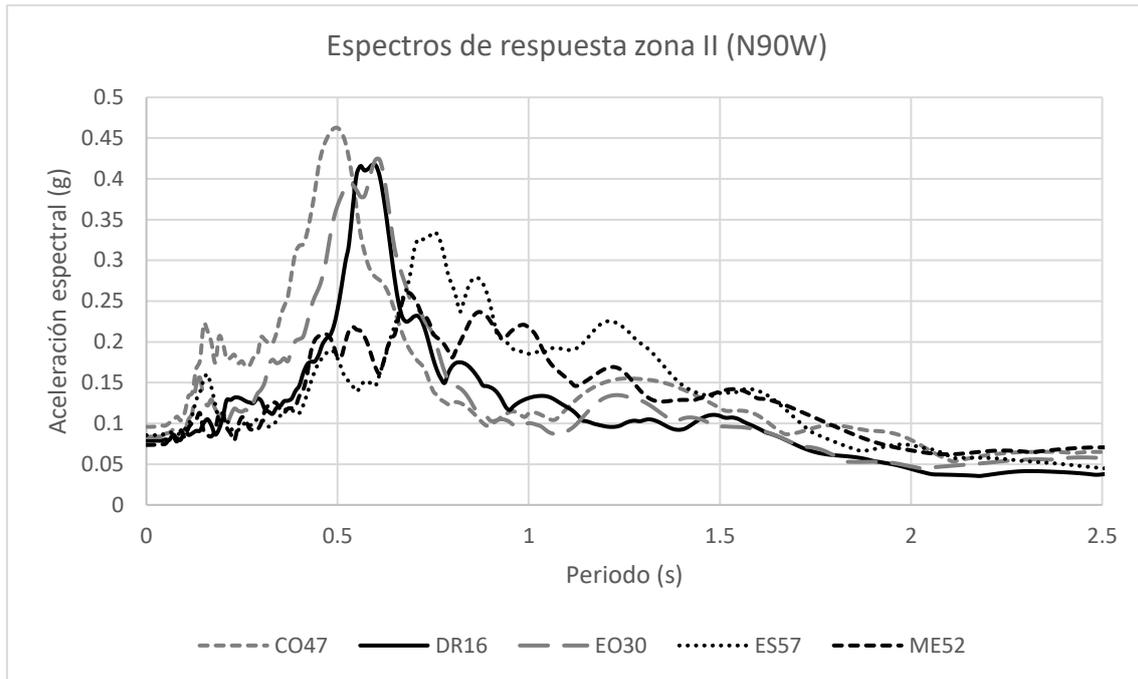


Figura 4.6. Espectros de respuesta Zona II (N90E).

El edificio se modeló en la planta baja flexible con muros tipo diafragma laterales de comportamiento inelástico en su plano y en el resto de niveles los muros de mampostería confinada se suponen de comportamiento elástico lineal, ya que por tener muros en cada uno de los ejes, al realizar el análisis dinámico no lineal su distorsión de entrepiso es tan pequeña que se tiene un comportamiento lineal en los mismos.

El edificio sin dispositivos disipadores de energía ni contravientos se le denomina modelo de control. Las figuras Figura **0.211** y Figura **0.212** muestran los desplazamientos y distorsiones de la planta baja flexible, respectivamente, correspondiente al análisis dinámico no lineal del modelo de control con columnas confinadas en los extremos por estribos.

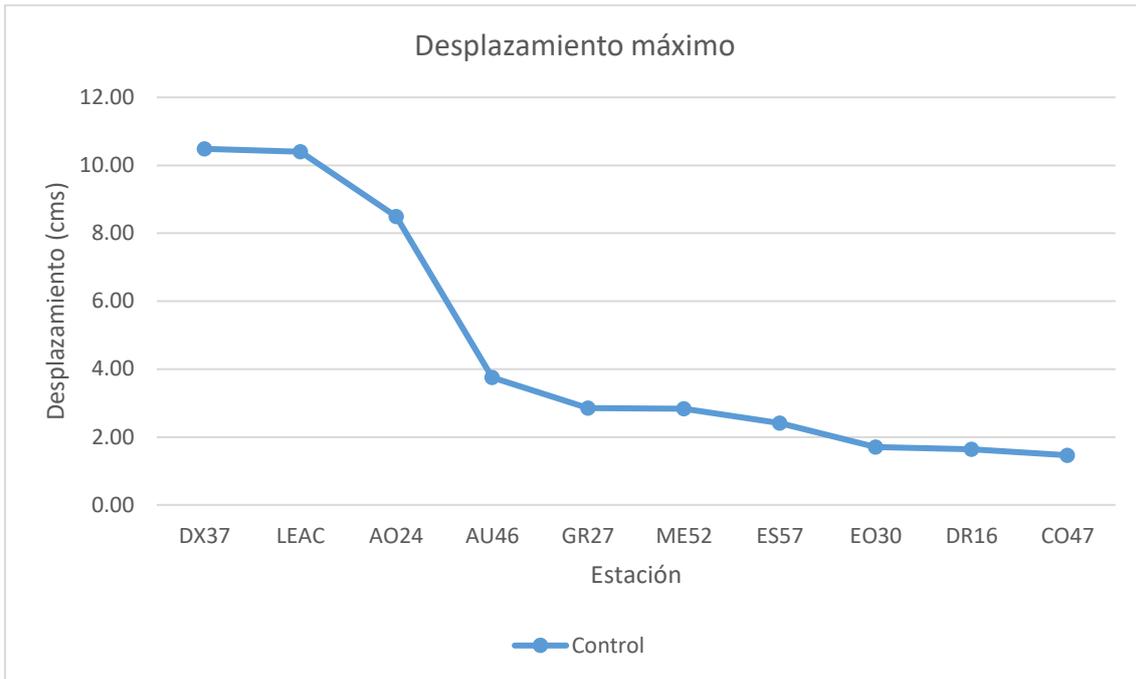


Figura 0.211. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos del modelo de control confinado.

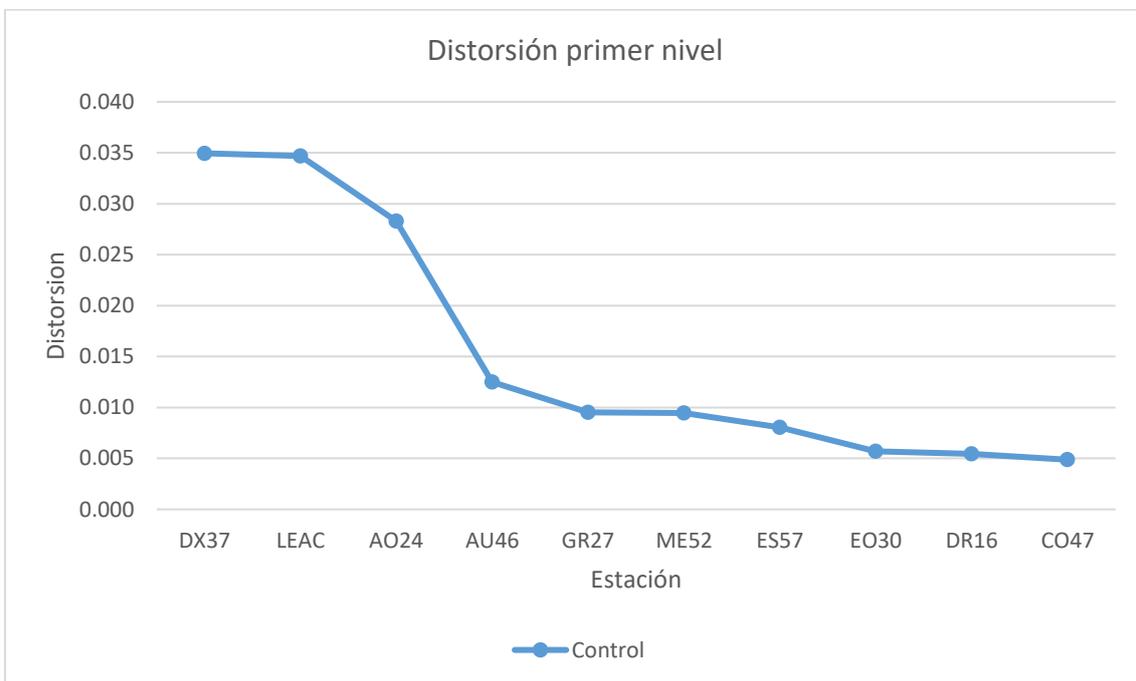


Figura 0.212. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos del modelo de control confinado.

La figura Figura **0.213** muestra el desplazamiento máximo del primer nivel, para cada acelerograma correspondiente al modelo de control sin confinamiento de estribos. La figura Figura **0.214** muestra los resultados de la distorsión de entrepiso de la planta baja flexible para este mismo modelo.

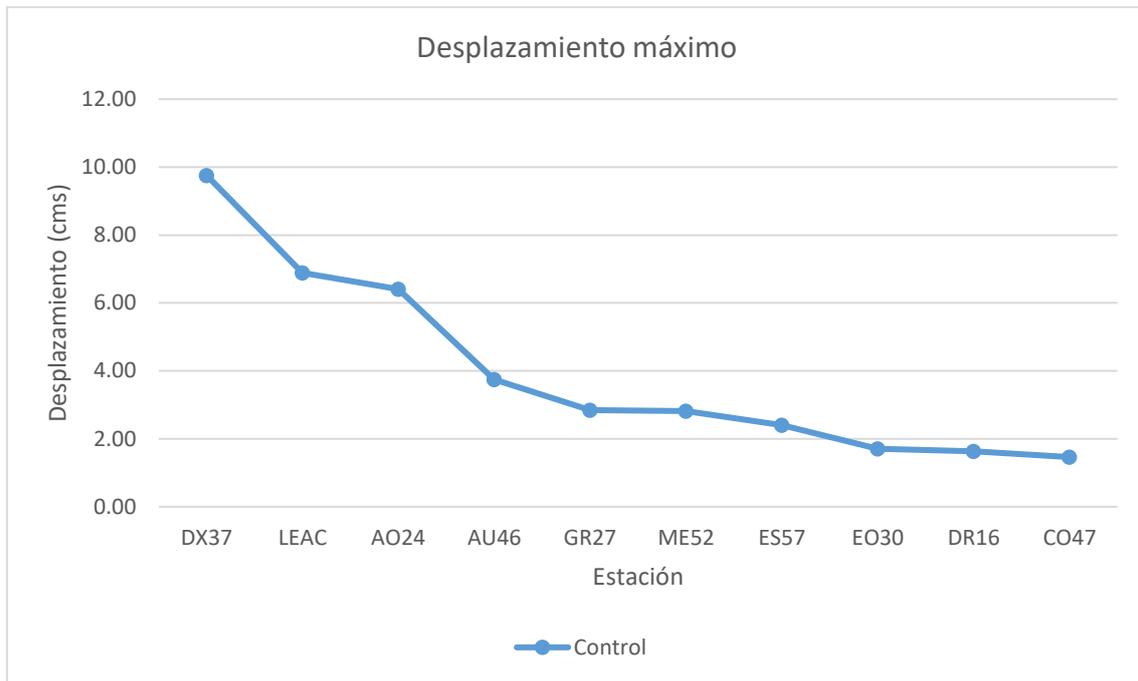


Figura 0.213. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos del modelo de control no confinado.

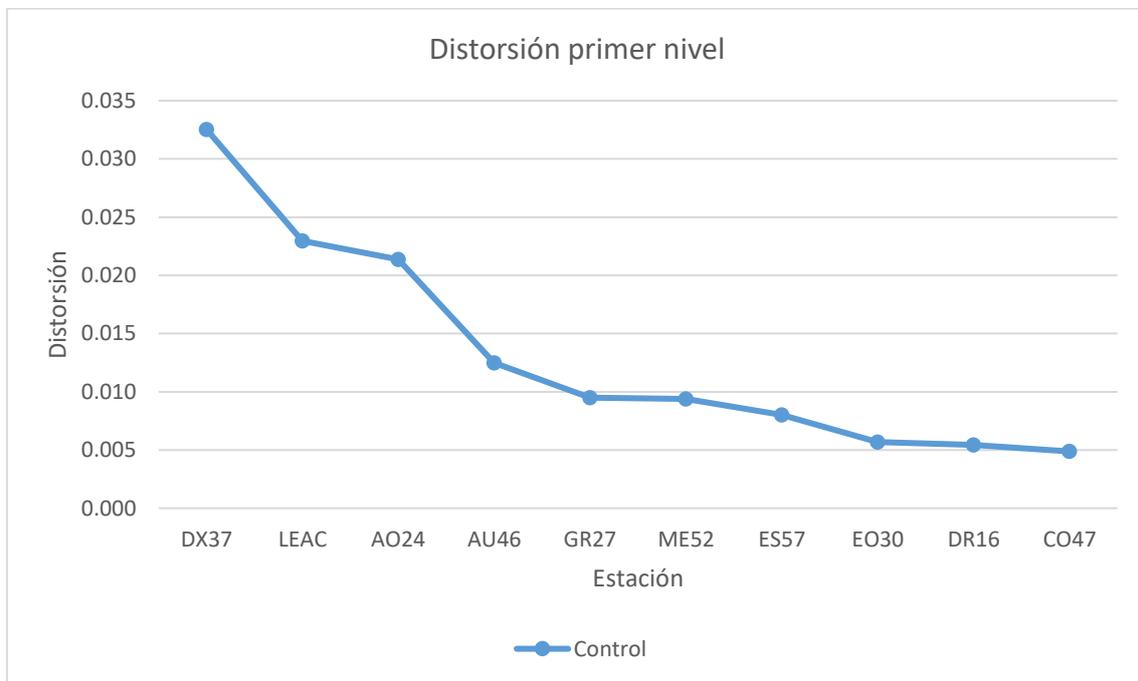


Figura 0.214. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos del modelo de control no confinado.



En la figura Figura **0.212** de acuerdo a Akbari (2010) con una distorsión de entrepiso correspondiente a 0.035 para el registro sísmico DX37 el índice de daño correspondería a un edificio que hubiera sufrido colapso. En la figura Figura **0.214** con una distorsión de entrepiso de 0.033 también su índice de daño corresponde al colapso. Por lo tanto, en ambos modelos se justifica el utilizar disipadores de energía y contravientos.

4.10 Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía (amortiguadores viscosos) de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, el procedimiento de diseño se muestra más a detalle en el anexo A de este trabajo. Las tablas Tabla **0.1** y

Tabla 0.2 muestran los resultados del prediseño de este tipo de dispositivo disipador de energía del edificio número dos. La disposición de este tipo de dispositivos se muestra en la figura Figura **0.1** en donde se colocan dos en los ejes uno al cuatro (figura Figura **0.2**), quedando un total de ocho amortiguadores viscosos.

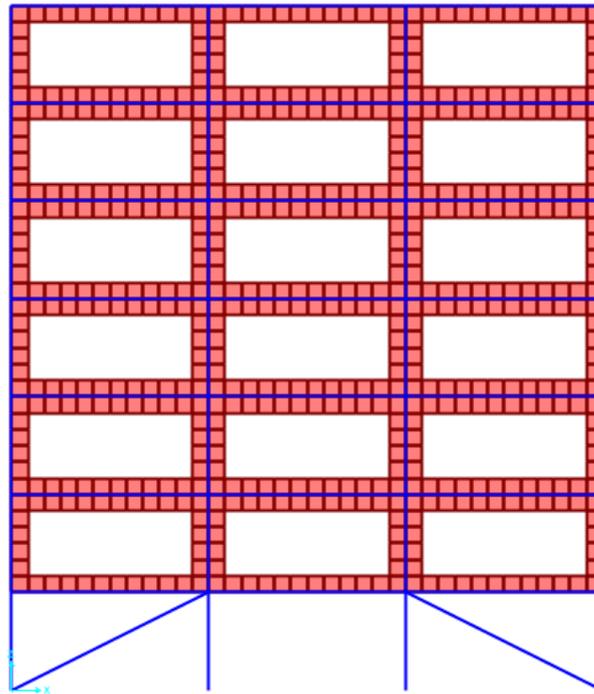


Figura 0.1. Disposición de dispositivos de amortiguamiento viscoso en edificio número dos.

Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número dos.

Sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
270	961.83	7	158114	45	45
No. col	h nivel (cm)	θ _y (rad)			
16	300	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1817850	1853.06	341719	239203	16809	268952
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ _y (cm)
12.05	0.52	677.77	56.26	4.67	0.90
μ	V _b (kg)				
5.19	1255942				



Tabla 0.2. Cálculo de amortiguadores viscosos para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número dos.

Cálculo de amortiguadores viscosos para reducir la demanda de ductilidad					
Datos					
Cant disp	C (MN-s/m)	Δ_y (cm)	Δ (cm)	β_i	θ
8	2	0.90	0.94	0.05	26.56
Cálculos					
C (kg-s/cm)	μ				
16320	1.04				
Cálculos de propiedades dinámicas					
w_n (rad/s) propuesto	T_n (s)	T_{eff} (seg)	T_b (seg)	F_{disp} (kg)	
19.59	0.32	0.33	2.93	415670	
k_{niv} (kg/cm)	w_n (rad/s) calculado				
711154	19.59				
Cálculos de amortiguamiento					
W_n	W	β_{v1}	q_H	β_{HD}	β_{eq}
982099	314188	0.25	1.00	0.025	0.32
Cálculos de cantidades espectrales					
S_v (cm/s) propuesto	S_a (cm/s ²)	S_d (cm)			
25.47	498.2	1.30			
S_v (cm/s) calculado					
25.43					

El valor propuesto de ω_n y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto.

El valor calculado de β_{eq} es cercano al 30% por lo tanto los cálculos son correctos.

El valor propuesto de S_v y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto.

Los resultados del edificio dos del modelo de control confinado y no confinado con dispositivos de amortiguadores viscosos se muestran en el capítulo 5. Las distorsiones de entrepiso no superan al máximo permitido indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo RCCM (2017).

4.11 Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS de acuerdo con el Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad. El procedimiento de diseño se muestra más a detalle en el anexo A de este trabajo. A continuación, se muestran los resultados del prediseño de este tipo de dispositivo disipador de energía del edificio número dos en las tablas Tabla 0.1 a

Tabla 0.6.



Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número dos.

Analizando el sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	bcol (cm)	hcol (cm)
270	961.83	7	158114	45	45
No. col	hnivel (cm)	θ _y (rad)			
16	300	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1817850	1853.1	341719	239203	16809	268952
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ _y (cm)
12.05	0.52	677.77	56.26	4.67	0.90
μ	f _y (kg)	V _b (kg)			
5.19	242057	1255942			

Tabla 0.2. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos.

Predimensionamiento de los dispositivos tipo TADAS					
Datos					
V _y /V _{yd}	Cantidad de dispositivos		h (cm)	b (cm)	t (cm)
1.8	8		15	10	0.64
E (kg/cm ²)	f _y (kg/cm ²)	ε _y	E _{max}	μ _{max}	
2038900	2530	0.00125	0.02	10.7	
Cálculos					
V _{yd} (kg)	F _{yd} (kg)	Cantidad de placas requeridas		Δ _{yd} (cm)	
134476	16809	97		0.66	
Δ _{máx} (cm)	k _e (kg/cm)				
7.0	25501				

Tabla 0.3. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos.

Representación tri-lineal		
	Desp (cm)	Fza (kg)
	0.00	0
D _{yd}	0.66	311763
D _{yf}	0.90	376532
	2.00	376532



Tabla 0.4. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos

Representación elastoplástica equivalente			
		Desp (cm)	Fza (kg)
		0	0
	D_y	0.82	376532
		2.00	376532

Tabla 0.5. Sistema lineal equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos.

Sistema lineal equivalente					
Cálculos					
β_i	μ_D	A_d	A_y	D_{ob} (cm)	T_{eff} (seg)
0.05	1.67	72.57	130.63	1.37	0.52
μ_f	μ_d	q_H	A_d/A_y	β_{HD}	β_{eff}
1.52	2.08	0.50	0.56	0.19	0.23
T_c (seg)	λ	B			
0.53	0.45	0.51			

Tabla 0.6. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número dos.

Sistema lineal efectivo					
Cálculos					
T_1 (seg)	S_a 5%	β	$S_a*\beta$	$S_a*\beta/\mu$	D (cm)
0.52	0.68	0.51	0.35	0.21	1.37
D (cm)	V_1 (kg)				
1.368	376284				

Se realizó el análisis dinámico no lineal con el programa Perform 3d V7.0.0 del edificio de control número dos con dispositivos tipo TADAS y contravientos tipo chevron de acero W12X30 colocados en los ejes del uno al cuatro (figura Figura 0.2) y en las crujías de los extremos del edificio.

Los resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número dos del modelo de control confinado y no confinado con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS se muestran en el capítulo 5. Las distorsiones de entrepiso no superan al máximo permitido indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo RCCM (2017).

4.12 Diseño estructural del edificio número dos con contravientos

Los contravientos del edificio número uno se diseñaron utilizando las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (2017) RCCM y el espectro de diseño elástico de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño

por Sismo (2017) RCCM, la configuración de los contravientos se muestra en la figura Figura 0.1.

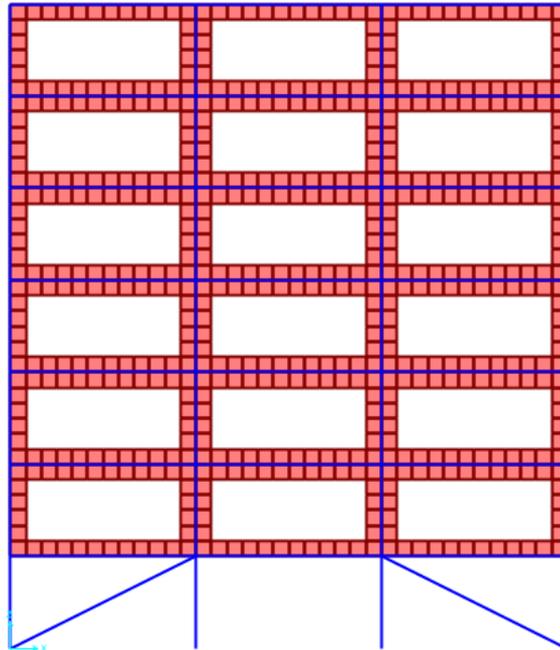


Figura 0.1. Disposición de contravientos del edificio número dos.

Se colocaron dos contravientos en cada eje del uno al cuatro teniendo un total de ocho contravientos.

Para el diseño de los contravientos se tomaron los siguientes datos:

Sección W12X40, $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, Longitud (L)= 6.70 m, Carga axial a compresión (P_u) = 50.92 Ton

A continuación, se muestran los cálculos del diseño de dicho contraviento.

Calculo de esfuerzos por flexión y torsión

$$L_x = 670 \text{ cm} \quad K_x = 1 \quad r_x = 13.00 \text{ cm}$$

$$L_y = 670 \text{ cm} \quad K_y = 1 \quad r_y = 4.90 \text{ cm}$$

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = 51.54$$

$$F_{ex} = 7580 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 2$$

$$X = 0.907$$

$$F_{ey} = 1077 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 1.4$$



$$X = 0.270$$

$$X_{min} = 0.270$$

Resistencia nominal al pandeo por torsión

$$F_n = 951 \text{ kg/cm}^2$$

Revisión al pandeo local

$$0.56 \sqrt{E/F_y} = 13.49 > \frac{b_p}{2t_p} = 7.80$$

$$1.49 \sqrt{E/F_y} = 35.90 > \frac{h}{t_a} = 33.60$$

No existe pandeo local en el alma ni patines

$$R_c = 64.59 \text{ Ton}$$

En este trabajo se omitió la revisión de los contravientos a tensión, ya que la condición más crítica es a compresión.

4.13 Descripción del edificio número tres

El tercer edificio a analizar corresponde a la clasificación de derrumbes y su uso es habitacional. Se seleccionó de acuerdo con los resultados del capítulo tres, con las características descritas por las estadísticas mostradas en ese capítulo. Su estructuración es con base en marcos de concreto armado con losa maciza en planta baja, y en el resto de los niveles es soportado por muros de tabique sólido confinado con losa maciza. Sus dimensiones en planta son 18 x 15 m, la separación entre columnas de eje a eje es de cinco metros en los ejes del uno al cuatro y de seis metros de A a C (figura Figura 0.2). El edificio cuenta con ocho niveles, con una altura de 3.00 m en todos sus niveles.

Para el análisis del edificio se supone ubicado en la sísmica IIIa o IIIb de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) RCDF. La cimentación consiste en 112 pilotes de concreto de 40 cms de diámetro con una longitud de 25 mts; la contratrase mide 80 x 50 cms y cada uno de los ejes. La figura Figura 0.1 muestra el modelo elaborado para el análisis y diseño estructural.

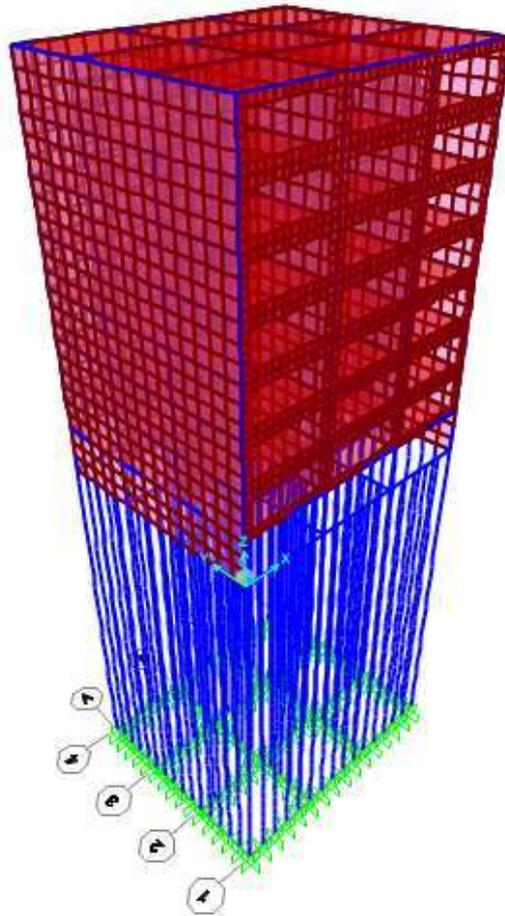


Figura 0.1. Modelo estructural del edificio número tres.

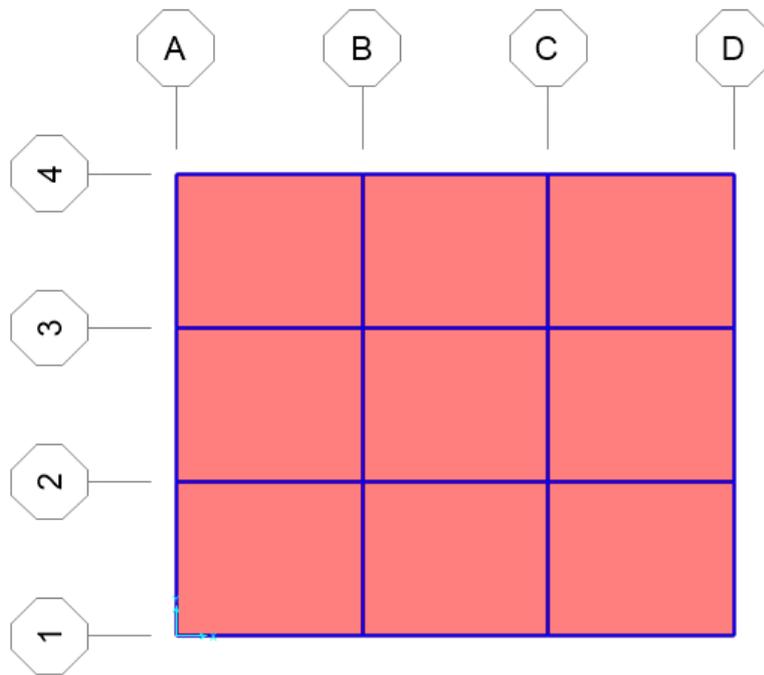


Figura 0.2. Modelo estructural edificio número tres en planta.

4.13.1 Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número tres

Las propiedades de los materiales para los elementos estructurales del edificio número tres se describen en la tabla Tabla 0.1.

En las tablas Tabla 0.2 y

Tabla 0.3 se muestran los resultados del diseño estructural elástico utilizando las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF.

Se realizó un análisis modal espectral utilizando los espectros de diseño de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de 1976 del RCDF que se muestran en la tabla Tabla 0.6. Las distorsiones máximas de entrepiso en el primer nivel obtenidas a partir del análisis estructural se muestran en la tabla Tabla 0.1.

Tabla 0.1. Distorsiones de entrepiso para el modelo número tres.

Nivel	hi (cms)	entrepiso h (cms)	Desp Δx (cms)	Desp Δy (cms)
1	300	300	1.01	0.56
2	600	300	2.43	1.42
3	900	300	3.92	2.37
4	1200	300	5.39	3.36
5	1500	300	6.73	4.31
6	1800	300	7.9	5.20
7	2100	300	8.83	5.96



8	2400	300	9.49	6.57
---	------	-----	------	------

Distorsión x	Distorsión y	Revisión x	Revisión y
0.0034	0.0019	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0047	0.0029	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0050	0.0032	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0049	0.0033	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0045	0.0032	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0039	0.0030	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0031	0.0025	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0022	0.0020	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K

Nuevamente, se tomó como distorsión admisible el valor de 0.006, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF. El factor de comportamiento sísmico de acuerdo a las normas se tomó Q=4.

En este capítulo se sobrepasa la distorsión máxima permitida y el índice de daño corresponde a un edificio que podría alcanzar el colapso.

Tabla 0.2. Resultados del diseño estructural de traveses de concreto armado del edificio número tres.

Eje	Nivel	Trabe	Armado del lecho inferior	Armado del lecho superior	Armado transversal
1	PB	30 x 60 cms	2 V#6	2 V#6 + 1 V#4	E#3 @ 30 cm
2	PB	30 x 60 cms	3 V#8	4 V#8	E#5 @ 20 cm
3	PB	30 x 60 cms	3 V#8	4 V#8	E#5 @ 20 cm
4	PB	30 x 60 cms	2 V#8 + 1 V#5	2 V#10	E#4 @ 15 cm
A	PB	30 x 60 cms	2 V#6	2 V#6	E#4 @ 30 cm
B	PB	30 x 60 cms	2 V#8 + 1 V#5	2 V#10	E#4 @ 15 cm
C	PB	30 x 60 cms	2 V#8 + 1 V#5	2 V#10	E#4 @ 15 cm
D	PB	30 x 60 cms	2 V#6	2 V#6	E#4 @ 30 cm

Tabla 0.3. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número tres.

Eje	Nivel	Columna	Armado	Armado transversal
A-1	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
B-1	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
C-1	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
D-1	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
A-2	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
B-2	PB	50 x 50 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
C-2	PB	50 x 50 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm



D-2	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
A-3	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
B-3	PB	50 x 50 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
C-3	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
D-3	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
A-4	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
B-4	PB	50 x 50 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
C-4	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm
D-4	PB	50 x 50 cms	1V#5 Esquinas 2V#5 Caras	2E#3 @ 50 cm

Nuevamente, se tomó en cuenta la zona confinada de las columnas de concreto reforzado y también la posibilidad de que las columnas no tuvieran dicho confinamiento.

4.14 Análisis dinámico no lineal del edificio número tres

Del edificio número tres se realizó el análisis dinámico no lineal utilizando el programa Perform 3d V7.0.0. Se utilizaron 26 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica IIIa y IIIb ya que de acuerdo al capítulo 2 en estas dos zonas sísmicas se presentaron un gran número de inmuebles con derrumbes. Adicionalmente, se incluyeron tres acelerogramas correspondientes a la zona sísmica II debido a su cercanía con la zona de los inmuebles que sufrieron colapso. Los acelerogramas utilizados se muestran en la tabla Tabla **0.1**.

El edificio se modeló en la planta baja flexible con muros tipo diafragma laterales de comportamiento inelástico en su plano y en el resto de niveles los muros de mampostería confinada se suponen de comportamiento lineal. Este modelo obedece a considerar que la densidad de muros en los pisos superiores originan distorsiones de entrepiso pequeñas, por lo que el comportamiento esperado es lineal.

El edificio sin dispositivos pasivos de energía ni contravientos se le denomina modelo de control. Las figuras Figura **0.1** y Figura **0.2** muestran los desplazamientos y distorsiones de la planta baja flexible, respectivamente, correspondiente al análisis dinámico no lineal del modelo de control con columnas confinadas en los extremos por estribos.

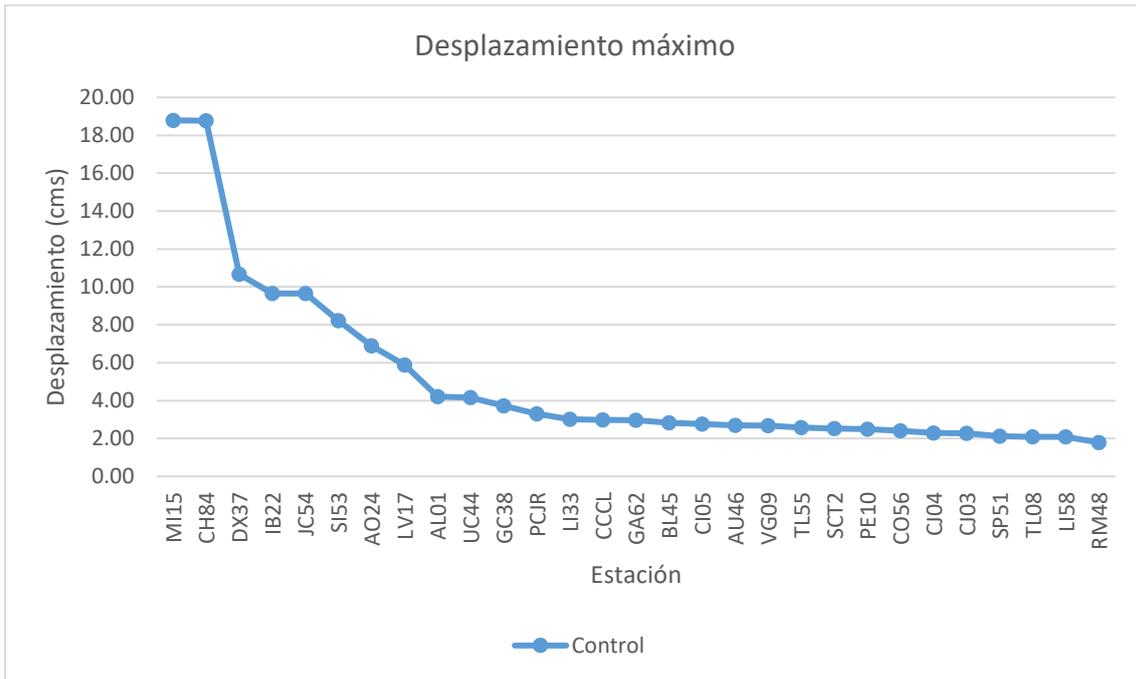


Figura 0.1. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres del modelo de control confinado.

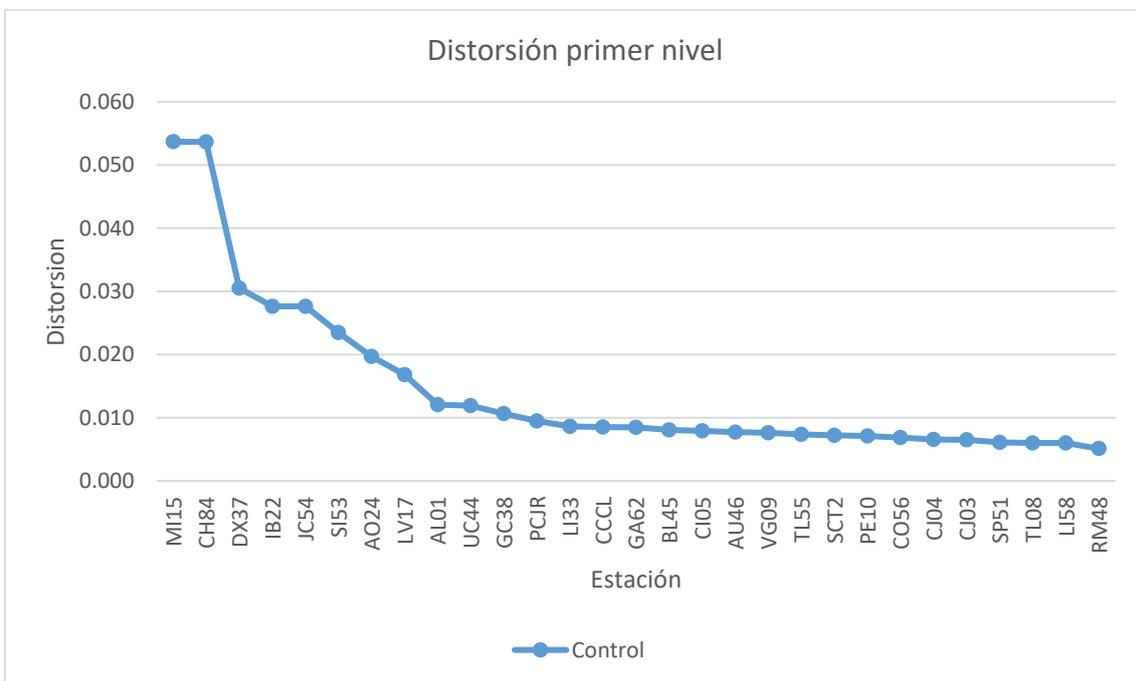


Figura 0.2. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres del modelo de control confinado.

La figura Figura **0.3** muestra el desplazamiento máximo del primer nivel, para cada acelerograma correspondiente al modelo de control sin confinamiento de estribos. La figura Figura **0.4** muestra los resultados de la distorsión de entrepiso de la planta baja flexible para este mismo modelo.

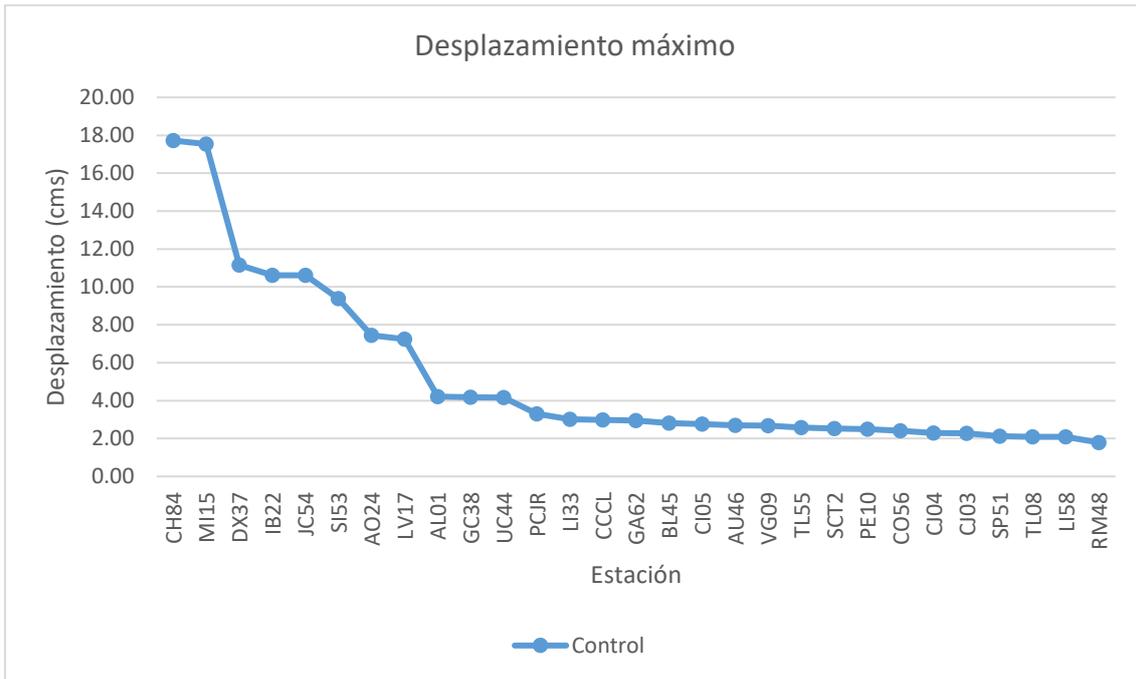


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres del modelo de control no confinado.

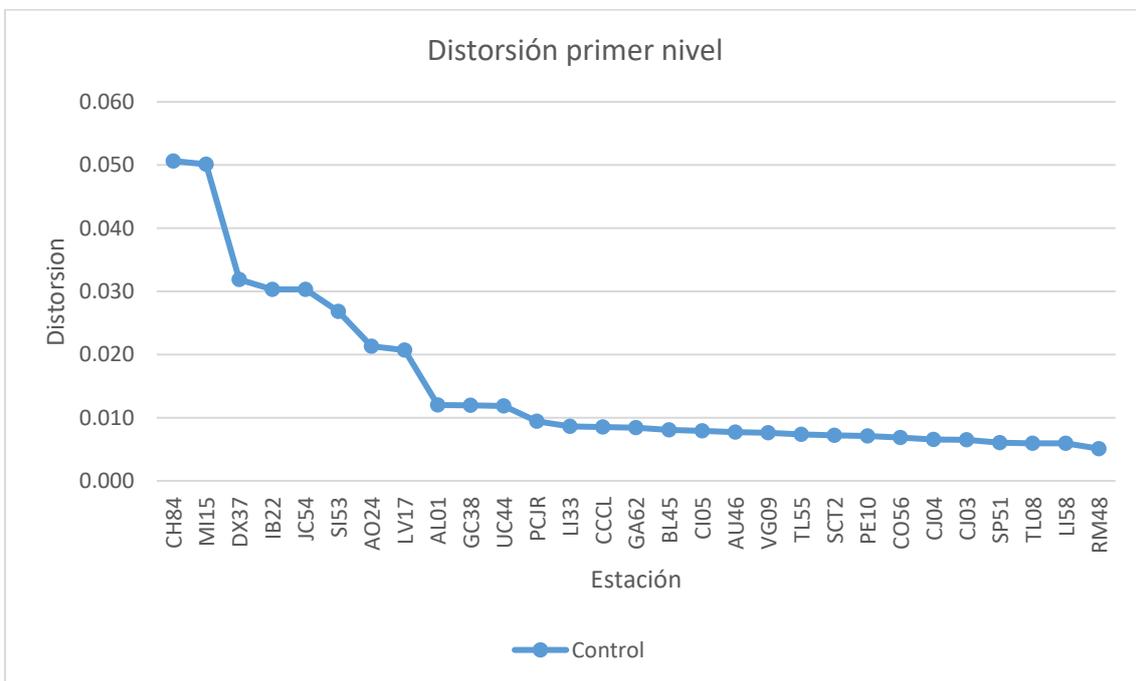


Figura 0.4. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres del modelo de control no confinado.

En la figura Figura 0.2 de acuerdo con Akbari (2010) con una distorsión de entrepiso correspondiente a 0.054 para el registro sísmico MI15 el índice de daño correspondería a un

edificio que habría sufrido colapso. En la figura Figura **0.4** con una distorsión de entrepiso de 0.051 para el registro sísmico CH84 también su índice de daño corresponde al colapso. Por lo tanto, en ambos modelos se justifica el utilizar disipadores de energía y contravientos. Aunque la demanda de distorsiones es similar en ambos casos, la capacidad dúctil del modelo sin confinamiento es fuertemente reducida por la excesiva separación de estribos en las zonas de posible formación de articulaciones plásticas.

4.15 Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía (amortiguadores viscosos) de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, el procedimiento de diseño se muestra más a detalle en el anexo A de este trabajo. Las tablas Tabla **0.1** a Tabla **0.2** muestran los resultados del prediseño para este dispositivo del edificio número dos. La localización de este dispositivo se muestra en la figura Figura **0.1**, donde se ubican dos disipadores en los ejes uno al cuatro (figura Figura **0.2**), dando un total de ocho amortiguadores viscosos.

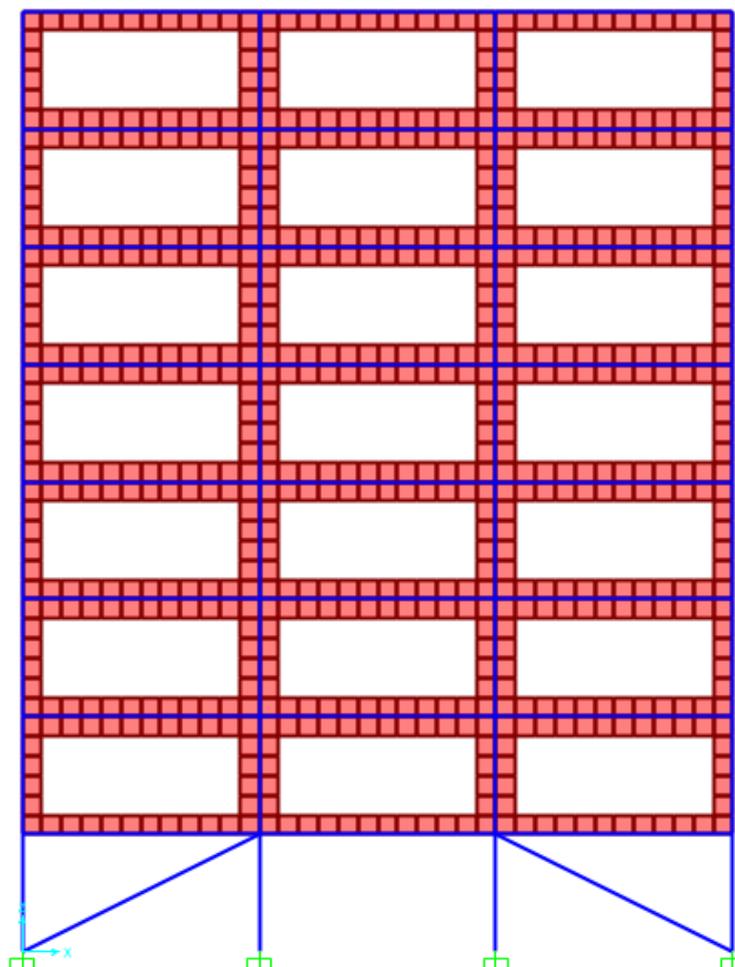


Figura 0.1. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número tres.



Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número tres.

Sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
270	812.03	8	158114	45	45
Cant col	h nivel (cm)	θ _v (rad)			
16	300	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1753984.8	1787.96	341719	239203	16809	268952
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ _y (cm)
12.26	0.51	671.15	54.72	4.46	0.90
μ	V _b (kg)				
4.96	1199982				

Tabla 0.2. Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número dos.

Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad					
Datos					
Cant disp	C (MN-s/m)	Δ _y (cm)	Δ (cm)	β _i	θ
8	1.5	0.90	0.94	0.05	26.56
Cálculos					
C (kg-s/cm)	μ				
12240	1.04				
Cálculo de propiedades dinámicas					
w _n (rad/s) propuesto	T _n (s)	T _{eff} (seg)	T _b (seg)	F _{disp} (kg)	
18.67	0.34	0.34	2.93	332071	
k _{niv} (kg/cm)	w _n (rad/s) calculado				
622219	18.65				
Cálculos de amortiguamiento					
W _n	W	β _{v1}	q _H	β _{HD}	β _{eq}
784580	274896	0.23	1.00	0.025	0.30
Cálculos de cantidades espectrales					
S _v (cm/s) propuesto	S _a (cm/s ²)	S _d (cm)			
27.13	506.5	1.45			
S _v (cm/s) calculado					
27.13					



El valor propuesto de ω_n y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto.

El valor calculado de β_{eq} es cercano al 30% por lo tanto se acepta el dispositivo propuesto.

El valor propuesto de S_v y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto.

Los resultados del edificio número tres del modelo de control confinado y no confinado con amortiguadores viscosos se muestran en el capítulo 5. Las distorsiones de entrepiso no superan exceden el valor máximo permitido por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo RCCM (2017).

4.16 Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, el procedimiento de diseño se muestra más a detalle en el anexo A de este trabajo. A continuación, se muestran los resultados del prediseño de este tipo de dispositivo disipador de energía del edificio número tres en las tablas Tabla 0.1 a Tabla 0.6.

Se realizó el análisis dinámico no lineal con el programa Perform 3d V7.0.0 del edificio de control número tres con dispositivos tipo TADAS y contravientos tipo chevron de acero W12X40 colocados en los ejes del uno al cuatro (figura Figura 0.2) y en las crujías de los extremos del edificio.

Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número tres.

Sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	bcol (cm)	hcol (cm)
270	812.03	8	158114	45	45
Cant col	h nivel (cm)	θ_v (rad)			
16	300	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1753984.8	1788.0	341719	239203	16809	268952
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ_y (cm)
12.26	0.51	671.15	54.72	4.46	0.90
μ	f _y (kg)	V _b (kg)			
4.96	242057	1199982			



Tabla 0.2. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.

Predimensionamiento de los dispositivos tipo TADAS					
Datos					
V_y/V_{yd}	Cantidad de dispositivos		h (cm)	b (cm)	t (cm)
1.1	8		15	10	1.9
E (kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	ϵ_y	$\epsilon_{m\acute{a}x}$	$\mu_{m\acute{a}x}$	
2038900	2530	0.00125	0.02	10.7	
Cálculos					
V_{yd} (kg)	F_{yd} (kg)	Cantidad de placas requeridas		Δ_{yd} (cm)	
220051	27506	18		0.22	
$\Delta_{m\acute{a}x}$ (cm)	k_e (kg/cm)				
2.4	123881				

Tabla 0.3. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.

Representación tri-lineal		
	Desp (cm)	Fza (kg)
	0.00	0
D_{yd}	0.22	279769
D_{yf}	0.90	462108
	2.00	462108

Tabla 0.4. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.

Representación elastoplástica equivalente			
		Desp (cm)	Fza (kg)
		0	0
	D_y	0.60	462108
		2.00	462108

Tabla 0.5. Sistema lineal equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.

Sistema lineal equivalente					
Cálculos					
β_i	μ_D	A_d	A_y	D_{ob} (cm)	T_{eff} (seg)
0.05	1.16	123.07	135.38	0.70	0.33
μ_f	μ_d	q_H	A_d/A_y	β_{HD}	β_{eff}
0.77	3.13	0.50	0.91	0.16	0.19
T_c (seg)	λ	B			
0.32	0.44	0.55			

Tabla 0.6. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número tres.

Sistema lineal efectivo					
Cálculos					
T_1 (seg)	S_a 5%	β	$S_a*\beta$	$S_a*\beta/\mu$	D (cm)
0.33	0.56	0.55	0.31	0.26	0.70
D (cm)	V_1 (kg)				
0.70	462146				

Los resultados del edificio número tres del modelo de control confinado y no confinado con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS se muestran en el capítulo 5. Las distorsiones de entrepiso no superan al máximo permitido indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo RCCM (2017).

4.17 Diseño estructural del edificio número tres con contravientos

Los contravientos del edificio número tres se diseñaron utilizando las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (2017) RCCM y el espectro de diseño elástico de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. La configuración de los contravientos se muestra en la figura Figura 0.1.

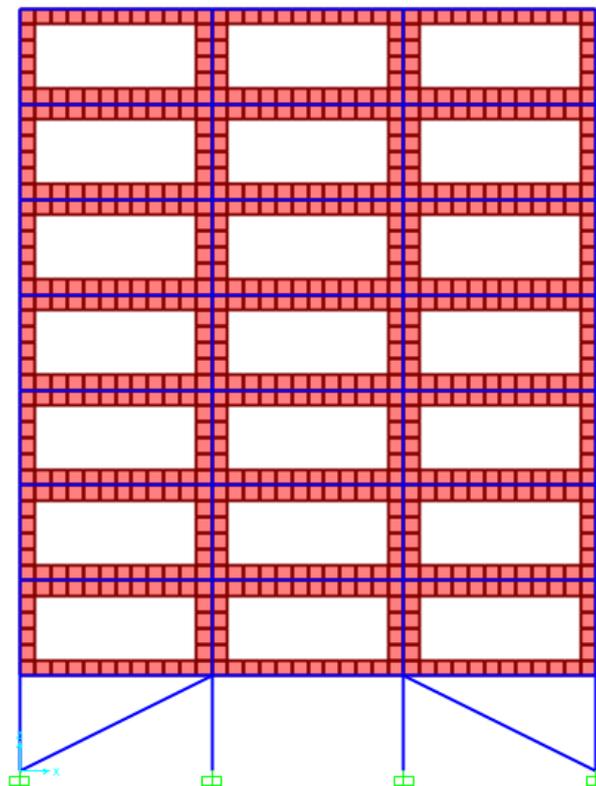


Figura 0.1. Disposición de contravientos del edificio número tres.



Se tienen dos contravientos en cada uno de los ejes uno al cuatro, para un total de ocho contravientos.

Para el diseño de los contravientos se tomaron los siguientes datos:

Sección W14X82, $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, Longitud (L)= 6.70 m, Carga axial a compresión (P_u) = 100.41 Ton

A continuación, se muestran los cálculos del diseño de dicho contraviento.

Calculo de esfuerzos por flexión y torsión

$$L_x = 670 \text{ cm} \quad K_x = 1 \quad r_x = 15.40 \text{ cm}$$

$$L_y = 670 \text{ cm} \quad K_y = 1 \quad r_y = 6.30 \text{ cm}$$

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = 43.51 \quad \frac{K_y L_y}{r_y} = 106.35$$

$$F_{ex} = 10637 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 2$$

$$X = 0.95$$

$$F_{ey} = 1780 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 1.4$$

$$X = 0.401$$

$$X_{min} = 0.401$$

Resistencia nominal al pandeo por torsión

$$F_n = 1410 \text{ kg/cm}^2$$

Revisión al pandeo local

$$0.56 \sqrt{E/F_y} = 13.49 > \frac{b_p}{2t_p} = 6.00$$

$$1.49 \sqrt{E/F_y} = 35.90 > \frac{h}{t_a} = 22.40$$

No existe pandeo local en el alma ni patines

$$R_c = 196.58 \text{ Ton}$$

En este trabajo se omitió la revisión de los contravientos a tensión, ya que la condición más crítica es a compresión.

4.18 Descripción del edificio número cuatro

El cuarto edificio corresponde a la clasificación de demoliciones y su uso es habitacional. Se seleccionó de acuerdo con los resultados del capítulo tres y las estadísticas mostradas en ese capítulo. Su estructuración consiste en marcos de concreto reforzado en el primer nivel, losa maciza en todos los niveles, y muros de tabique sólido confinado a partir del segundo nivel. Sus dimensiones en planta son 20 x 15 m, la separación entre columnas centro a centro es de cinco metros y cuenta con cinco niveles. El primer nivel tiene una altura de 3.50 m y el resto de los niveles es de 3.00 m. Para su análisis, el edificio se supone ubicado en la sismica II de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) RCDF. La cimentación está formada de 113 pilotes de concreto de 30 cm de diámetro con una longitud de 20 m, la contratrabe su dimensión es de 60 x 40 cm colocada en cada uno de sus ejes. En la figura Figura **0.1** se muestran el modelo realizado para el análisis y diseño estructural.

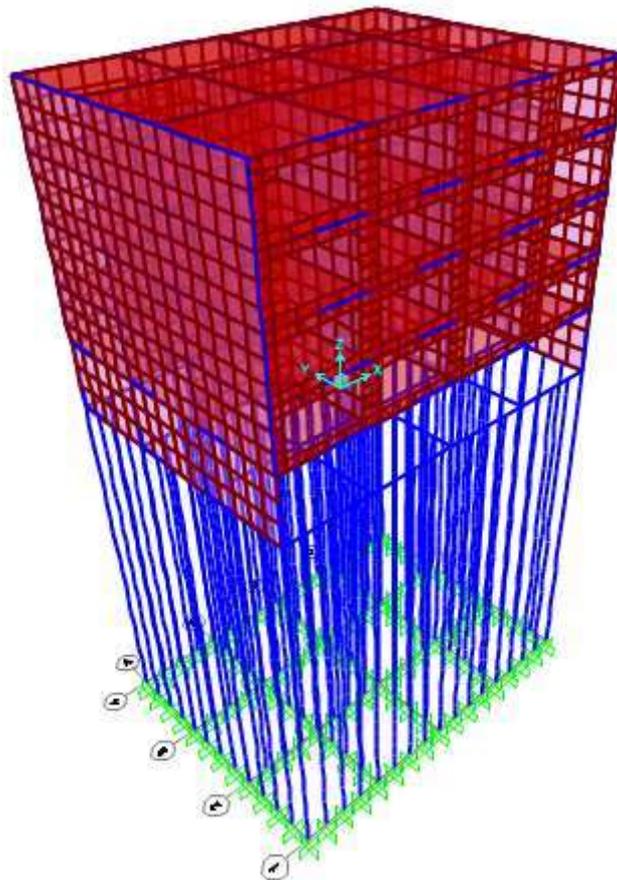


Figura 0.1. Modelo estructural edificio número cuatro.



4.18.1 Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número cuatro

Nuevamente, para el diseño de los modelos se utilizó el reglamento vigente de 1976 a 1985. De acuerdo con el Reglamento De Construcciones del D.F. (1976) se tomaron los valores de cargas vivas mostrados en la tabla 4.4.

El análisis modal espectral genera las distorsiones máximas de entrepiso en el primer nivel que se muestran en la tabla Tabla **0.1**.

Tabla 0.1. Distorsiones de entrepiso para el edificio número cuatro.

Nivel	hi (cms)	entrepiso h (cms)	Desp Δx (cms)	Desp Δy (cms)
1	350	350	2.01	0.67
2	650	300	2.67	1.08
3	950	300	3.23	1.48
4	1250	300	3.65	1.81
5	1550	300	3.91	2.04

Distorsión x	Distorsión y	Revisión x	Revisión y
0.0057	0.0019	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0022	0.0014	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0019	0.0013	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0014	0.0011	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0009	0.0008	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K

En la figura Figura **0.1** se muestra en planta el edificio número cuatro con sus respectivos ejes. En las tablas Tabla **0.2** y Tabla **0.3** se muestran los resultados del diseño estructural elástico utilizando las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF .

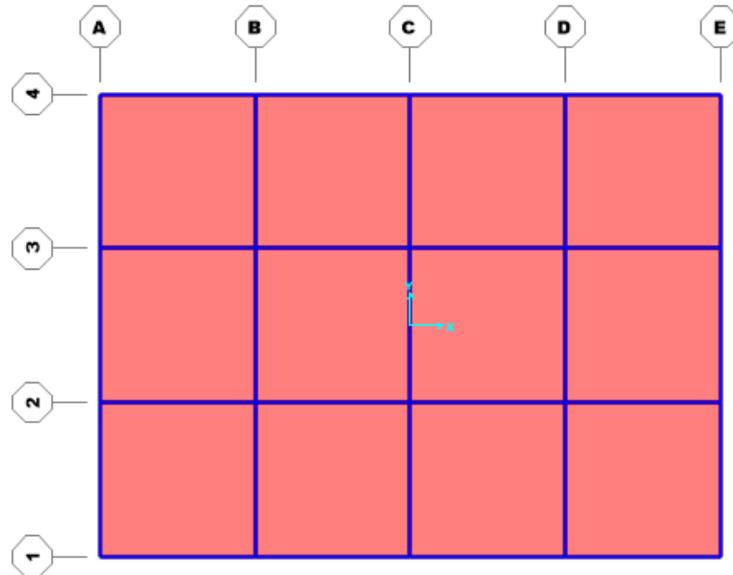


Figura 0.1. Planta con sus respectivos ejes del edificio número cuatro.

Tabla 0.2. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número cuatro.

Eje	Nivel	Trabe	Armado del lecho inferior	Armado del lecho superior	Armado transversal
1	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#5	E#3 @ 15 cm
2	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#3 @ 15 cm
3	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#3 @ 15 cm
4	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#5	E#3 @ 15 cm
A	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#5	E#3 @ 20 cm
B	PB	25 x 45 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cm
C	PB	25 x 45 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cm
D	PB	25 x 45 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cm
E	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#5	E#3 @ 20 cm

Tabla 0.3. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número cuatro.

Eje	Nivel	Columna	Armado	Armado transversal
A-1	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
B-1	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
C-1	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
D-1	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
E-1	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm



A-2	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
B-2	PB	40 x 40 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 40 cm
C-2	PB	40 x 40 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 40 cm
D-2	PB	40 x 40 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 40 cm
E-2	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
A-3	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
B-3	PB	40 x 40 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 40 cm
C-3	PB	40 x 40 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 40 cm
D-3	PB	40 x 40 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 40 cm
E-3	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
A-4	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
B-4	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
C-4	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
D-4	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm
E-4	PB	40 x 40 cms	1V#4 Esquinas 1V#4 Caras	E#3 @ 30 cm

4.19 Análisis dinámico no lineal del edificio número cuatro

En este caso, se utilizaron 10 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica II que corresponde a tipo de suelo de transición. Los acelerogramas utilizados se muestran en la tabla Tabla **0.1**.

El edificio tiene una estructuración similar a los edificios descritos anteriormente. El modelo de control no tiene ningún sistema de refuerzo. Las figuras Figura **0.1** y Figura **0.2** muestran los desplazamientos y distorsiones de la planta baja flexible, respectivamente, correspondiente al análisis dinámico no lineal del modelo de control con columnas confinadas en los extremos por estribos.

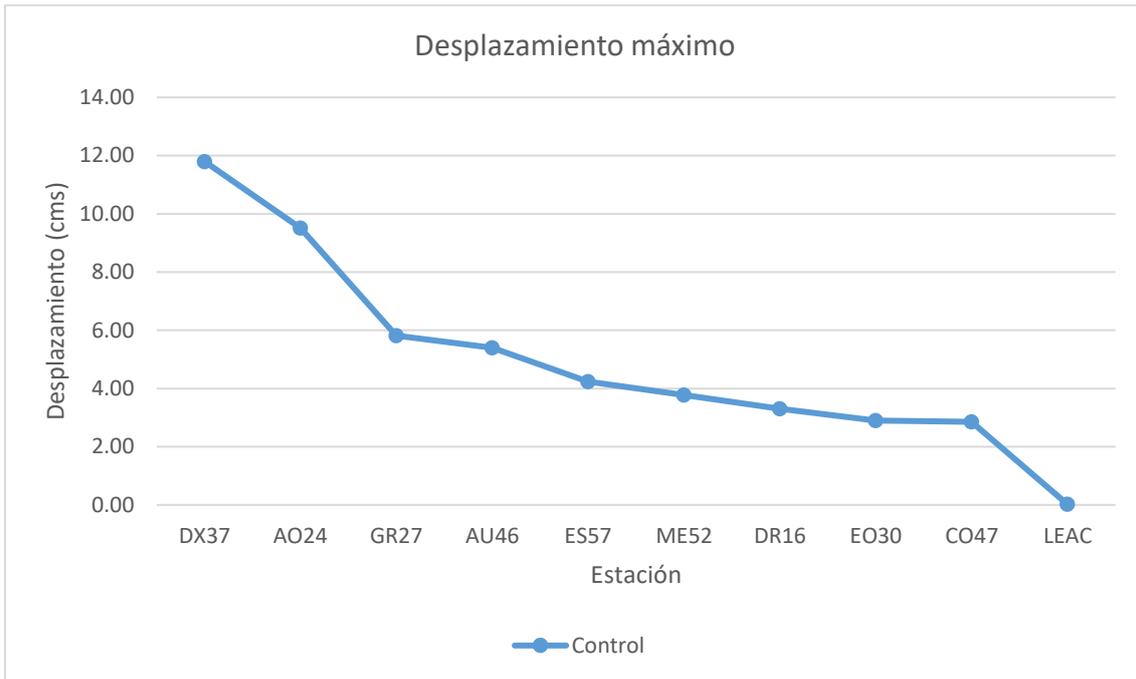


Figura 0.1. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control confinado.

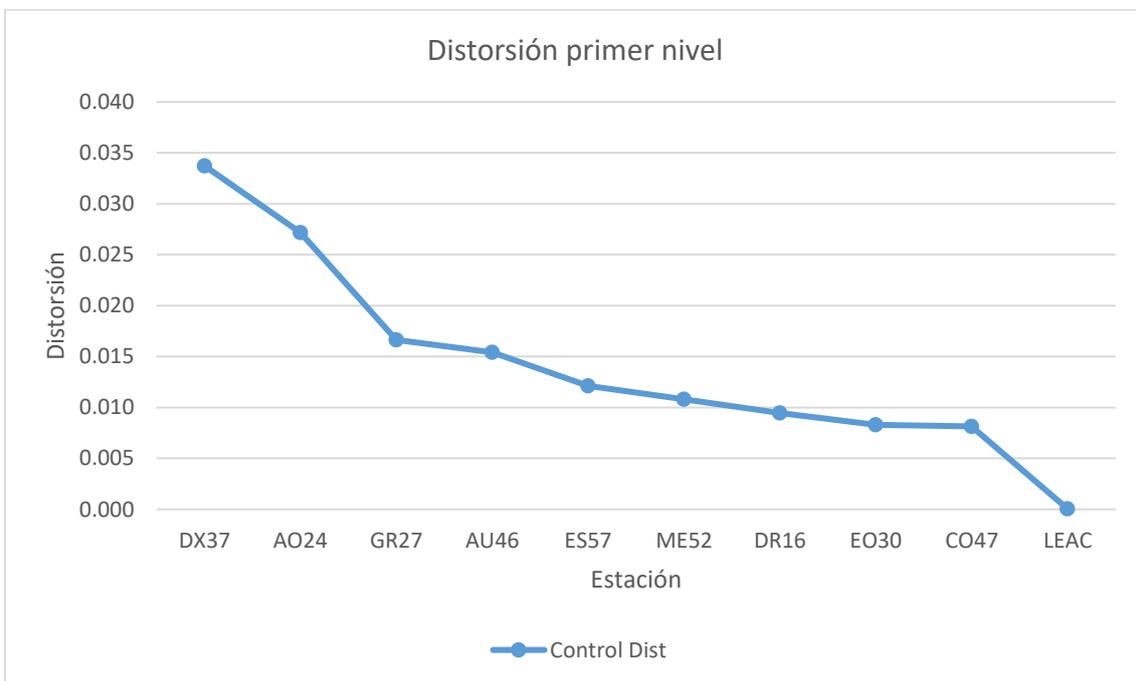


Figura 0.2. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control confinado.

La figura Figura 0.3 muestra el desplazamiento máximo del primer nivel, para cada acelerograma correspondiente al modelo de control sin confinamiento de estribos. La figura Figura 0.4 muestra los resultados de la distorsión de entrepiso de la planta baja flexible para este mismo modelo.

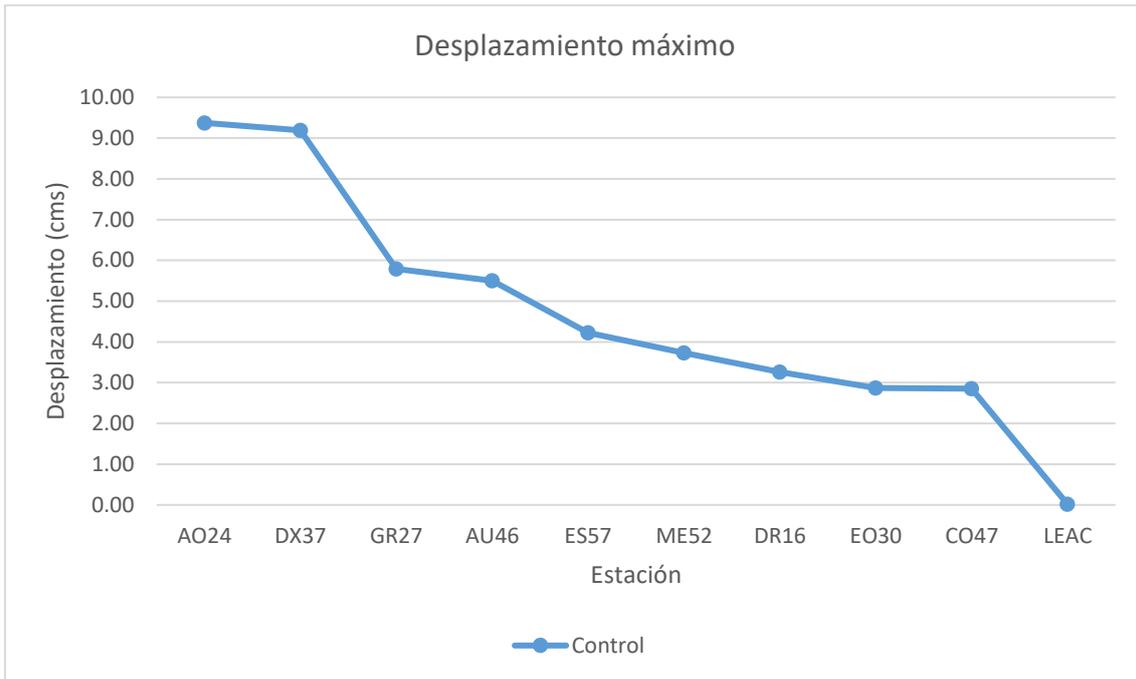


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control no confinado.

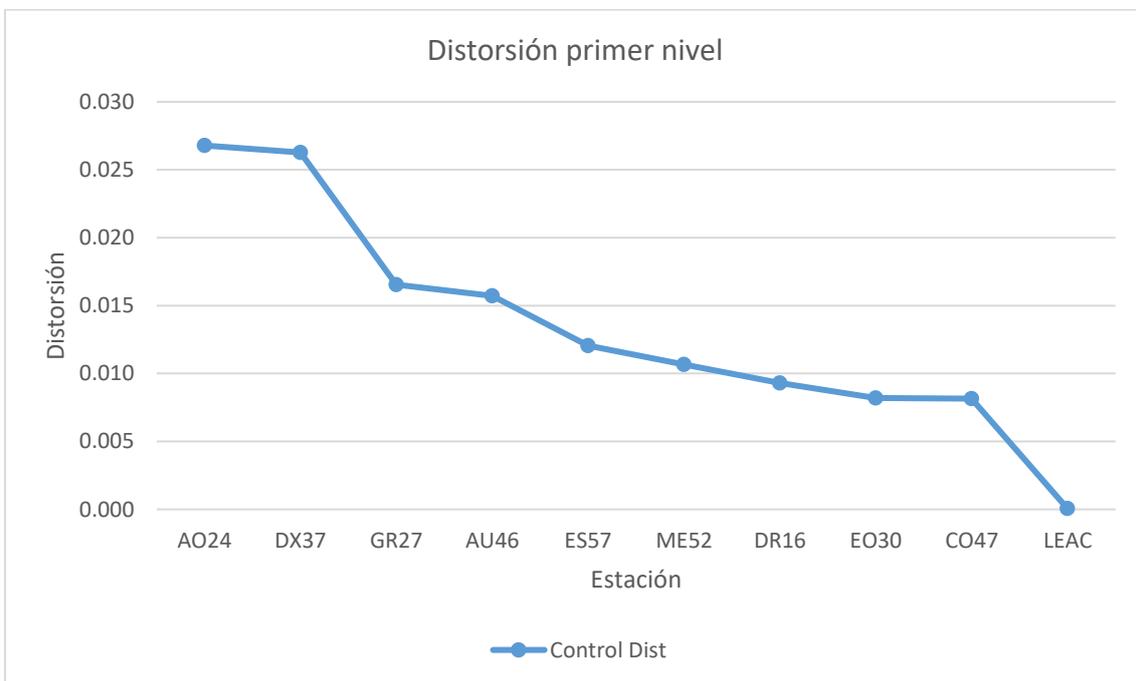


Figura 0.4. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro del modelo de control no confinado.

Nuevamente, en la figura Figura 0.2, de acuerdo a Akbari (2010), una distorsión de entrepiso de 0.034 (registro sísmico DX37) produce un índice de daño correspondiente a un edificio de la clasificación de demoliciones. La figura Figura 0.4 muestra una distorsión de entrepiso de

0.027 para el registro sísmico AO24 que también clasificaría al edificio en la zona de demoliciones.

4.20 Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía (amortiguadores viscosos) de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, el procedimiento de diseño se muestra más a detalle en el anexo A de este trabajo. Las tablas Tabla 0.1 y

Tabla 0.2 muestran los resultados del prediseño del edificio reforzado con amortiguadores viscosos. La disposición de este tipo de dispositivos se muestra en la figura Figura 0.1.

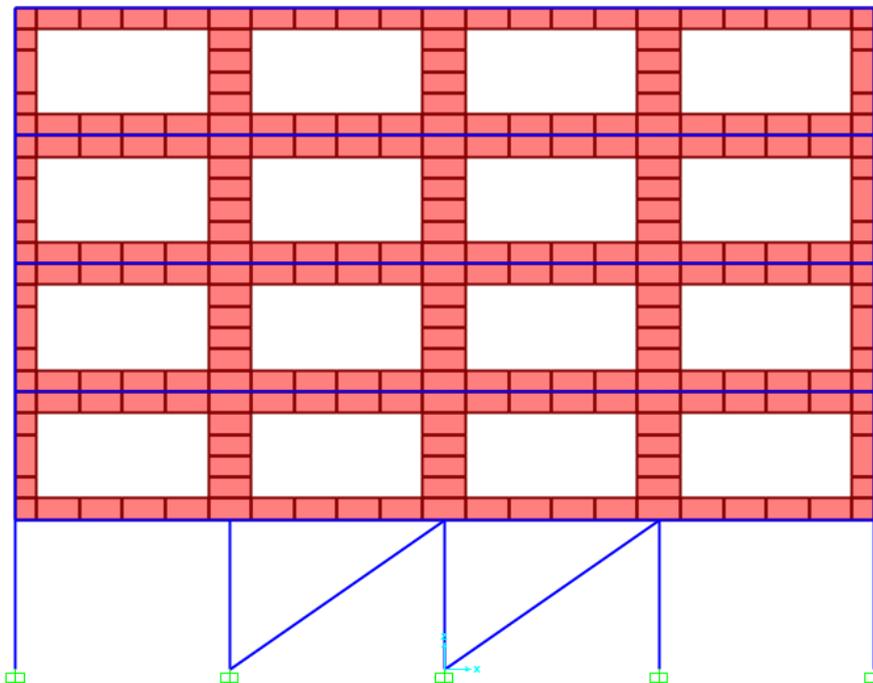


Figura 0.1. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número cuatro.



Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número cuatro.

Análisis del sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
300	802.10	5	158114	40	40
Cant col	h nivel (cm)	θ _v (rad)			
20	350	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1203150	1226.45	213333	149333	6609	132170
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ _v (cm)
10.38	0.61	730.73	70.39	6.78	1.05
μ	V _b (kg)				
6.46	896200				

Tabla 0.2. Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número cuatro.

Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad					
Datos					
Cant disp	C (MN-s/m)	Δy (cm)	Δ (cm)	β _i	θ
8	3	1.05	0.94	0.05	26.56
Cálculos					
C (kg-s/cm)	μ				
24480	0.90				
Cálculos de propiedades dinámicas					
w _n (rad/s) propuesto	T _n (s)	T _{eff} (seg)	T _b (seg)	F _{disp} (kg)	
23.22	0.27	0.26	2.93	496699	
k _{niv} (kg/cm)	w _n (rad/s) calculado				
660574	23.21				
Cálculos de amortiguamiento					
W _n	W	β _{v1}	q _H	β _{HD}	β _{eq}
1173544	291841	0.32	1.00	-0.069	0.30
Cálculos de cantidades espectrales					
S _v (cm/s) propuesto	S _a (cm/s ²)	S _d (cm)			
20.29	471.0	0.87			
S _v (cm/s) calculado					
20.29					



El valor propuesto de ω_n y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto. El valor calculado de β_{eq} es cercano al 30% por lo tanto se acepta el dispositivo propuesto.

El valor propuesto de S_v y el valor calculado son muy aproximados por lo tanto, el valor propuesto es correcto.

Los resultados del edificio número cuatro del modelo de control confinado y no confinado con amortiguadores viscosos se muestran en el capítulo 5. Las distorsiones de entrepiso no superan al máximo permitido indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo RCCM (2017).

4.21 Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, el procedimiento de diseño se muestra más a detalle en el anexo A de este trabajo. Las tablas

Tabla 0.1 a Tabla 0.6 muestran los resultados del prediseño con este dispositivo disipador de energía, para el edificio número cuatro.

Se realizó el análisis dinámico no lineal con el programa Perform 3d V7.0.0 del edificio de control número tres con dispositivos tipo TADAS y contravientos tipo chevron de acero W12X40 colocados en los ejes del uno al cuatro (figura Figura 0.1) y en las crujías de los extremos del edificio.

Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número cuatro.

Análisis del sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
300	802.10	5	158114	40	40
Cant col	h nivel (cm)	θ_y (rad)			
20	350	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1203150	1226.5	213333	149333	6609	132170
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ_y (cm)
10.38	0.61	730.73	70.39	6.78	1.05
μ	f _y (kg)	V _b (kg)			
6.46	138779	896200			



Tabla 0.2. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.

Predimensionamiento de los dispositivos tipo TADAS					
Datos					
V_y/V_{yd}	Cantidad de dispositivos		h (cm)	b (cm)	t (cm)
1.1	8		15	10	2.54
E (kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	ϵ_y	$\epsilon_{m\acute{a}x}$	$\mu_{m\acute{a}x}$	
2038900	2530	0.00125	0.02	10.7	
Cálculos					
V_{yd} (kg)	F_{yd} (kg)	Cantidad de placas requeridas		Δ_{yd} (cm)	
126163	15770	6		0.17	
$\Delta_{m\acute{a}x}$ (cm)	k_e (kg/cm)				
1.8	94949				

Tabla 0.3. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.

Representación tri-lineal		
	Desp (cm)	Fza (kg)
	0.00	0
D_{yd}	0.17	148115
D_{yf}	1.05	264941
	2.00	264941

Tabla 0.4. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.

Representación elastoplástica equivalente			
		Desp (cm)	Fza (kg)
		0	0
	D_y	0.60	264941
		2.00	264941

Tabla 0.5. Sistema lineal equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.

Sistema lineal equivalente					
Cálculos					
β_i	μ_D	A_d	A_y	D_{ob} (cm)	T_{eff} (seg)
0.05	1.36	102.87	113.15	0.82	0.39
μ_f	μ_d	q_H	A_d/A_y	β_{HD}	β_{eff}
0.78	4.92	0.50	0.91	0.19	0.23

T_c (seg)	λ	B
0.39	0.45	0.50

Tabla 0.6. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número cuatro.

Sistema lineal efectivo					
Cálculos					
T ₁ (seg)	S _a 5%	β	S _a *β	S _a *β/μ	D (cm)
0.39	0.60	0.50	0.30	0.22	0.82
D (cm)	V ₁ (kg)				
0.82	264612				

4.22 Diseño estructural del edificio número cuatro con contravientos

Los contravientos del edificio número cuatro se diseñaron utilizando las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (2017) RCCM y el espectro de diseño elástico de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM, la configuración de los contravientos se muestra en la figura Figura 0.1.

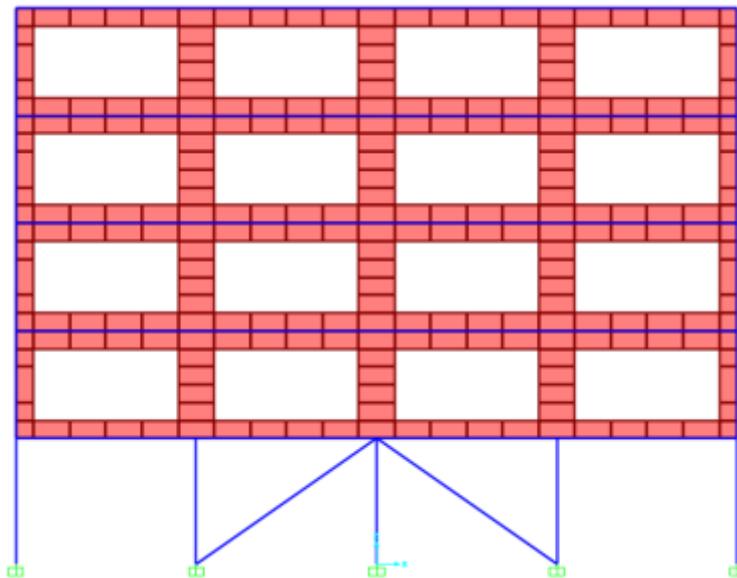


Figura 0.1. Disposición de contravientos del edificio número cuatro.

Se tienen dos contravientos en cada eje del uno al cuatro teniendo un total de ocho contravientos.

Para el diseño de los contravientos se tomaron los siguientes datos:



Sección W12x40, $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, Longitud (L)= 6.10 m, Carga axial a compresión (P_u) = 30.04 Ton

A continuación, se muestran los cálculos del diseño de dicho contraviento.

Cálculo de esfuerzos por flexión y torsión

$$L_x = 610 \text{ cm} \quad K_x = 1 \quad r_x = 13.00 \text{ cm}$$

$$L_y = 610 \text{ cm} \quad K_y = 1 \quad r_y = 4.90 \text{ cm}$$

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = 49.92 \quad \frac{K_y L_y}{r_y} = 124.49$$

$$F_{ex} = 9144 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 2$$

$$X = 0.933$$

$$F_{ey} = 1299 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 1.4$$

$$X = 0.315$$

$$X_{min} = 0.315$$

Resistencia nominal al pandeo por torsión

$$F_n = 1109 \text{ kg/cm}^2$$

Revisión al pandeo local

$$0.56 \sqrt{E/F_y} = 13.49 > \frac{b_p}{2t_p} = 7.80$$

$$1.49 \sqrt{E/F_y} = 35.90 > \frac{h}{t_a} = 33.60$$

No existe pandeo local en el alma ni patines

$$R_c = 75.35 \text{ Ton}$$

En este trabajo se omitió la revisión de los contravientos a tensión, ya que la condición más crítica es a compresión.

4.23 Descripción del edificio número cinco

El quinto edificio corresponde a la clasificación de derrumbes y su uso es habitacional. Su estructuración es con base en marcos de concreto reforzado en el primer nivel, losa maciza en todos los niveles, y muros de tabique sólido confinado a partir del segundo nivel. Sus dimensiones en planta son 20 x 15 m, la separación entre columnas centro a centro es de cinco metros y cuenta con seis niveles. El primer nivel tiene una altura de 3.50 m y el resto de los niveles es de 3.00 m. Para su análisis, el edificio se supone ubicado en la sismica IIIa o IIIb de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) RCDF. La cimentación consiste en 113 pilotes de concreto de 40 cm de diámetro con una longitud de 12 m y las contratrabes miden 60 x 40 cm. En la figura Figura 0.1 se muestran el modelo numérico para su análisis y diseño estructural.

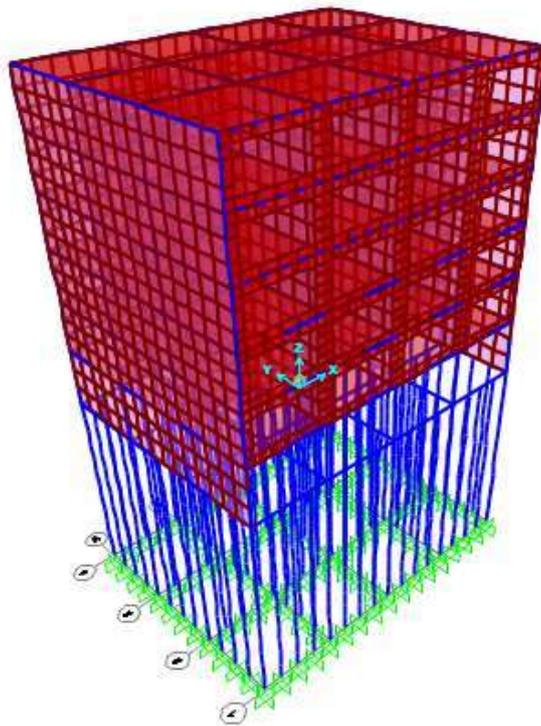


Figura 0.1. Modelo estructural edificio número cinco.

4.23.1 Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número cinco



Las propiedades de los materiales para los elementos estructurales del edificio número cinco se describe en la tabla Tabla **0.1**.

El análisis modal espectral utiliza los espectros de diseño de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de 1976 del RCDF que se muestran en la tabla Tabla **0.6**. Las distorsiones máximas de entrepiso en el primer nivel obtenidas a partir del análisis estructural se muestran en la tabla Tabla **0.1**.

Tabla 0.1. Distorsiones de entrepiso para el edificio número cinco.

Nivel	hi (cms)	entrepiso h (cms)	Desp Δx (cms)	Desp Δy (cms)
1	350	350	2.01	0.74
2	650	300	3.03	1.31
3	950	300	3.97	1.90
4	1250	300	4.79	2.46
5	1550	300	5.43	2.93
6	1850	300	5.86	3.29

Distorsión x	Distorsión y	Revisión x	Revisión y
0.0057	0.0021	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0034	0.0019	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0031	0.0020	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0027	0.0019	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0021	0.0016	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K

En la figura Figura **0.1** se muestra en planta el edificio número cinco con sus respectivos ejes. En las tablas Tabla **0.2** y Tabla **0.3** se muestran los resultados del diseño estructural elástico utilizando las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF .

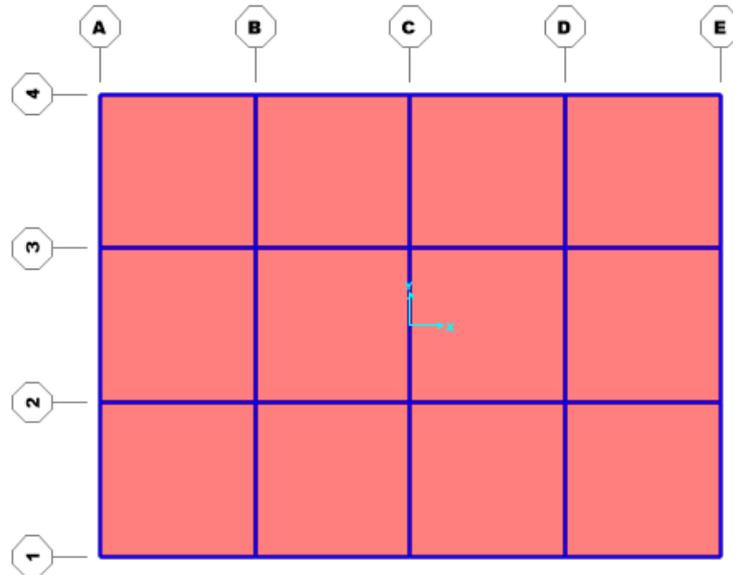


Figura 0.1. Planta del edificio número cinco.

Tabla 0.2. Resultados del diseño estructural de trabes de concreto armado del edificio número cinco.

Eje	Nivel	Trabe	Armado del lecho inferior	Armado del lecho superior	Armado transversal
1	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#4 @ 20 cm
2	PB	25 x 45 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cm
3	PB	25 x 45 cms	2 V#6	2 V#8	E#4 @ 20 cm
4	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#4 @ 20 cm
A	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#3 @ 20 cm
B	PB	25 x 45 cms	2 V#6 + 1 V#4	2 V#10	E#4 @ 15 cm
C	PB	25 x 45 cms	2 V#6 + 1 V#4	2 V#10	E#4 @ 15 cm
D	PB	25 x 45 cms	2 V#6 + 1 V#4	2 V#10	E#4 @ 15 cm
E	PB	25 x 45 cms	2 V#5	2 V#6 + 1 V#4	E#3 @ 20 cm

Tabla 0.3. Resultados del diseño estructural de las columnas del edificio número cinco.

Eje	Nivel	Columna	Armado	Armado transversal
A-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
B-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
C-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
D-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
E-1	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm



A-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
B-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cm
C-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cm
D-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cm
E-2	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
A-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
B-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
C-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cm
D-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cm
E-3	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#8 Caras	E#4 @ 45 cm
A-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
B-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
C-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
D-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm
E-4	PB	45 x 45 cms	1V#8 Esquinas 1V#4 Caras	E#4 @ 45 cm

4.24 Análisis dinámico no lineal del edificio número cinco

Se utilizaron 26 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica IIIa y IIIb ya que de acuerdo al capítulo 2 en estas dos zonas sísmicas se presentaron un gran número de inmuebles en la clasificación de demoliciones. Adicionalmente, se incluyeron tres acelerogramas correspondientes a la zona sísmica II debido a su cercanía con la zona de los inmuebles tuvieron que ser demolidos. Los acelerogramas utilizados se muestran en la tabla Tabla **0.1**.

Las figuras Figura **0.1** y Figura **0.2** muestran los desplazamientos y distorsiones de la planta baja flexible, respectivamente, correspondiente al análisis dinámico no lineal del modelo de control con columnas confinadas en los extremos.

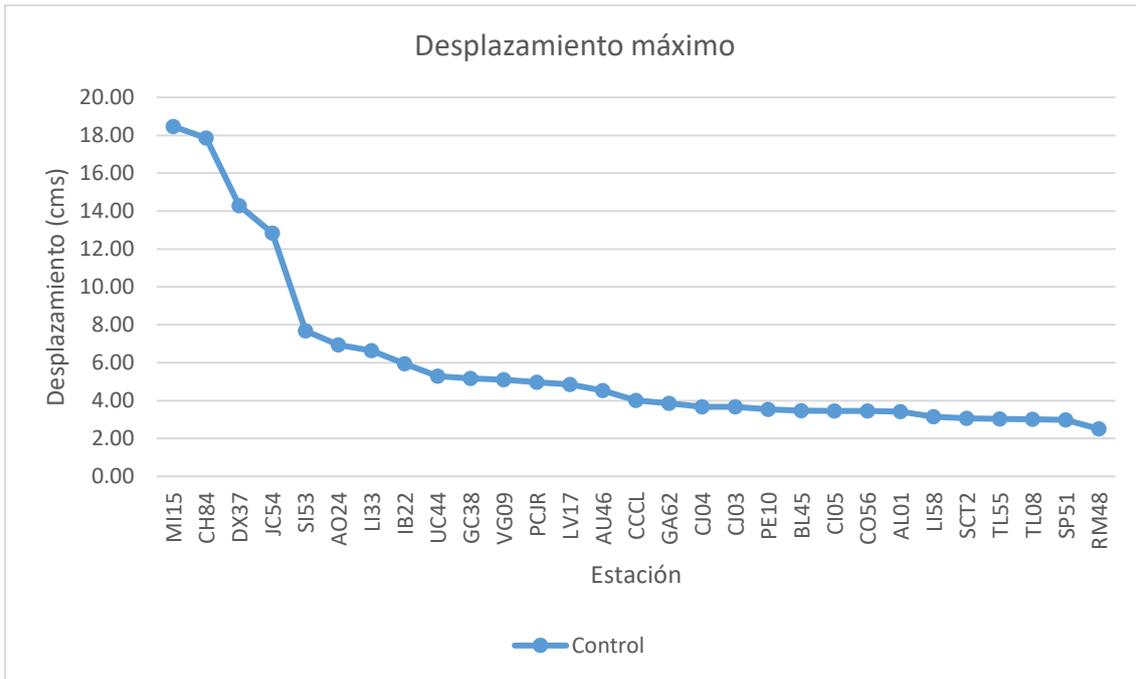


Figura 0.1. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control confinado.

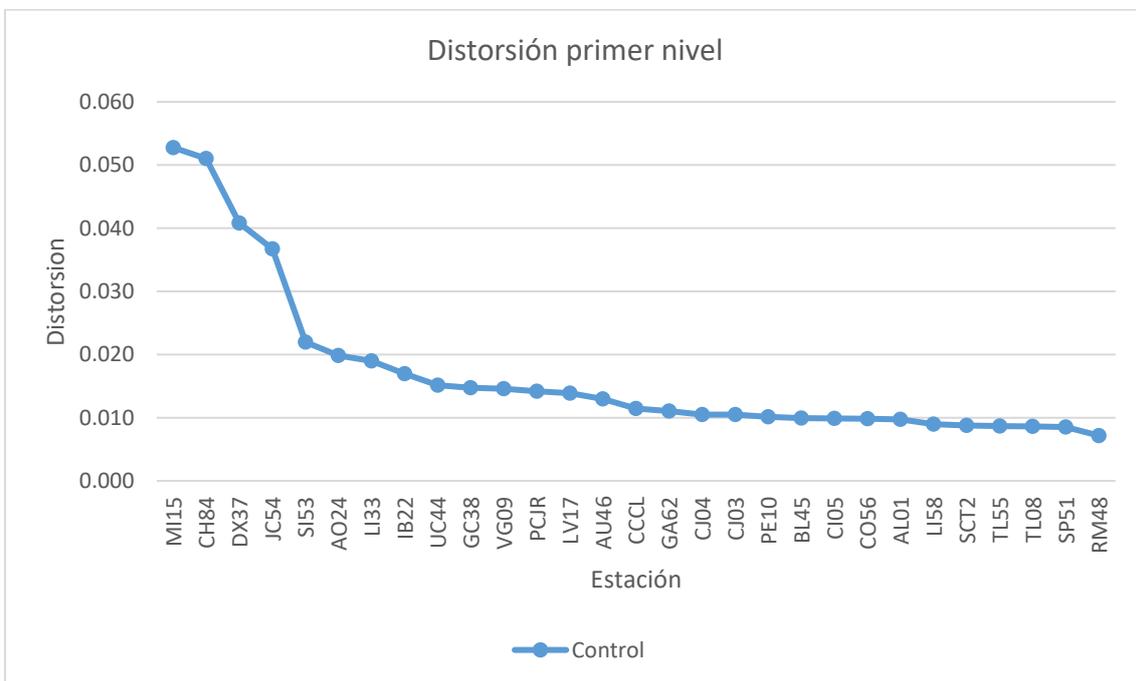


Figura 0.2. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control confinado.

La figura Figura **0.3** muestra el desplazamiento máximo del primer nivel, para cada acelerograma correspondiente al modelo de control sin confinamiento de estribos. La figura Figura **0.4** muestra los resultados de la distorsión de entrepiso de la planta baja flexible para este mismo modelo.

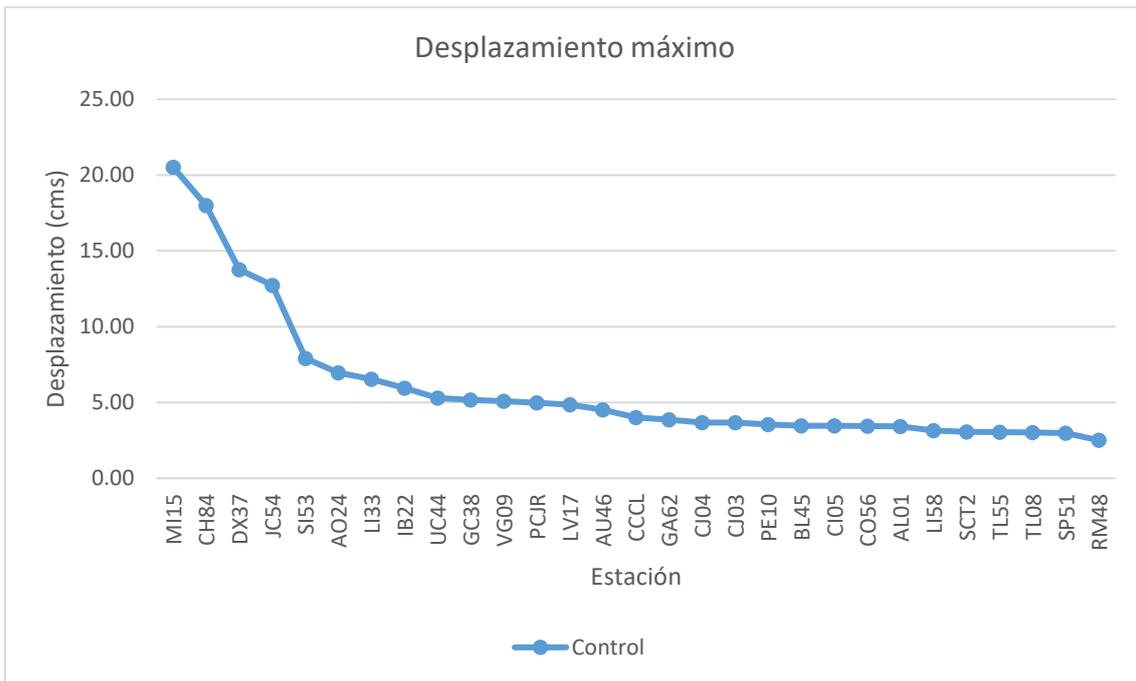


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control no confinado.

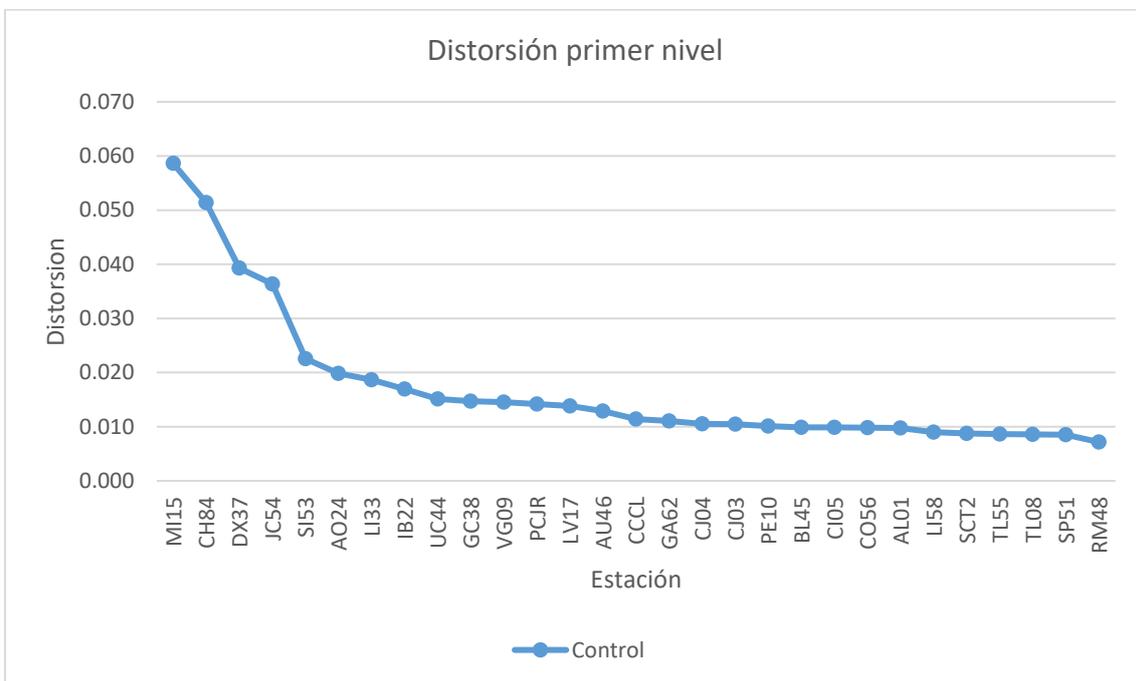


Figura 0.4. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco del modelo de control no confinado.

El registro MI15 origina una distorsión de entrepiso de 0.053 que ubica al edificio en la clasificación de demoliciones. La figura Figura 0.4, con una distorsión de entrepiso de 0.059,



clasifica al edificio en demoliciones. Por ello, ambos modelos justifican utilizar disipadores de energía y contravientos. Aunque la demanda de distorsiones es similar en ambos casos, la capacidad dúctil del modelo sin confinamiento es fuertemente reducida por la excesiva separación de estribos en las zonas de posible formación de articulaciones plásticas.

4.25 Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso

A continuación, se muestran los resultados del prediseño de este tipo de dispositivo disipador de energía del edificio número cinco en las tablas Tabla **0.1** y Tabla **0.2**.

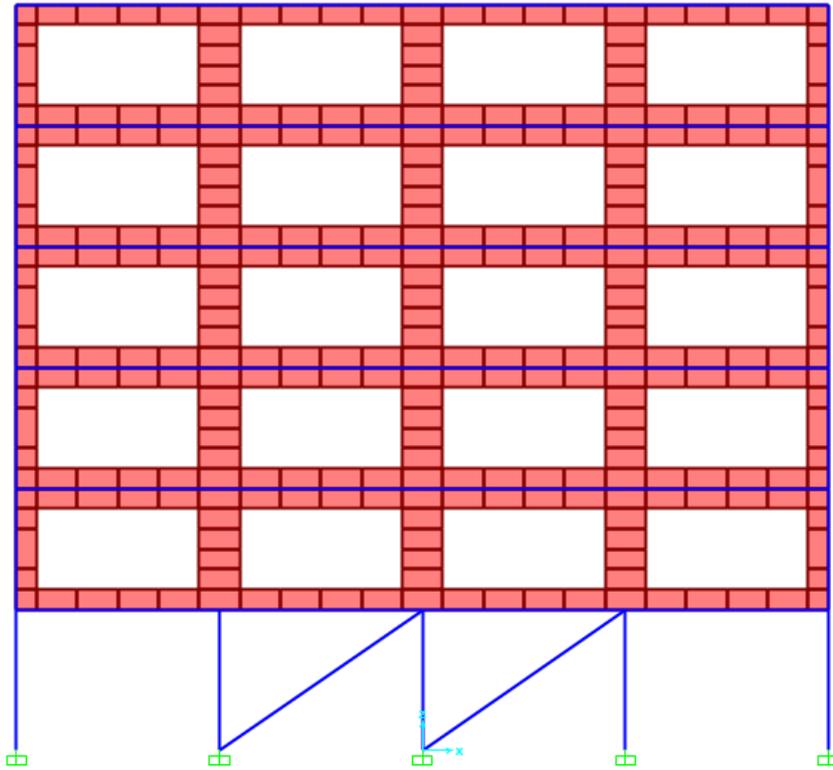


Figura 0.1. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número cinco.

Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número cinco.

Sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
300	803.88	6	158114	45	45
No. col	h nivel (cm)	θ_y (rad)			
20	350	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1446975	1475.00	341719	239203	10586	211711
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ_y (cm)
11.98	0.52	677.77	56.57	4.72	1.05
μ	V _b (kg)				
4.50	999707				

Tabla 0.2. Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad del prediseño del edificio número cinco.

Cálculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad					
Datos					
No. disp	C (MN-s/m)	Δ_y (cm)	Δ (cm)	β_i	θ



8	3	1.05	0.94	0.05	26.56
Cálculos					
C (kg-s/cm)	μ				
24480	0.90				
Cálculos de propiedades dinámicas					
w_n (rad/s) propuesto		T_n (s)	T_{eff} (seg)	T_b (seg)	F_{disp} (kg)
22.69		0.28	0.26	2.93	514080
k_{niv} (kg/cm)	w_n (rad/s) calculado				
758605	22.68				
Cálculos de amortiguamiento					
W_n	W	β_{v1}	q_H	β_{HD}	β_{eq}
1214610	335152	0.29	1.00	-0.069	0.27
Cálculos de cantidades espectrales					
S_v (cm/s) propuesto		S_a (cm/s²)	S_d (cm)		
21.00		476.6	0.93		
S_v (cm/s) calculado					
21.00					

Como el valor propuesto de ω_n y el valor calculado son muy aproximados, se acepta el dispositivo que tiene amortiguamiento β_{eq} cercano al 30%. El valor propuesto de S_v y el valor calculado son también muy aproximados.

Los resultados del edificio número cinco del modelo de control confinado y no confinado con amortiguadores viscosos se muestran en el capítulo 5.

4.26 Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS

Se realizó el prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, el procedimiento de diseño se muestra más a detalle en el anexo A de este trabajo. A continuación, se muestran los resultados del prediseño de este tipo de dispositivo disipador de energía del edificio número cinco en las tablas Tabla 0.1 a Tabla 0.6.



Se realizó el análisis dinámico no lineal con el programa Perform 3d V7.0.0 del edificio de control número cinco con dispositivos tipo TADAS y contravientos tipo chevron de acero W12X30 colocados en los ejes del uno al cuatro (figura Figura 0.1) y en las crujías de los extremos del edificio.

Tabla 0.1. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos tipo TADAS del prediseño del edificio número cinco.

Sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
300	803.88	6	158114	45	45
Cant col	h nivel (cm)	θ _y (rad)			
20	350	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1446975	1475.0	341719	239203	10586	211711
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ _y (cm)
11.98	0.52	677.77	56.57	4.72	1.05
μ	f _y (kg)	V _b (kg)			
4.50	222297	999707			

Tabla 0.2. Prediseño del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco.

Predimensionamiento de los dispositivos tipo TADAS					
Datos					
V _y /V _{yd}	Cantidad de dispositivos		h (cm)	b (cm)	t (cm)
2	8		15	10	2.54
E (kg/cm ²)	f _y (kg/cm ²)	ε _y	ε _{máx}	μ _{máx}	
2038900	2530	0.00125	0.02	10.7	
Cálculos					
V _{yd} (kg)	F _{yd} (kg)	Cantidad de placas requeridas		Δ _{yd} (cm)	
111148	13894	5		0.17	
Δ _{máx} (cm)	k _e (kg/cm)				
1.8	83649				

Tabla 0.3. Representación tri-lineal del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco.

Representación tri-lineal		
	Desp (cm)	Fza (kg)
	0.00	0
D _{yd}	0.17	146312



D _{yf}	1.05	333445
	2.00	333445

Tabla 0.4. Representación elastoplástica equivalente del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco.

Representación elastoplástica equivalente			
		Desp (cm)	Fza (kg)
		0	0
	D _y	0.72	333445
		2.00	333445

Tabla 0.5. Sistema lineal equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número cinco.

Sistema lineal equivalente					
Cálculos					
β_i	μ_D	A _d	A _y	D _{ob} (cm)	T _{eff} (seg)
0.05	1.41	75.35	150.71	1.02	0.42
μ_f	μ_d	q _H	A _d /A _y	β_{HD}	β_{eff}
0.97	6.13	0.50	0.50	0.17	0.21
T _c (seg)	λ	B			
0.43	0.45	0.52			

Tabla 0.6. Sistema lineal efectivo del dispositivo tipo TADAS del edificio número cinco.

Sistema lineal efectivo					
Cálculos					
T ₁ (seg)	S _a 5%	β	S _a * β	S _a * β / μ	D (cm)
0.42	0.62	0.52	0.33	0.23	1.02
D (cm)	V ₁ (kg)				
1.017	333234				

4.27 Diseño estructural del edificio número cinco con contravientos

Los contravientos del edificio número cinco se diseñaron utilizando las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (2017) RCCM y el espectro de diseño elástico de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. La configuración de los contravientos se muestra en la figura Figura 0.1.

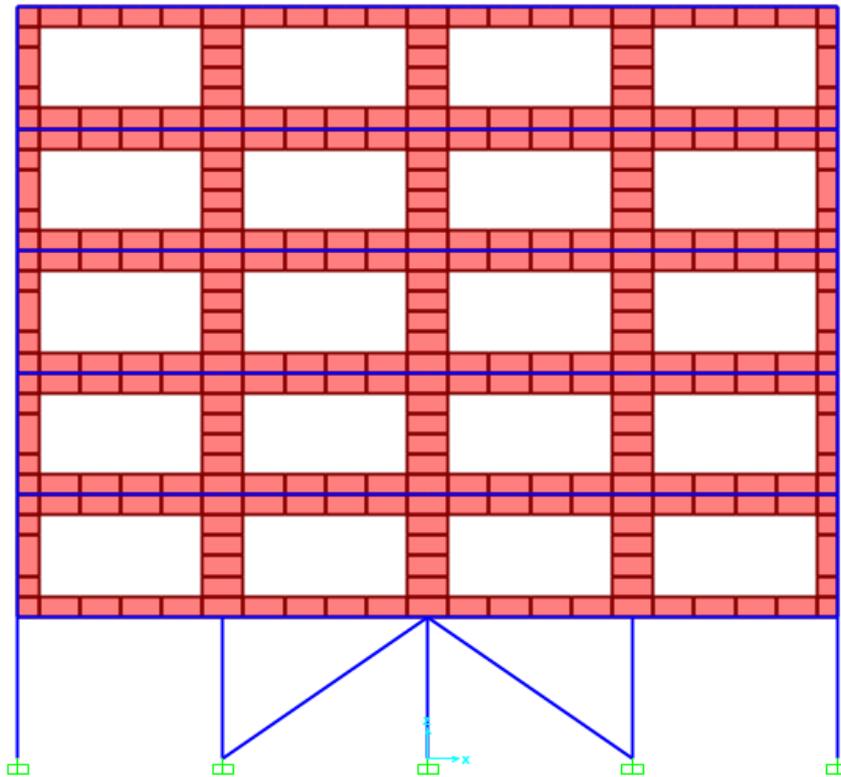


Figura 0.1. Disposición de contravientos del edificio número cinco.

Para el diseño de los contravientos se tomaron los siguientes datos:

Sección W12x40, $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, Longitud (L)= 6.10 m, Carga axial a compresión (P_u) = 58.73 Ton

A continuación, se muestran los cálculos del diseño de dicho contraviento.

Calculo de esfuerzos por flexión y torsión

$$L_x = 610 \text{ cm} \quad K_x = 1 \quad r_x = 13.00 \text{ cm}$$



$$L_y = 610 \text{ cm} \quad K_y = 1 \quad r_y = 4.90 \text{ cm}$$

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = 49.92 \quad \frac{K_y L_y}{r_y} = 124.49$$

$$F_{ex} = 9144 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 2$$

$$X = 0.933$$

$$F_{ey} = 1299 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 1.4$$

$$X = 0.315$$

$$X_{min} = 0.315$$

Resistencia nominal al pandeo por torsión

$$F_n = 1109 \text{ kg/cm}^2$$

Revisión al pandeo local

$$0.56 \sqrt{E/F_y} = 13.49 > \frac{b_p}{2t_p} = 7.80$$

$$1.49 \sqrt{E/F_y} = 35.90 > \frac{h}{t_a} = 33.60$$

No existe pandeo local en el alma ni patines

$$R_c = 75.35 \text{ Ton}$$

Se omitió la revisión de los contravientos a tensión, ya que la condición más crítica es a compresión.

4.28 Descripción del edificio número seis

El sexto edificio es de ocho niveles y corresponde a la clasificación de demoliciones y su uso es habitacional que de acuerdo al capítulo tres. Su estructuración es a base de marcos de concreto armado con losa maciza en planta baja, y en el resto de los niveles es a base de muros de tabique sólido confinado con losa maciza, sus dimensiones en planta son 18 x 15 m, la separación entre columnas de eje a eje es de cinco metros en los ejes del uno al cuatro y de seis metros de A a C (figura Figura 0.1), cuenta con nueve niveles, con una altura de 3.00 m en todos sus niveles.

Para su análisis, el edificio se supone ubicado en la sismica IIIa o IIIb de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004) RCDF. La cimentación consiste en 124 pilotes de concreto de 40 cms de diámetro con una longitud de 25 mts y contra trabes de 80 x 50 cms colocada en cada uno de sus ejes. En la figura Figura **0.1** se muestran el modelo realizado para su análisis y diseño estructural.

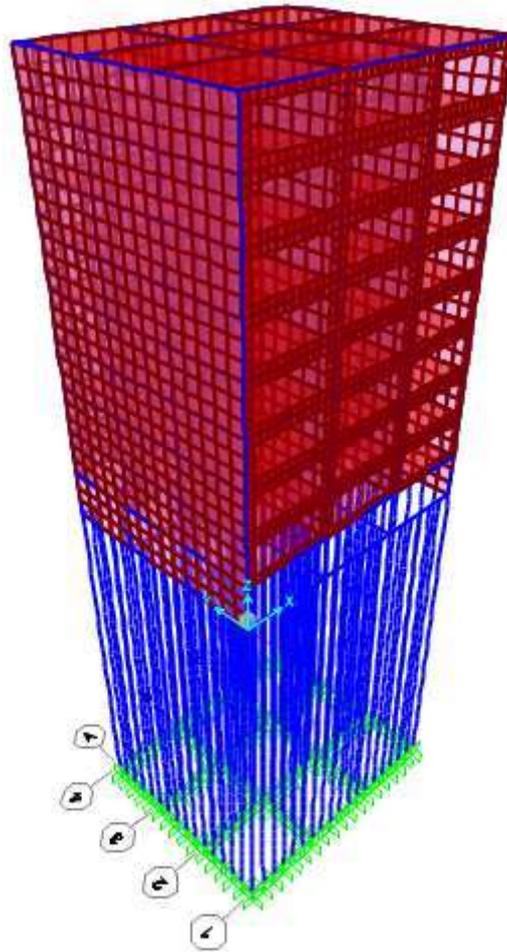


Figura 0.1. Modelo estructural edificio número seis.

4.28.1 Diseño estructural de los marcos de concreto del edificio número seis

Las propiedades de los materiales para los elementos estructurales del edificio número seis se describe en la tabla Tabla **0.1**.

Se realizó el análisis modal espectral utilizando los espectros de diseño de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de 1976 del RCDF que se muestran en la tabla Tabla **0.6**. Las distorsiones máximas de entrepiso en el primer nivel obtenidas a partir del análisis estructural se muestran en la tabla Tabla **0.1**.



Tabla 0.1. Distorsiones de entrepiso para el edificio número seis.

Nivel	hi (cms)	entrepiso h (cms)	Desp Δx (cms)	Desp Δy (cms)
1	300	300	0.89	0.57
2	600	300	2.56	1.66
3	900	300	3.30	2.89
4	1200	300	4.20	4.20
5	1500	300	5.98	5.53
6	1800	300	7.61	6.82
7	2100	300	9.04	8.02
8	2400	300	10.21	9.07
9	2700	300	11.08	9.94

Distorsión x	Distorsión y	Revisión x	Revisión y
0.0030	0.0019	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0056	0.0036	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0025	0.0041	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0030	0.0044	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0059	0.0044	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0054	0.0043	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0048	0.0040	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0039	0.0035	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K
0.0029	0.0029	< 0.006 O.K	< 0.006 O.K

La figura Figura 0.1 muestra la planta del edificio número cinco. Las tablas Tabla 0.2 y

Tabla 0.3 muestran los resultados del diseño estructural elástico utilizando las Normas Técnicas Complementarias de 1976 del RCDF .

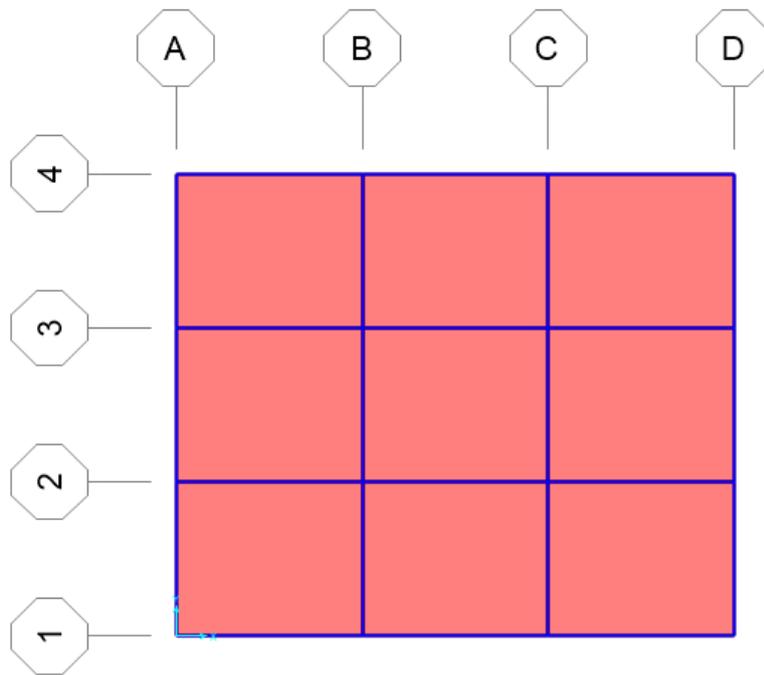


Figura 0.1. Modelo estructural edificio número seis en planta.

Tabla 0.2. Resultados del diseño estructural de traves de concreto armado del edificio número seis.

Eje	Nivel	Trabe	Armado del lecho inferior	Armado del lecho superior	Armado transversal
1	PB	30 x 60 cms	2 V#6	2 V#6 + 1 V#4	E#3 @ 25 cm
2	PB	30 x 60 cms	2 V#10 + 1 V#6	3 V#10	2E#5 @ 25 cm
3	PB	30 x 60 cms	2 V#10 + 1 V#6	3 V#10	2E#5 @ 25 cm
4	PB	30 x 60 cms	2 V#10	2 V#10 + 1 V#4	E#4 @ 15 cm
A	PB	30 x 60 cms	2 V#6 + 1 V#4	2 V#8	E#4 @ 25 cm
B	PB	30 x 60 cms	2 V#8 + 1 V#6	2 V#10	E#5 @ 20 cm
C	PB	30 x 60 cms	2 V#8 + 1 V#6	2 V#10	E#5 @ 20 cm
D	PB	30 x 60 cms	2 V#6 + 1 V#4	2 V#8	E#4 @ 25 cm



Tabla 0.3. Resultados del diseño estructural de columnas de concreto armado del edificio número seis.

Eje	Nivel	Columna	Armado	Armado transversal
A-1	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
B-1	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
C-1	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
D-1	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
A-2	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
B-2	PB	55 x 55 cms	1V#8 Esquinas 2V#8 Caras	2E#4 @ 55 cm
C-2	PB	55 x 55 cms	1V#8 Esquinas 2V#8 Caras	2E#4 @ 55 cm
D-2	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
A-3	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
B-3	PB	55 x 55 cms	1V#8 Esquinas 2V#8 Caras	2E#4 @ 55 cm
C-3	PB	55 x 55 cms	1V#8 Esquinas 2V#8 Caras	2E#4 @ 55 cm
D-3	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
A-4	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
B-4	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
C-4	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm
D-4	PB	55 x 55 cms	1V#6 Esquinas 2V#5 Caras	2E#4 @ 55 cm

4.29 Análisis dinámico no lineal del edificio número seis

Se utilizaron los mismos 26 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica IIIa y IIIb y los tres adicionales de Zona II, previamente descritos en la la tabla Tabla **0.1**.

Las figuras Figura **0.1** y Figura **0.2** muestran los desplazamientos y distorsiones de la planta baja flexible, respectivamente, correspondiente al análisis dinámico no lineal del modelo de control con columnas confinadas en los extremos por estribos.

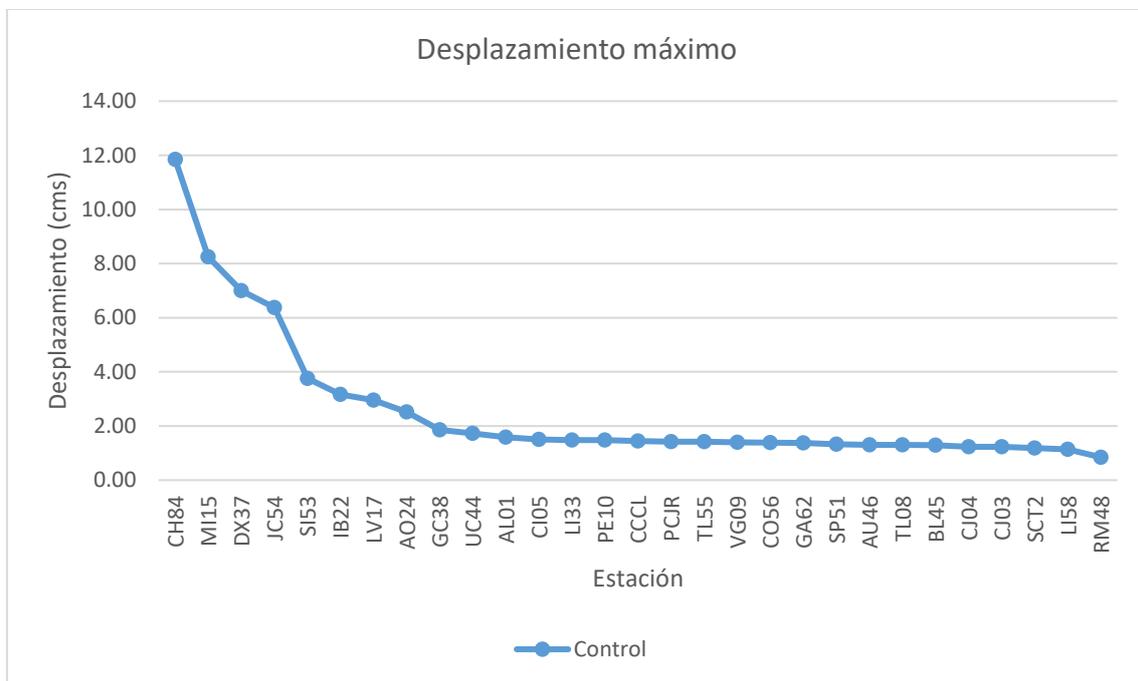


Figura 0.1. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis del modelo de control confinado.

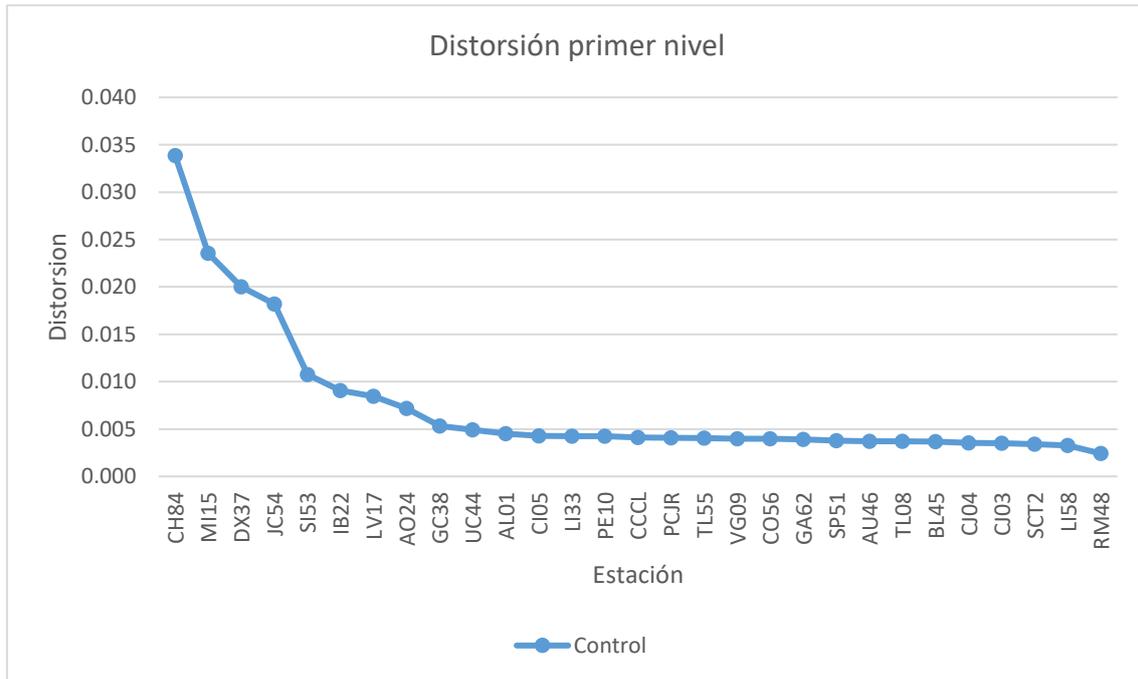


Figura 0.2. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis del modelo de control confinado.

La figura Figura 0.3 muestra el desplazamiento máximo del primer nivel, para cada acelerograma correspondiente al modelo de control sin confinamiento de estribos. La figura Figura 0.4 muestra los resultados de la distorsión de entrepiso de la planta baja flexible para este mismo modelo.

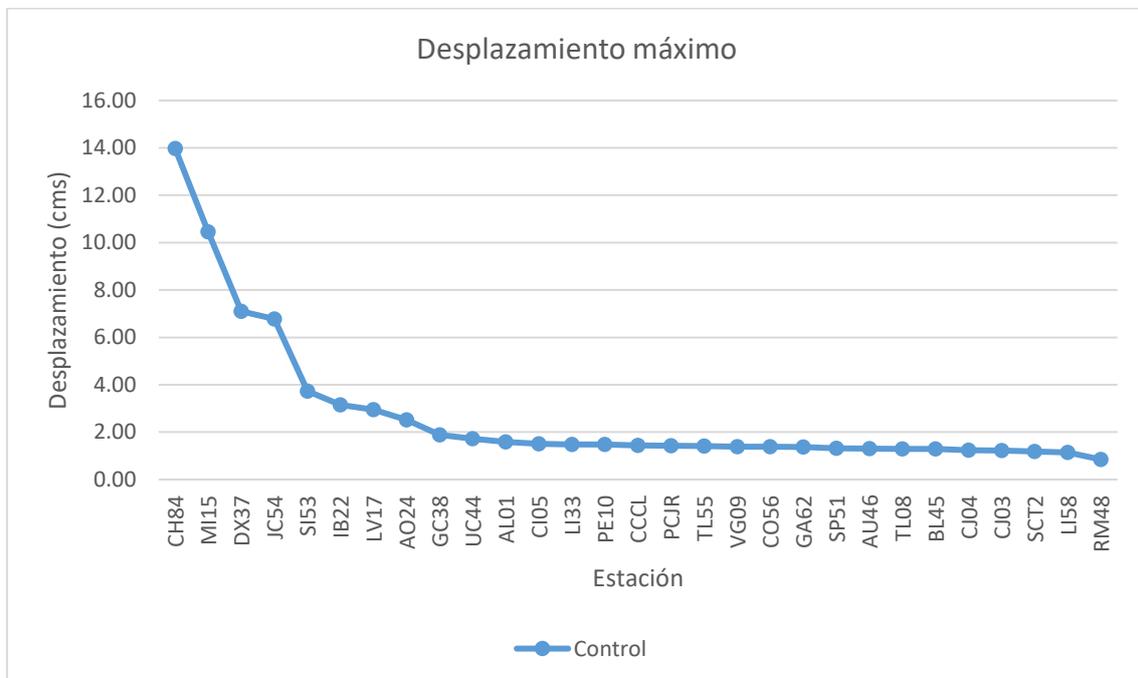


Figura 0.3. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis del modelo de control no confinado.

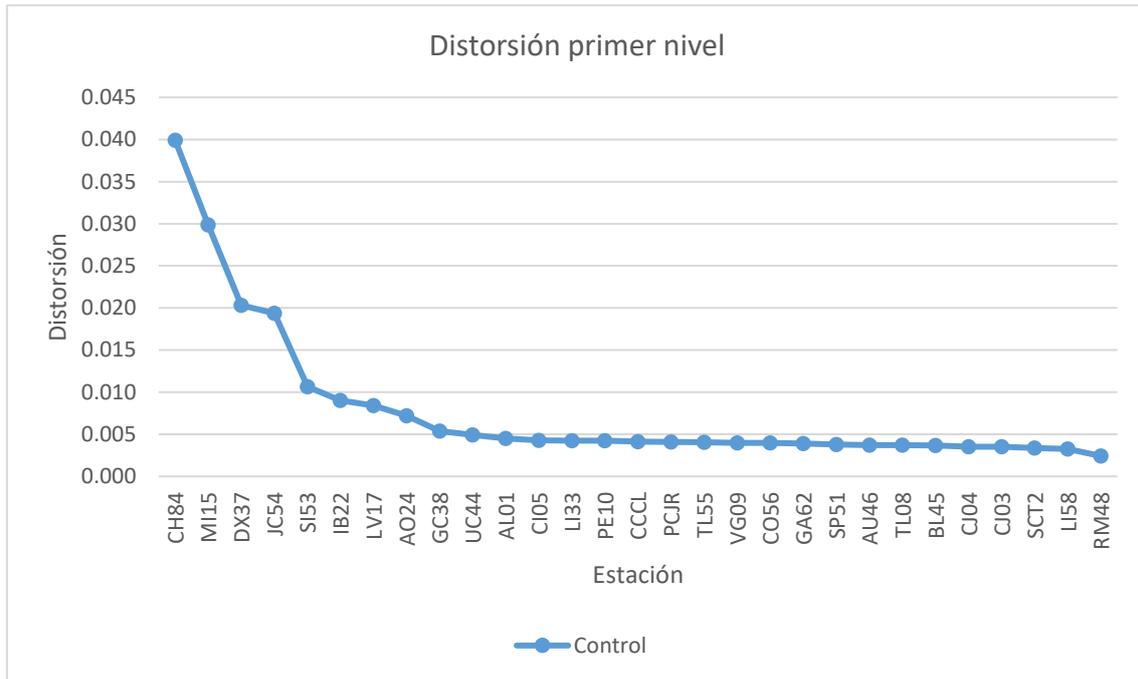


Figura 0.4. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis del modelo de control no confinado.

El registro sísmico DX37 produce una distorsión de entrepiso correspondiente a 0.034 que corresponde a un edificio en la clasificación de demoliciones. Lo mismo ocurre con el registro sísmico CH84, con una distorsión de entrepiso de 0.040.

4.30 Diseño estructural con dispositivos disipadores de comportamiento viscoso

A continuación, se muestran los resultados del prediseño del amortiguador para el edificio número seis (tablas Tabla 4.4 y Tabla 0.5).

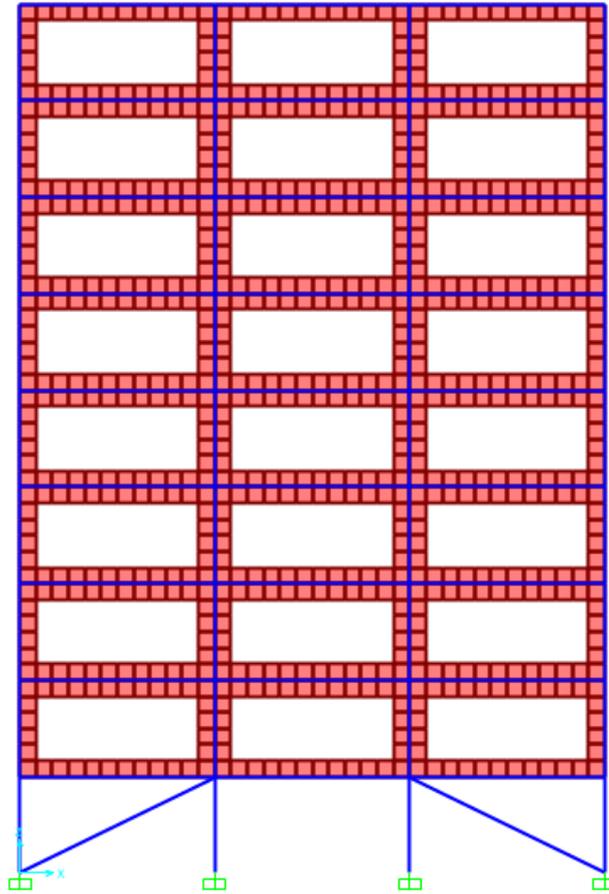


Figura 0.1. Disposición de dispositivos disipadores de energía tipo amortiguador viscoso en edificio número seis.



Tabla 4.4. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número seis.

Analizando el sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
270	804.18	9	158114	55	55
Cant col	h nivel (cm)	θ _v (rad)			
16	300	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1954152	1992.00	762552	533786	37511	600171
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ _y (cm)
17.36	0.36	571.85	32.95	1.90	0.90
μ	V _b (kg)				
2.11	1139128				

Tabla 0.5. Análisis como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos del prediseño del edificio número seis.

Calculo de amortiguadores viscoso para reducir la demanda de ductilidad					
Datos					
Cant disp	C (MN-s/m)	Δ _y (cm)	Δ (cm)	β _i	θ
8	3	0.90	0.94	0.05	26.56
Cálculos					
C (kg-s/cm)	μ				
24480	1.04				
Cálculos de propiedades dinámicas					
w _n (rad/s) propuesto	T _n (s)	T _{eff} (seg)	T _b (seg)	F _{disp} (kg)	
23.73	0.26	0.27	2.93	496210	
k _{niv} (kg/cm)	w _n (rad/s) calculado				
1128054	23.80				
Cálculos de amortiguamiento					
W _n	W	β _{v1}	q _H	β _{HD}	β _{eq}
1172387	498374	0.19	1.00	0.025	0.26
Cálculos de cantidades espectrales					
S _v (cm/s) propuesto	S _a (cm/s ²)	S _d (cm)			
20.27	481.1	0.85			
S _v (cm/s) calculado					
20.27					



Como el valor propuesto de ω_n y el valor calculado son muy cercanos, se acepta el dispositivo. El valor propuesto de S_v y el valor calculado son también muy cercanos entre sí.

4.31 Diseño estructural con dispositivos disipadores de energía TADAS

A continuación, se muestran los resultados del prediseño de los disipadores de energía TADAS para el edificio número seis (tablas Tabla 0.1 a **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Los dispositivos TADAS se colocan sobre contravientos tipo chevron de acero W12X50 ubicados en los ejes del uno al cuatro (figura Figura 0.1) y en las crujías de los extremos del edificio.

Tabla 0.1. Análisis del sistema como un sistema de un grado de libertad del edificio número seis sin dispositivos.

Analizando el sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos					
Datos					
A (m ²)	w (kg/m ²)	N° Niveles	E (kg/cm ²)	b col (cm)	h col (cm)
270	804.18	9	158114	55	55
Cant col	h nivel (cm)	θ_y (rad)			
16	300	0.0030			
Cálculos					
W _t (kg)	M _t (kg-s ² /cm)	I _g col (cm ⁴)	I _{ag} col (cm ⁴)	k _{col} (kg/cm)	k _{niv} (kg/cm)
1954152	1992.0	762552	533786	37511	600171
w _n (rad/s)	T _n (s)	S _a (cm/s ²)	S _v (cm/s)	S _d (cm)	Δ_y (cm)
17.36	0.36	571.85	32.95	1.90	0.90
μ	f _y (kg)	V _b (kg)			
2.11	540154	1139128			

Tabla 0.2. Prediseño de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.

Predimensionamiento de los dispositivos tipo TADAS					
Datos					
V _y /V _{yd}	Cantidad de dispositivos		h (cm)	b (cm)	t (cm)
3.1	8		15	10	1.905
E (kg/cm ²)	f _y (kg/cm ²)	ϵ_y	$\epsilon_{m\acute{a}x}$	$\mu_{m\acute{a}x}$	
2038900	2530	0.00125	0.02	10.7	
Cálculos					
V _{yd} (kg)	F _{yd} (kg)	Cantidad de placas requeridas			Δ_{yd} (cm)
174243	21780	14			0.22
$\Delta_{m\acute{a}x}$ (cm)	k _e (kg/cm)				



2.4	98351				
-----	-------	--	--	--	--

Tabla 4.3. Representación tri-lineal de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.

Representación tri-lineal		
	Desp (cm)	Fza (kg)
	0.00	0
D _{yd}	0.22	307155
D _{yf}	0.90	714397
	2.00	714397

Tabla 0.4. Representación elastoplástica equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.

Representación elastoplástica equivalente			
		Desp (cm)	Fza (kg)
		0	0
	D _y	0.75	714397
		2.00	714397

Tabla 0.5. Sistema lineal equivalente de los dispositivos disipadores de energía tipo TADAS del edificio número seis.

Sistema lineal equivalente					
Cálculos					
β_i	μ_D	A _d	A _y	D _{ob} (cm)	T _{eff} (seg)
0.05	1.03	87.47	271.16	0.77	0.29
μ_f	μ_d	q _H	A _d /A _y	β_{HD}	β_{eff}
0.86	3.48	0.50	0.32	0.07	0.11
T _c (seg)	λ	B			
0.42	0.45	0.69			

Sistema lineal efectivo					
Cálculos					
T1 (seg)	Sa 5%	β	Sa* β	Sa* β/μ	D (cm)
0.29	0.54	0.69	0.37	0.36	0.76
D (cm)	V1 (kg)				
0.760	705183				

4.32 Diseño estructural del edificio número seis con contravientos

La configuración de los contravientos para este modelo de análisis se muestra en la figura Figura 0.1.

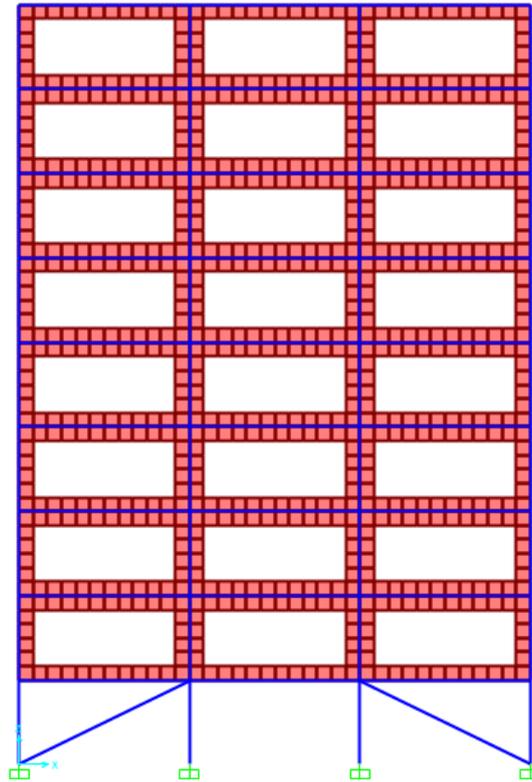


Figura 0.1. Disposición de contravientos del edificio número seis.

Para el diseño de los contravientos se tomaron los siguientes datos:

Sección W14x68, $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, Longitud (L)= 6.70 m, Carga axial a compresión (P_u) = 113.28 Ton

A continuación, se muestran los cálculos del diseño de dicho contraviento.

Calculo de esfuerzos por flexión y torsión

$$L_x = 670 \text{ cm} \quad K_x = 1 \quad r_x = 13.50 \text{ cm}$$

$$L_y = 670 \text{ cm} \quad K_y = 1 \quad r_y = 7.70 \text{ cm}$$

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = 49.63 \quad \frac{K_y L_y}{r_y} = 87.01$$

$$F_{ex} = 8174 \text{ kg/cm}^2$$



$$n = 2$$

$$X = 0.919$$

$$F_{ey} = 2659 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 1.4$$

$$X = 0.523$$

$$X_{min} = 0.315$$

Resistencia nominal al pandeo por torsión

$$F_n = 1838 \text{ kg/cm}^2$$

Revisión al pandeo local

$$0.56 \sqrt{E/F_y} = 13.49 > \frac{b_p}{2t_p} = 9.00$$

$$1.49 \sqrt{E/F_y} = 35.90 > \frac{h}{t_a} = 22.60$$

No existe pandeo local en el alma ni patines

$$R_c = 225.35 \text{ Ton}$$

En este trabajo se omitió la revisión de los contravientos a tensión, ya que la condición más crítica es a compresión.



Capítulo 5

5.1 Descripción del análisis dinámico no lineal paso a paso utilizado de los edificios

Se realizó el análisis dinámico paso a paso en los seis edificios en tres dimensiones que se describen anteriormente en el capítulo cuatro de este trabajo. Se utilizó el programa de análisis dinámico no lineal Perform 3d V 7.0.0, en los modelos numéricos de los edificios en los marcos de concreto del primer nivel se utilizó el método de análisis no lineal para estructuras de concreto denominado de plasticidad concentrada, en donde las vigas y columnas de concreto son modelados con elementos tipo barra que en su parte central tienen un comportamiento elástico y en sus extremos tienen zonas de comportamiento inelástico denominadas articulaciones plásticas.

Los muros laterales se modelaron en la planta baja flexible con muros tipo diafragma laterales de comportamiento inelástico en su plano utilizando elemento de barra inelástica con sus características no lineales de dicho muro. En el resto de niveles los muros de mampostería confinada se suponen de comportamiento lineal ya que por tener muros en cada uno de los ejes al realizar el análisis dinámico no lineal su distorsión de entrepiso es tan pequeña que se tiene un comportamiento lineal en los mismos.

En los seis edificios el suelo se modeló colocando resortes en la dirección horizontal del movimiento. En los edificios número uno, tres, cinco, y seis, se utilizaron 26 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica IIIa y IIIb ya que de acuerdo al capítulo 2 en estas dos zonas sísmicas se presentaron un gran número de inmuebles de las clasificaciones derrumbes y demoliciones. Adicionalmente, se incluyeron tres acelerogramas correspondientes a la zona sísmica II debido a su cercanía con la zona de los inmuebles de estas clasificaciones estos acelerogramas utilizados se muestran en la tabla 4.9 del capítulo cuatro. En los edificios número dos y cuatro, se utilizaron 10 acelerogramas correspondientes a la zona sísmica II que corresponde a tipo de suelo de transición estos acelerogramas utilizados se muestran en la tabla 4.21 del capítulo cuatro. Los acelerogramas para los seis edificios fueron utilizados sin escalar para los modelos numéricos dinámicos no lineales, y en sus componentes horizontales simultáneamente.

5.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número uno

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número uno, en donde el edificio sin dispositivos disipadores de energía ni contravientos se le denomina modelo de control, se muestran también los resultados de los dispositivos de comportamiento viscoso, dispositivos disipadores de energía tipo TADAS, dispositivos disipadores de energía TADAS y contravientos, y del edificio con contravientos resultado del prediseño realizado del capítulo cuatro. En todos estos casos se muestran los resultados por columnas confinadas en los extremos por estribos y por columnas no confinadas en los extremos por estribos.

5.2.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

5.2.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

Los resultados que se muestran a continuación tienen como nodo de control el nodo de la parte superior de la columna que se ubica en el eje E-1 (figura 4.2, capítulo 4). Las figuras Figura 5.2 y Figura 5.3 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número uno, con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control y del modelo numérico con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS (DH).

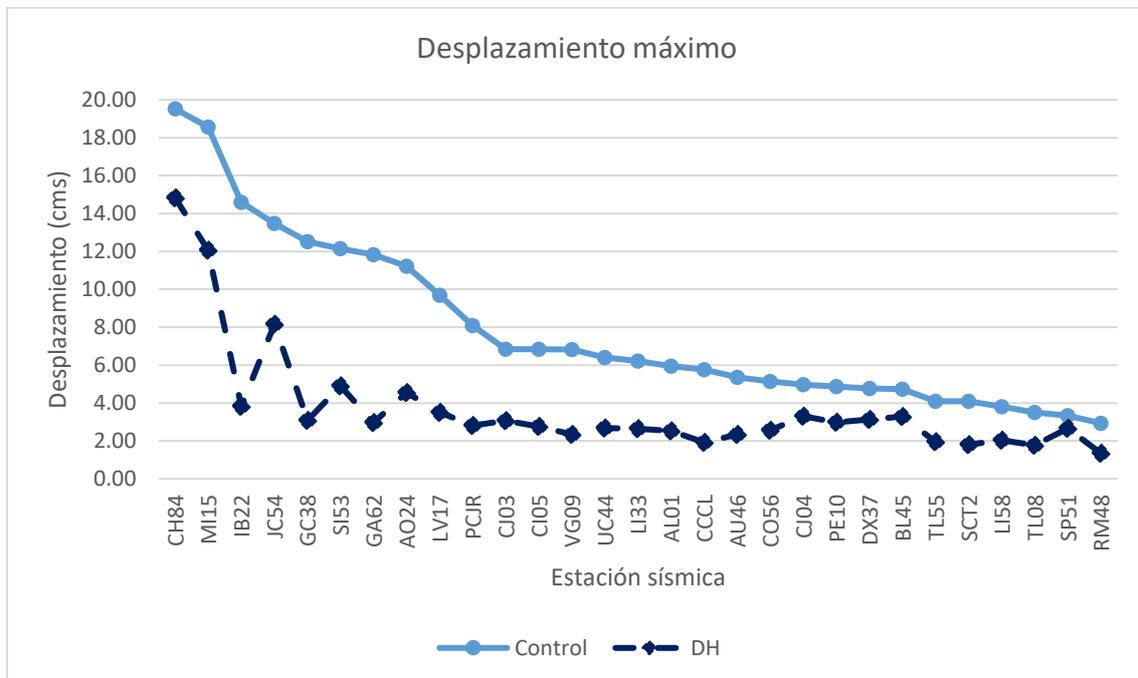


Figura 5.2. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.

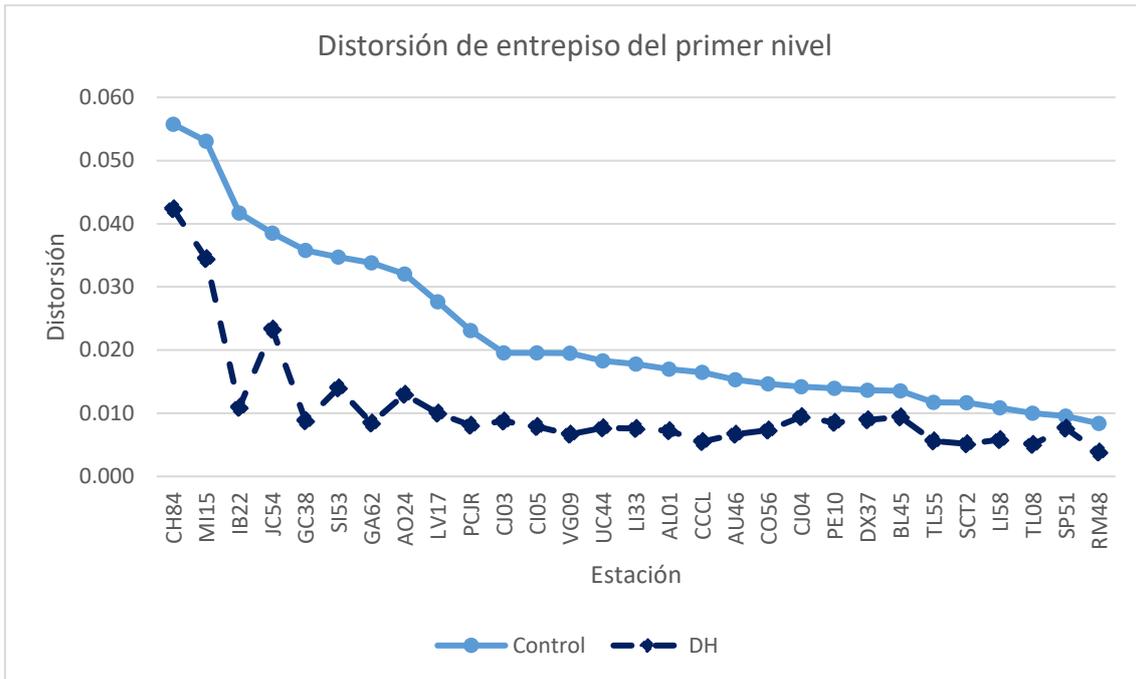


Figura 5.3. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.

En las figuras Figura 5.4 y Figura 5.5 se muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número uno, con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control, del modelo numérico con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS y contravientos (HTCV), modelo numérico con contravientos (CV), y el modelo numérico de dispositivos disipadores de energía tipo comportamiento viscoso (AV).

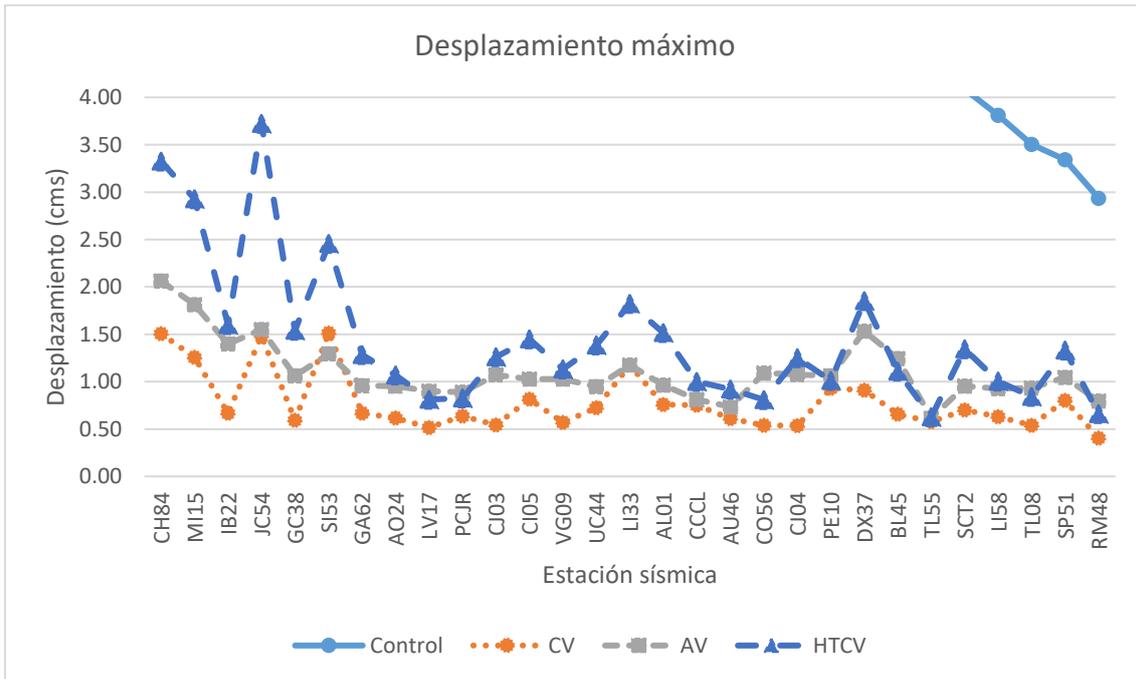


Figura 5.4. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.

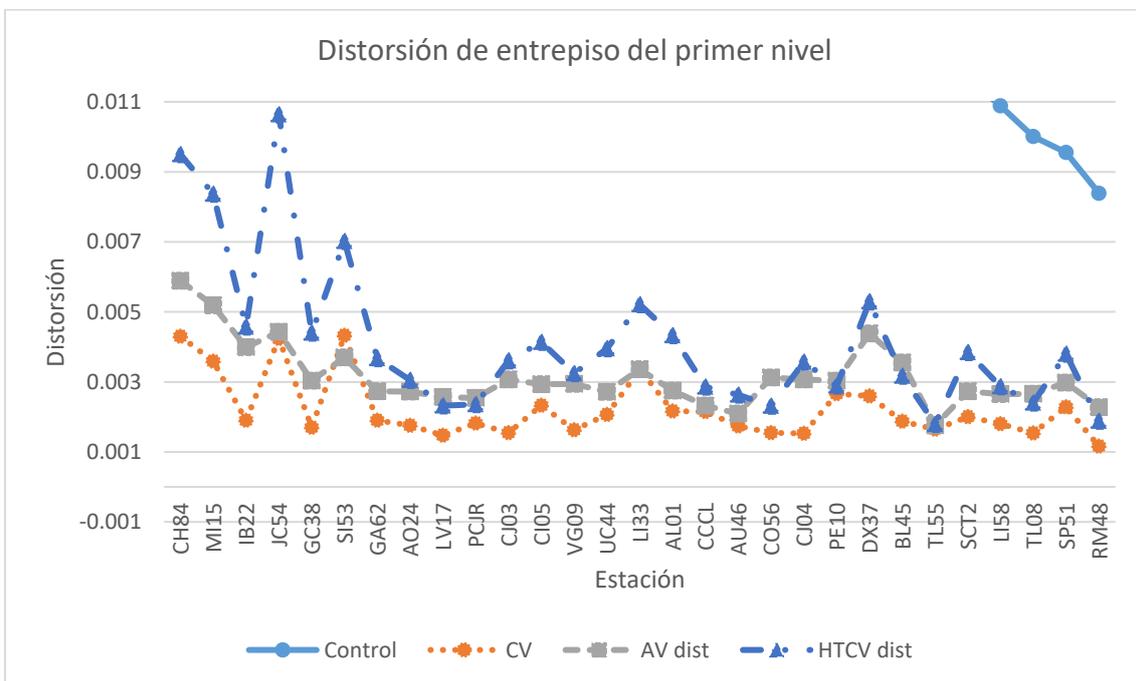


Figura 5.5. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos.

En la tabla 5.1 muestra los valores máximos, mínimos y promedio de desplazamiento y distorsión de las figuras Figura 5.2 a Figura 5.5 anteriormente mostradas.



Tabla 5.6. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist	AV	AV dist
Máximo	19.52	0.056	1.51	0.004	2.06	0.006
Mínimo	2.94	0.008	0.41	0.001	0.61	0.002
Promedio	7.87	0.022	0.78	0.002	1.10	0.003
	DH	DH dist	HTCV	HTCV dist		
Máximo	14.82	0.042	3.72	0.011		
Mínimo	1.35	0.004	0.63	0.002		
Promedio	3.72	0.011	1.44	0.004		

La tabla Tabla 5.6 muestra que para el modelo numérico de control, todos los registros sísmicos conducen a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior a la indicada en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5, que es de 0.006, lo que justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. Para el caso de este mismo edificio con contraviento se tiene que para todos los registros sísmicos su distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de contravientos descrito en el capítulo cuatro es el correcto en cuanto a distorsión de entrepiso se refiere. Para el caso de este mismo edificio con disipadores de energía de tipo viscoso de tiene que el valor máximo de distorsión de entrepiso del primer nivel es igual al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de contravientos descrito en el capítulo cuatro es el correcto en cuanto a distorsión de entrepiso se refiere.

En el caso del edificio con disipadores de energía tipo TADAS, el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es mayor al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de este tipo de dispositivo descrito en el capítulo cuatro no el adecuado en cuanto a distorsión de entrepiso se refiere. Para el caso de este mismo edificio con contraviento y dispositivos disipadores de energía tipo TADAS, el valor promedio distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de contravientos descrito en el capítulo cuatro es el correcto en cuanto a distorsión de entrepiso se refiere.

5.2.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

En las figuras Figura 5.6 y Figura 5.7 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno anteriormente descrito que se obtiene de dividir el desplazamiento máximo entre el desplazamiento de fluencia del sistema de un grado de libertad sin dispositivo del edificio.

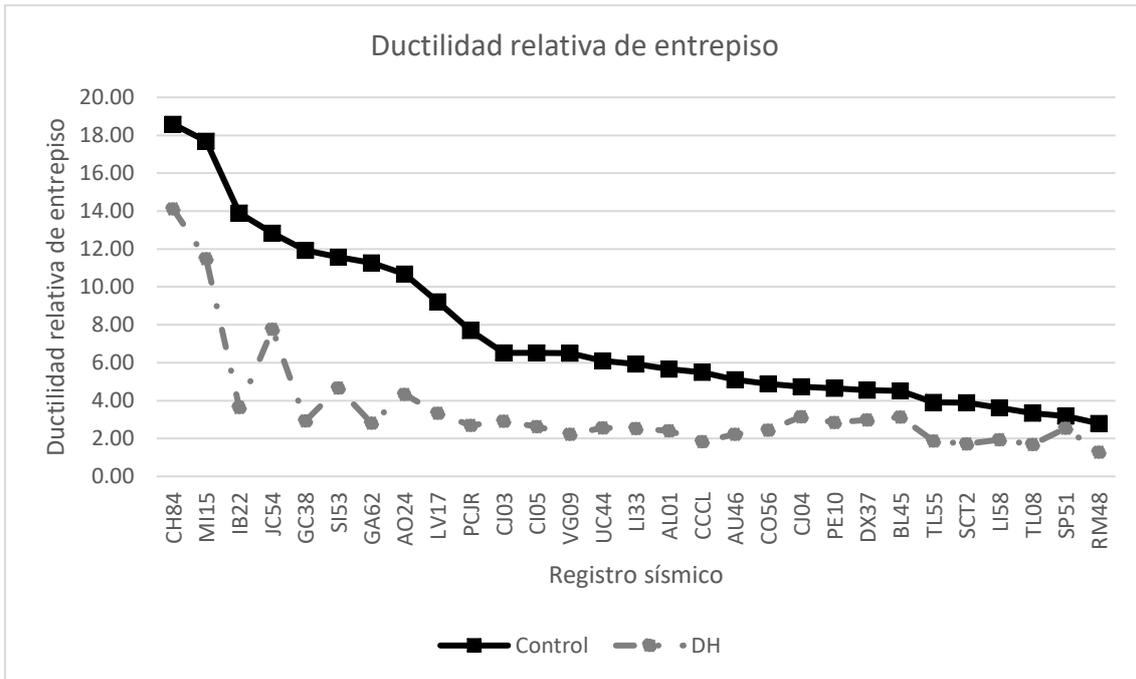


Figura 5.6. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

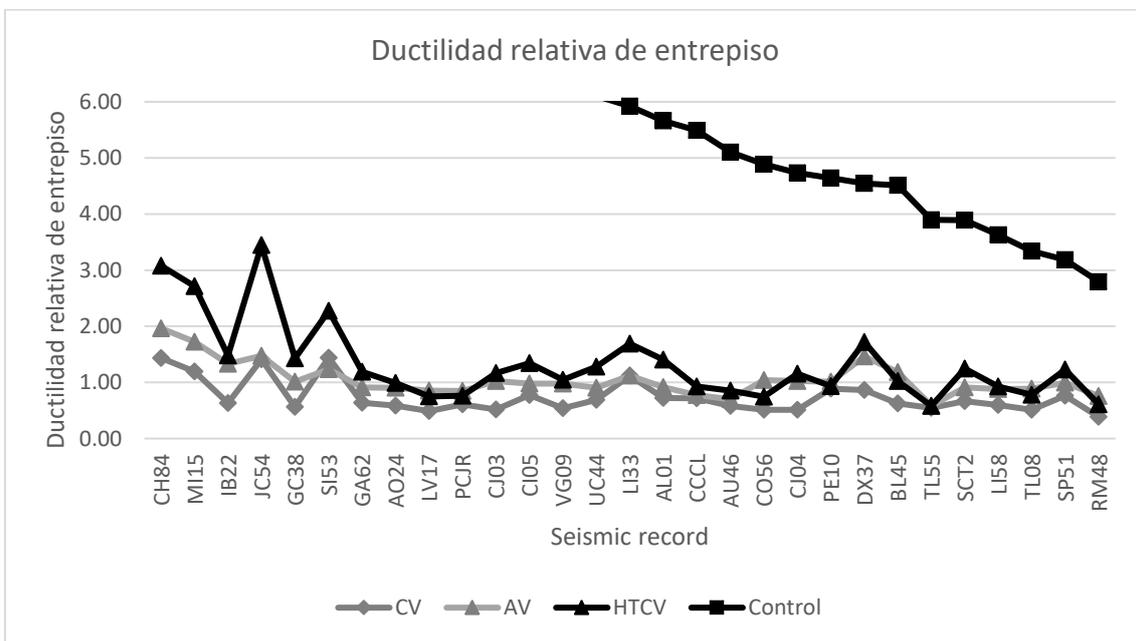


Figura 5.7. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

La tabla Tabla 5.7 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.6 y Figura 5.7 de la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.7. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	HTCV	DH
Máximo	18.59	1.44	1.96	3.45	14.11
Mínimo	2.80	0.39	0.58	0.58	1.28
Promedio	7.49	0.74	1.05	1.34	3.54

5.2.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.8 y Figura 5.9 muestran la rotación máxima de la columna de control obtenida del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

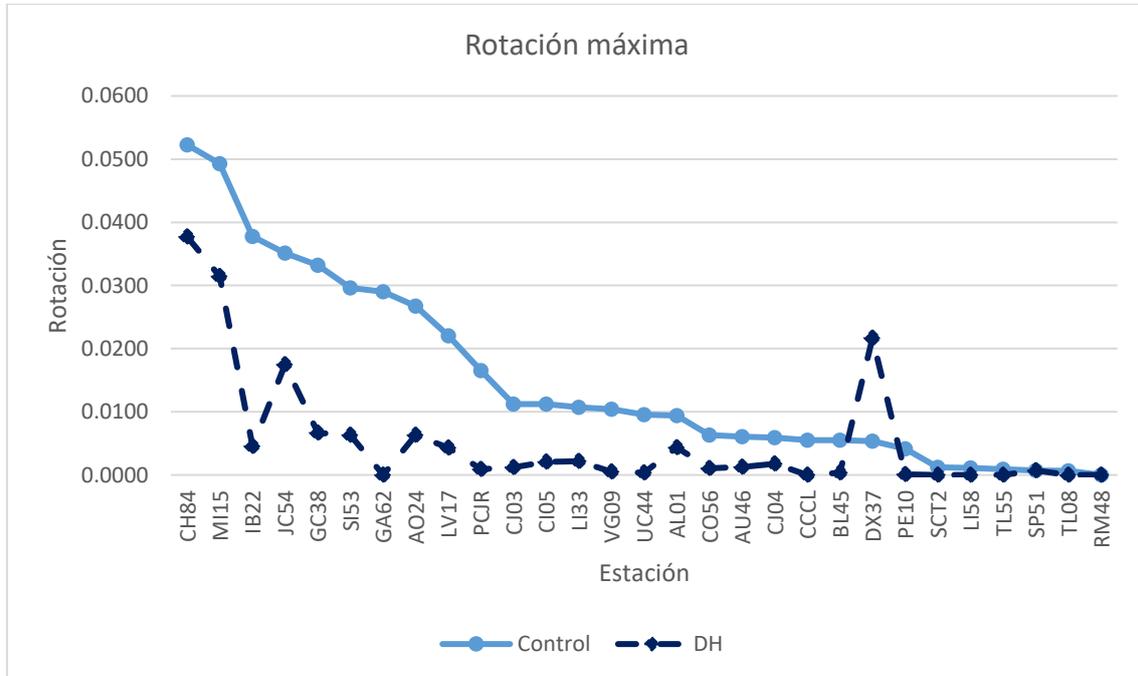


Figura 5.8. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

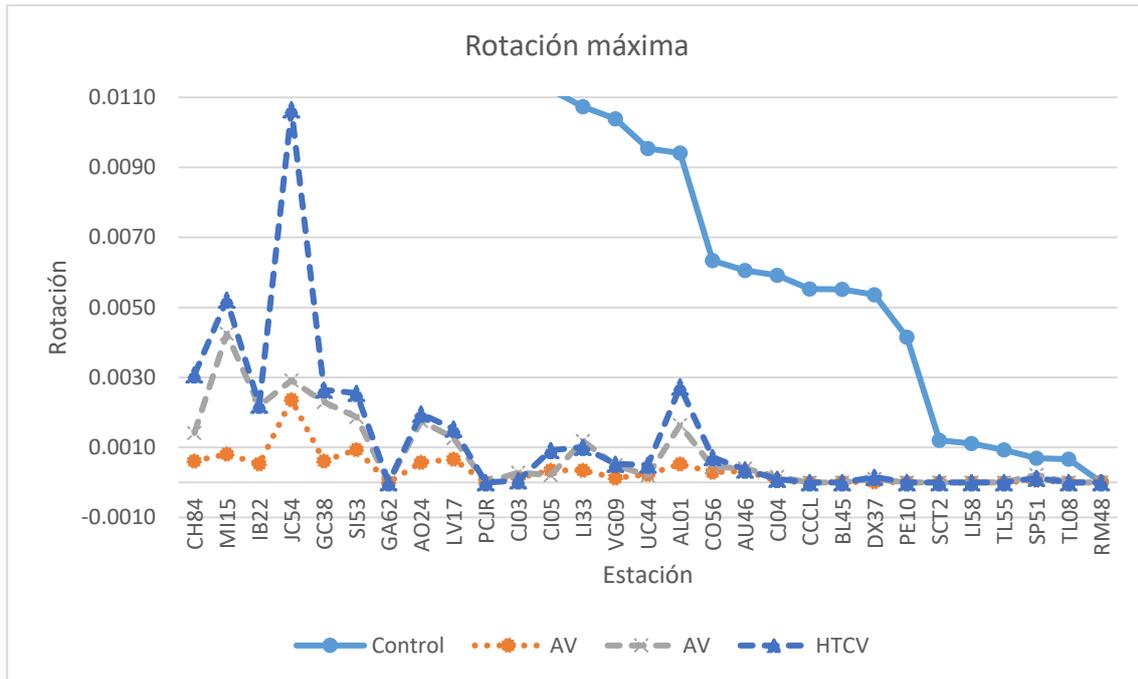


Figura 5.9. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

La tabla Tabla 5.8 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.8 y Figura 5.9 de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.8. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	HTCV	DH
Máximo	5.226E-02	2.359E-03	4.247E-03	3.771E-02	1.065E-02
Mínimo	4.821E-06	3.647E-07	1.093E-06	2.361E-06	8.440E-07
Promedio	1.509E-02	3.292E-04	8.031E-04	5.287E-03	1.278E-03

5.2.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.10 y Figura 5.11 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número uno anteriormente descrito que se obtiene de dividir la rotación máxima entre la rotación de fluencia del sistema de un grado de libertad sin dispositivo del edificio.

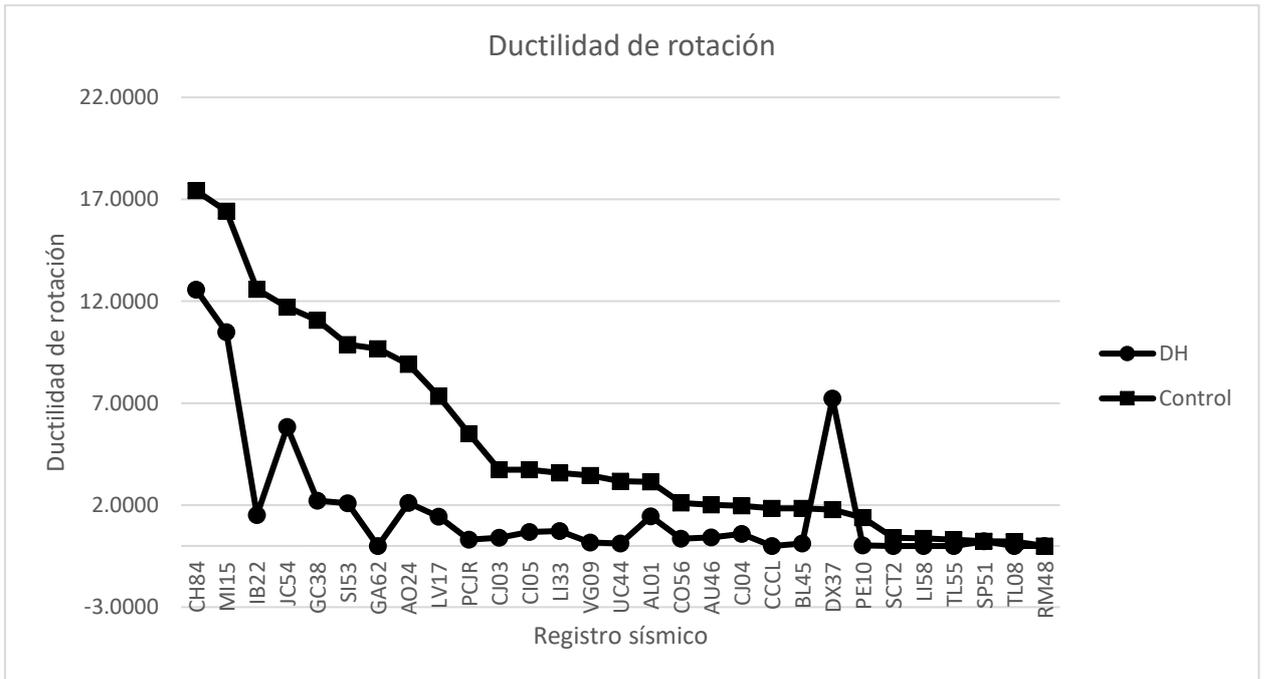


Figura 5.10. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

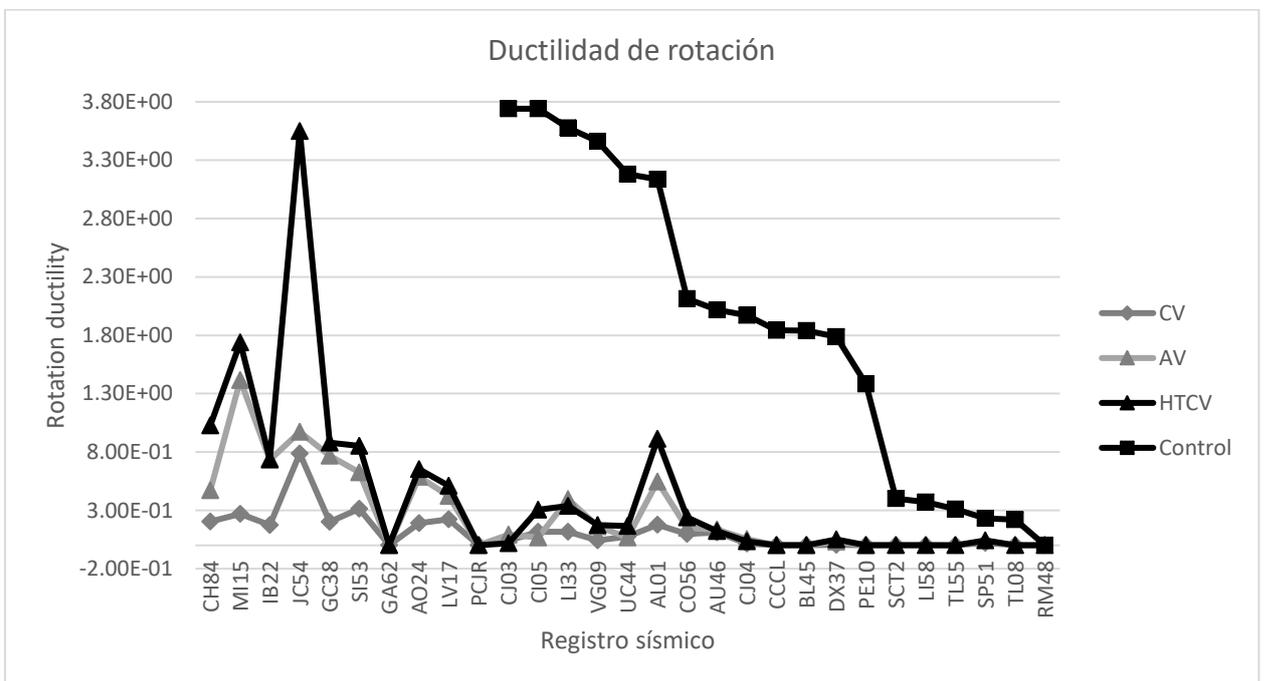


Figura 5.11. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

La tabla Tabla 5.9 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.10 y Figura 5.11 de la ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.9. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	HTCV	DH
Máximo	20.90	0.79	1.42	3.55	12.57
Mínimo	1.93E-03	1.22E-04	3.64E-04	2.81E-04	7.87E-04
Promedio	6.03	0.11	0.27	0.43	1.76

5.2.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

La figura Figura 5.12 muestra el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos se tomó como columna de control para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso la columna ubicada en el eje C-1 (figura 4.2 capítulo 4). Para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS y dispositivos tipo TADAS y contravientos la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.2 capítulo 4), la tabla Tabla 5.10 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.12.

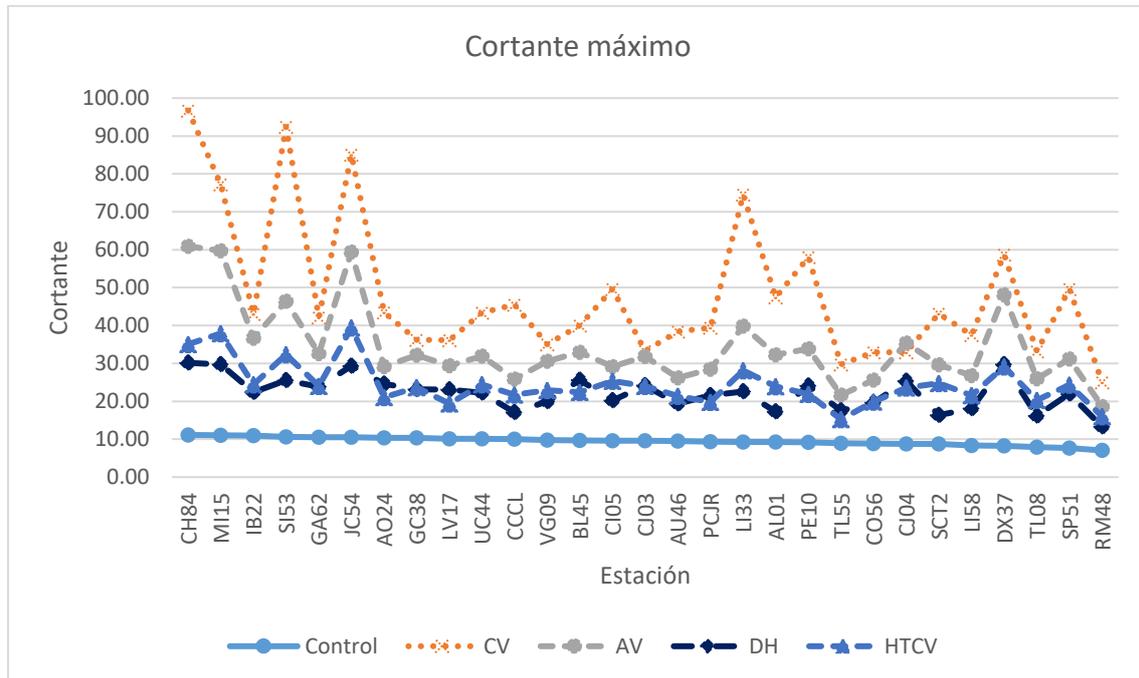


Figura 5.12. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.



Tabla 5.10. Valores máximos, mínimos, y promedio del Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH	HTCV
Máximo	11.13	96.74	60.90	30.14	39.42
Mínimo	7.04	25.04	18.66	13.30	15.22
Promedio	9.50	48.27	34.21	22.21	24.41

La figura Figura 5.13 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.11 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.13.

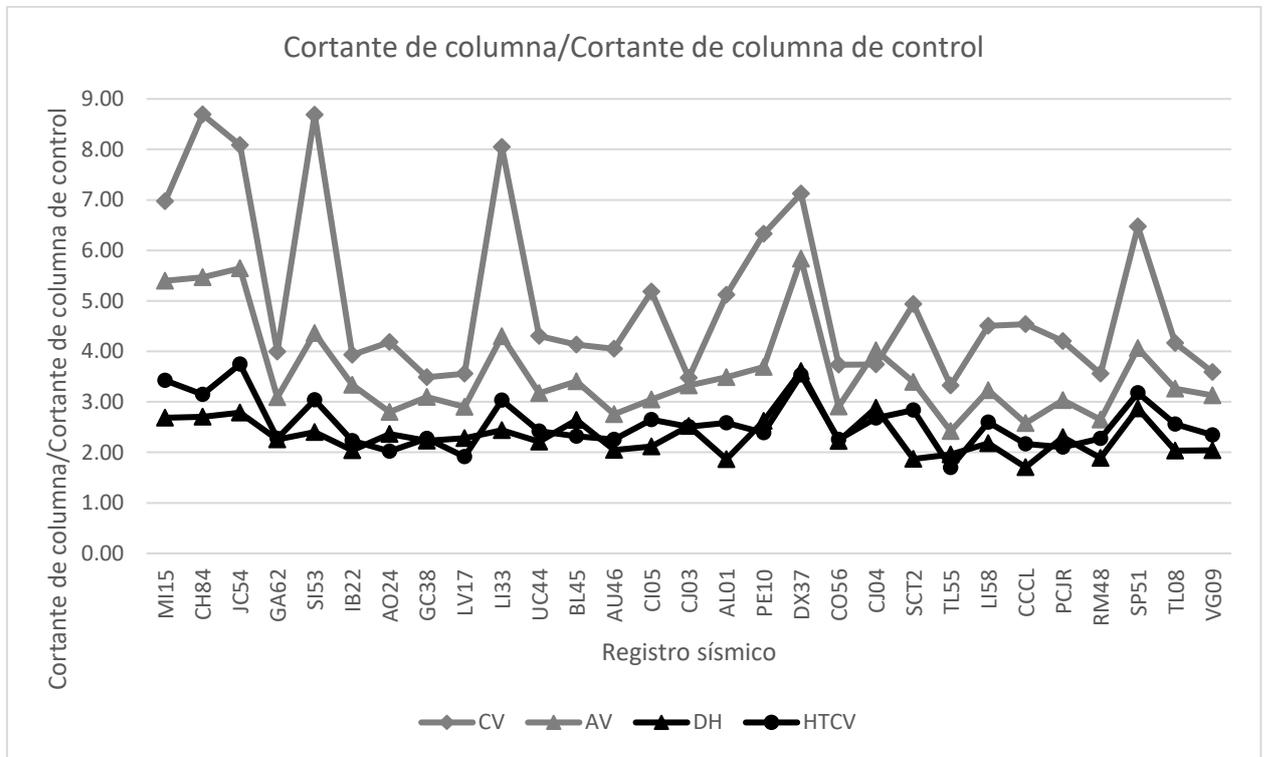


Figura 5.13. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.11. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH	HTCV
Máximo	8.69	5.83	3.61	3.75
Mínimo	3.32	2.42	1.70	1.70
Promedio	5.04	3.58	2.34	2.57

La figura Figura 5.13 muestra que al colocar dispositivos disipadores de energía y contravientos en el modelo numérico de control, se incrementa el cortante en la columna de control en relación al modelo numérico sin dispositivos disipadores de energía y contravientos.

5.2.1.6 Cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.14 y Figura 5.15 muestran el cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.12 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.14 y Figura 5.15.

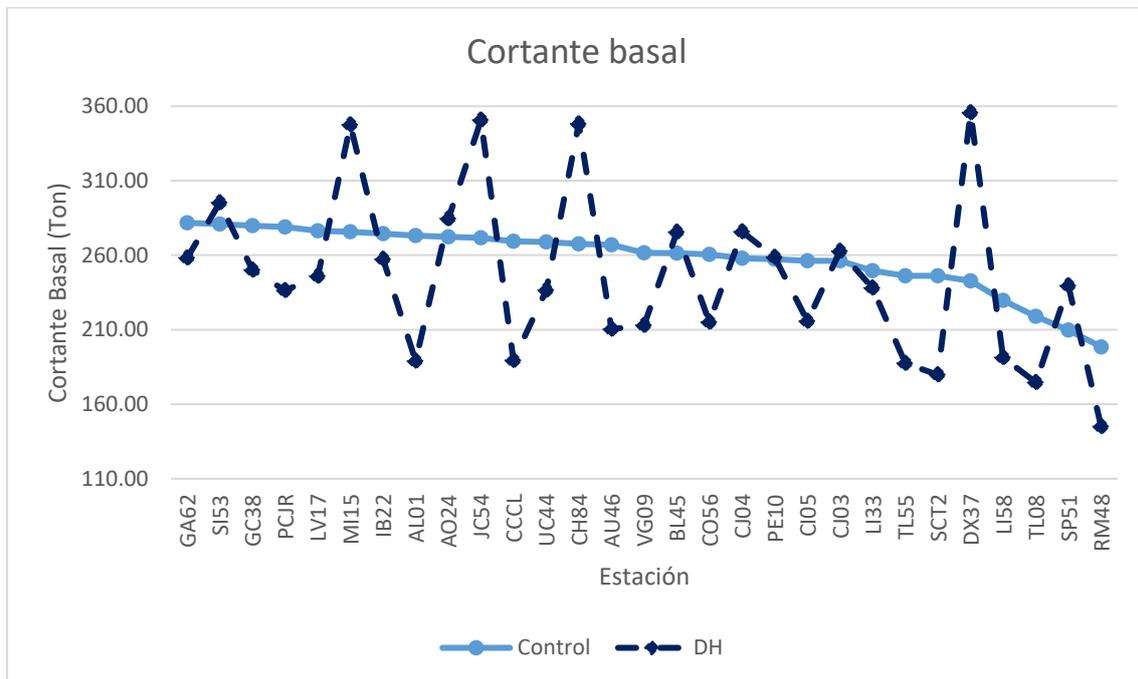


Figura 5.14. Cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

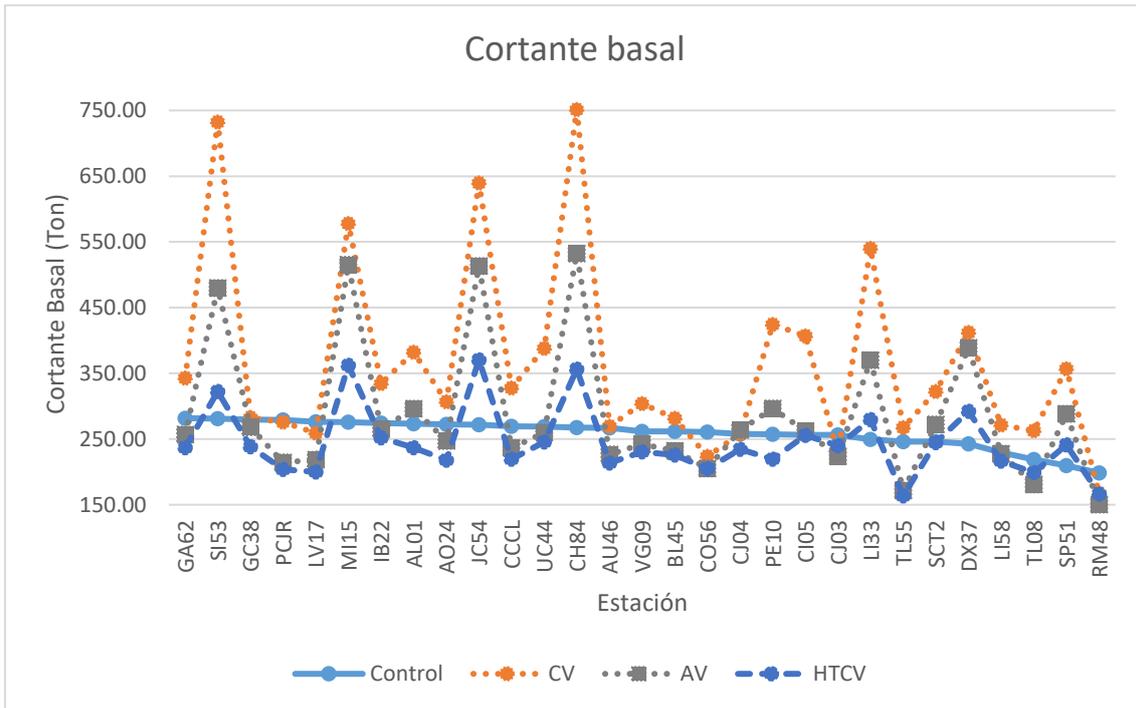


Figura 5.15. Cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.12. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH	HTCV
Máximo	281.75	751.40	532.22	355.67	370.52
Mínimo	198.48	167.27	150.32	145.14	163.46
Promedio	258.30	365.37	286.35	245.76	244.42

Las figuras Figura 5.14 y Figura 5.15 muestran que al colocar dispositivos disipadores de energía y contravientos en el modelo numérico de control, se incrementa el cortante basal en relación al modelo numérico sin dispositivos disipadores de energía y contravientos.

5.2.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el que esta ubicado entre los ejes uno, C, y D (figura 4.2, capítulo 4). La figura Figura 5.16 muestra la ductilidad de este de dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.16.

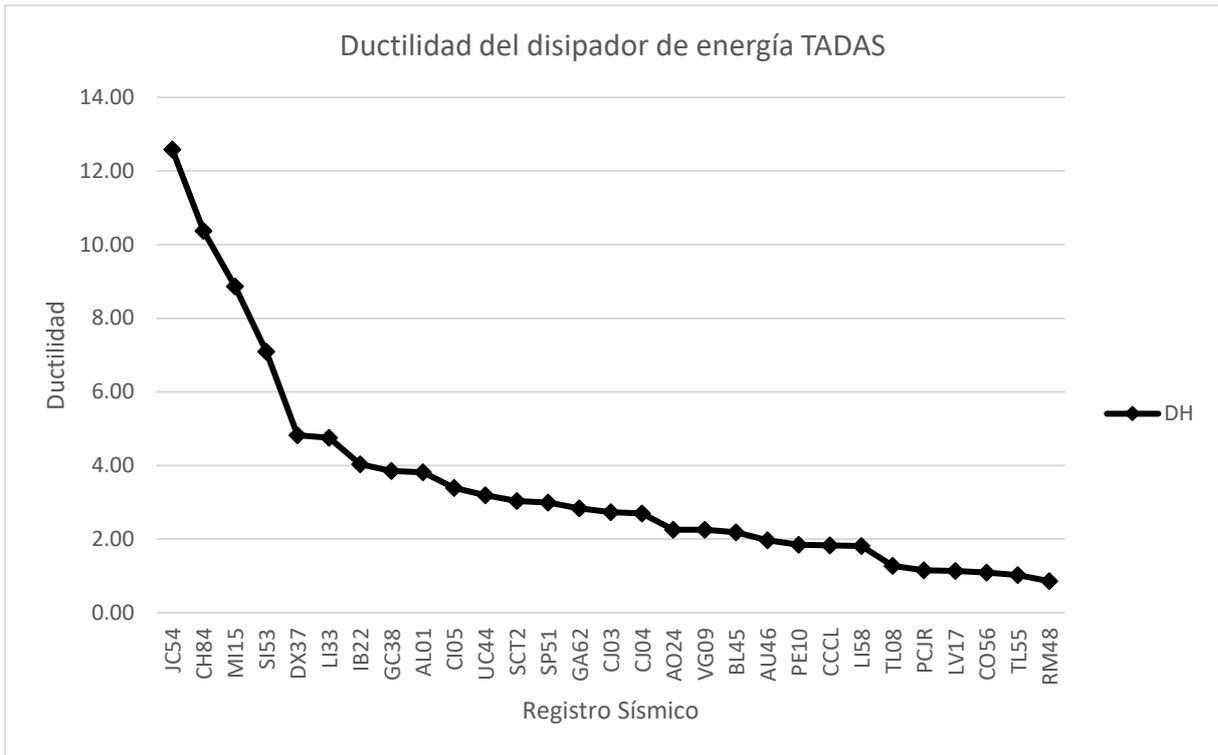


Figura 5.16. Ductilidad del dispositivo dissipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.13. Valores máximos, mínimos, y promedio de Ductilidad del dispositivo dissipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	12.58
Mínimo	0.86
Promedio	3.51

La figura Figura 5.16 muestra que el registro sísmico JC54 produce una demanda que sobrepasa la ductilidad máxima permitida de 10.7. Este registro sísmico tiene una ductilidad de 12.6. Este dispositivo dissipador de energía presenta una ductilidad promedio de 3.5 por lo que su utilización en cuanto a disipación de energía es bajo, e inadecuado para este edificio.

5.2.1.8 Ductilidad del dispositivo dissipador de energía TADAS y contravientos del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo dissipador de energía TADAS de control el que esta ubicado entre los ejes uno, C, y D (figura 4.2, capítulo 4). La figura Figura 5.17 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla Tabla 5.14 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.17.

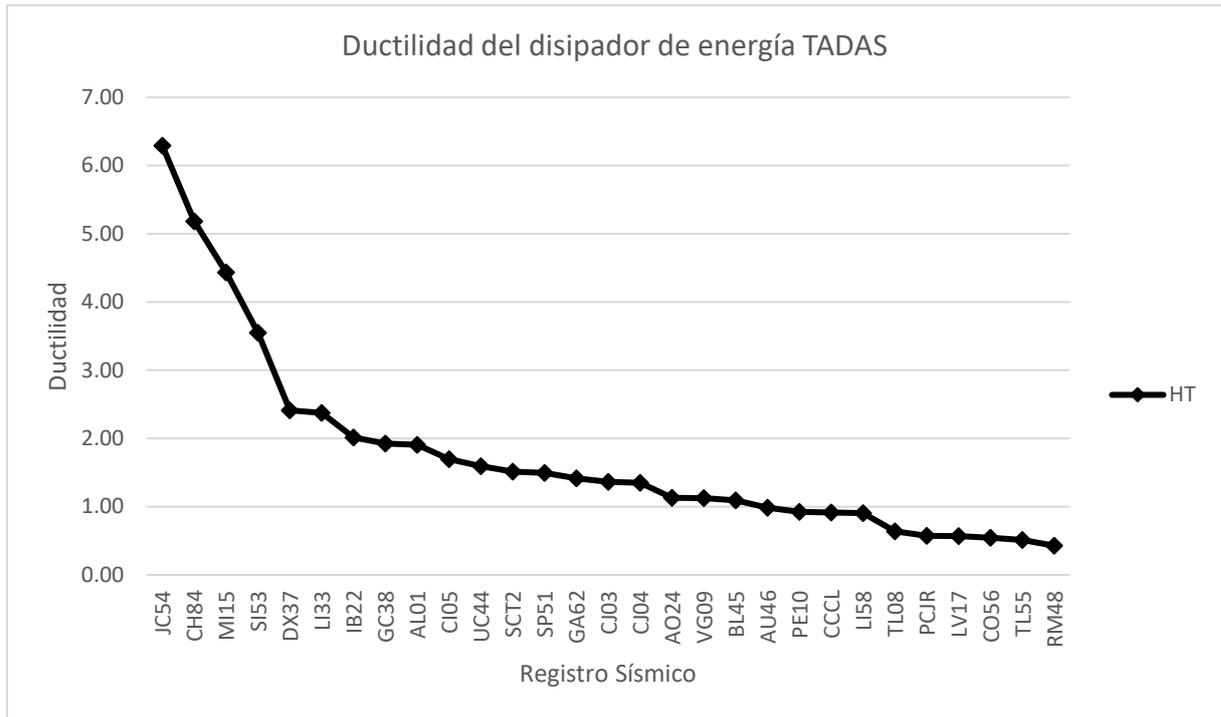


Figura 5.17. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.14. Valores máximos, mínimos, y promedio de Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	6.29
Mínimo	0.43
Promedio	1.75

La tabla Tabla 5.14 muestra que el valor máximo de ductilidad es de 6.3 el cual no sobrepasa el valor máximo permitido. En este tipo de combinación de dispositivo disipador de energía y contravientos se tiene que su ductilidad promedio es de 1.8 por lo que su utilización no es la más adecuada.

5.2.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

5.2.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Los resultados mostrados a continuación en donde se tomó como nodo de control el nodo de la parte superior de la columna de control que se ubica en el eje E-1 (figura 4.2, capítulo 4). Las figuras Figura 5.19 y Figura 5.19 se muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control y del modelo numérico con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS (DH).

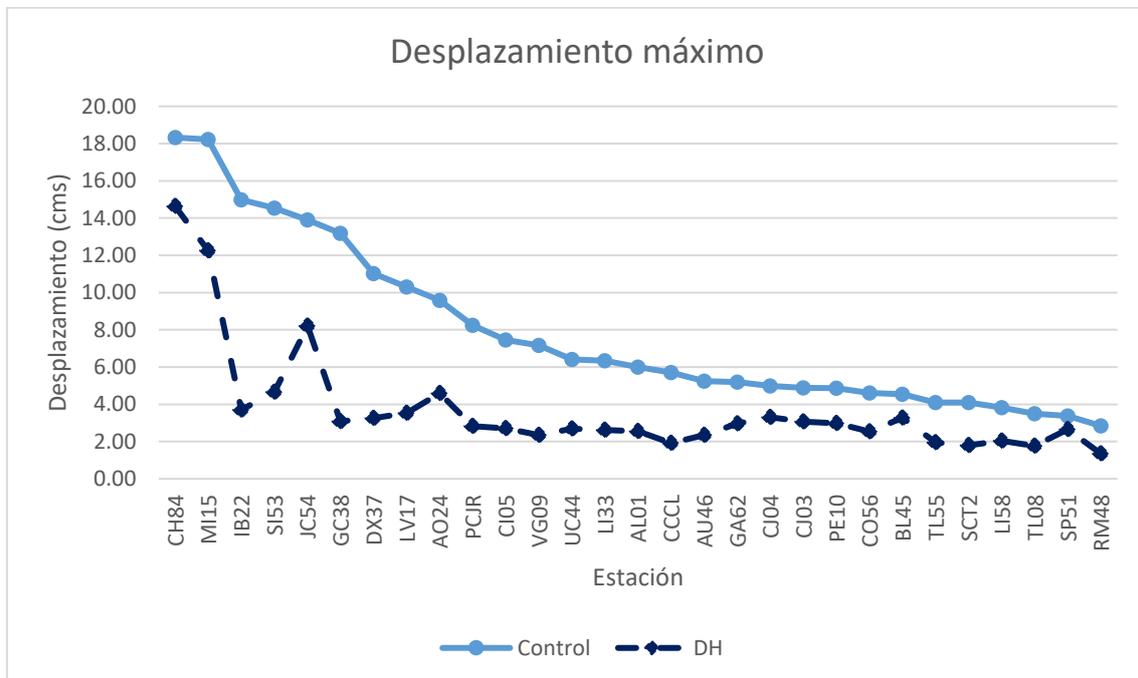


Figura 5.265. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

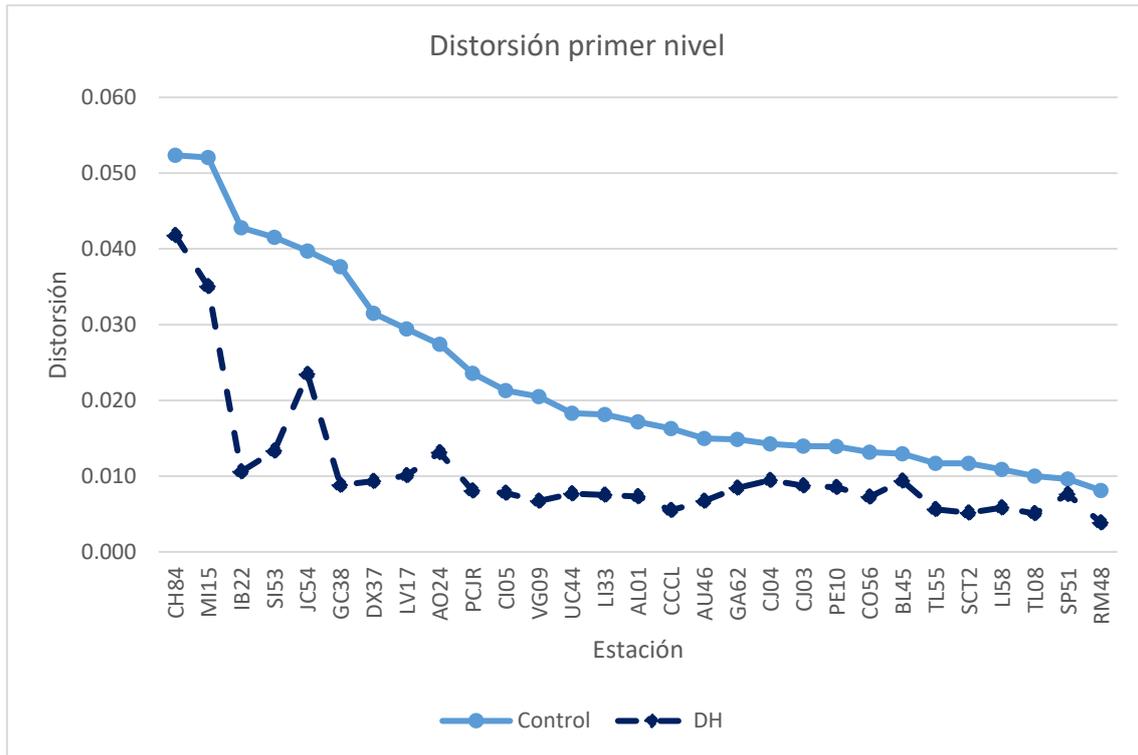


Figura 5.19. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

Las figuras Figura 5.268 y Figura 5.268 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control, del modelo numérico con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS y contravientos (HTCV), modelo numérico con contravientos (CV), y el modelo numérico de dispositivos disipadores de energía tipo comportamiento viscoso (AV).

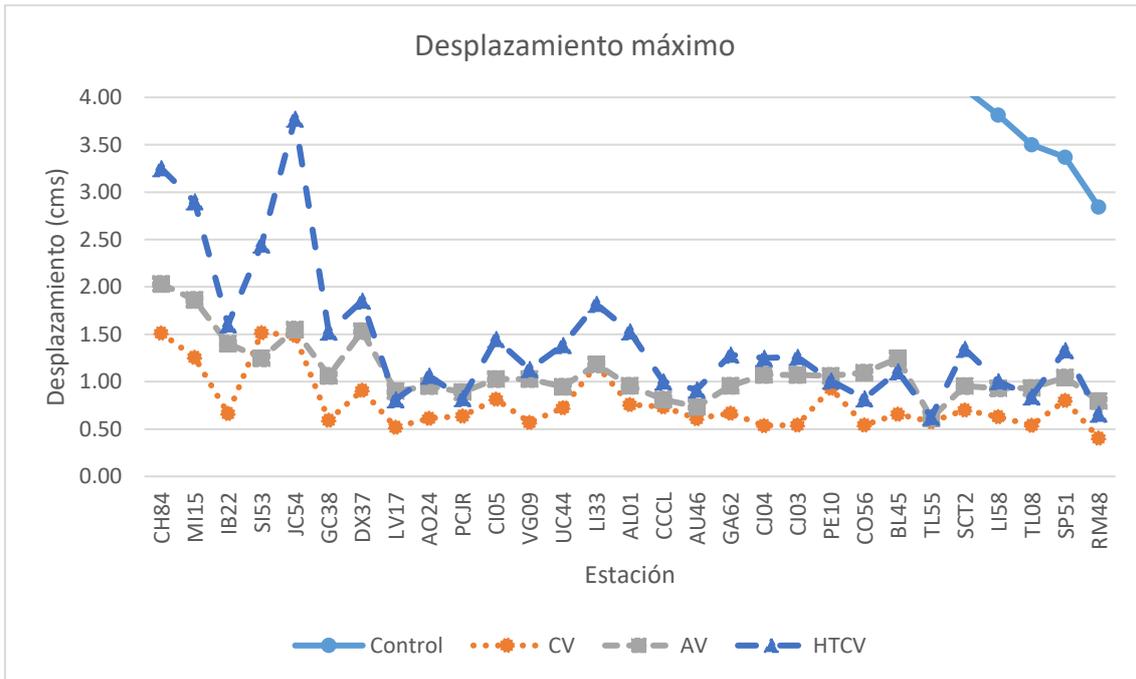


Figura 5.267. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

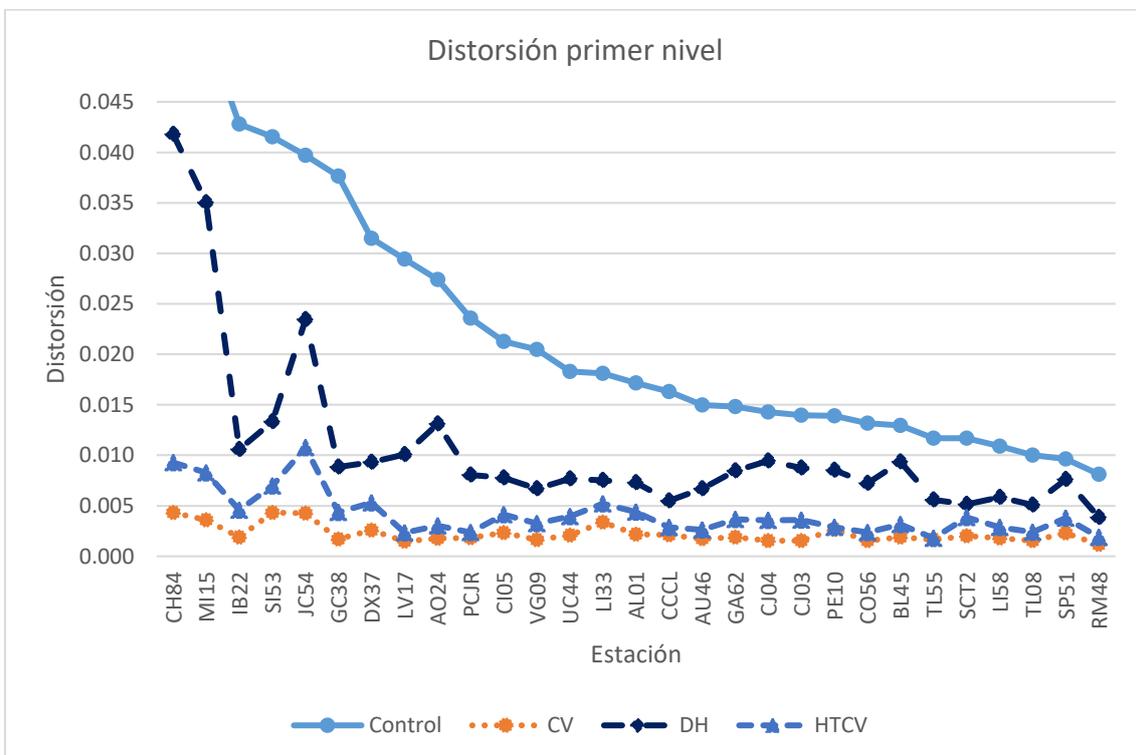


Figura 5.268. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos.



En la tabla Tabla 5.15 muestra los valores máximos, mínimos y promedio de desplazamiento y distorsión de las figuras Figura 5.19 a Figura 5.268 anteriormente mostradas.

Tabla 5.15. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist	AV	AV dist
Máximo	18.32	0.052	1.52	0.004	2.03	0.006
Mínimo	2.84	0.008	0.41	0.001	0.61	0.002
Promedio	7.84	0.022	0.78	0.002	1.10	0.003
	DH	DH dist	HTCV	HTCV dist		
Máximo	14.63	0.042	3.77	0.011		
Mínimo	1.35	0.004	0.63	0.002		
Promedio	3.71	0.011	1.44	0.004		

La tabla Tabla 5.15 muestra que el modelo numérico de control sometido a los registros sísmicos tiene una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al valor indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5, que es de 0.006. Esto justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. Para el caso de este mismo edificio con contraviento se tiene que para todos los registros sísmicos su distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de contravientos descrito en el capítulo cuatro es el correcto en cuanto a distorsión de entrepiso se refiere.

Este edificio con disipadores de energía de tipo viscoso presenta un valor máximo de distorsión de entrepiso del primer nivel es igual al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de contravientos descrito en el capítulo cuatro es el correcto en cuanto a distorsión de entrepiso se refiere. En el caso del edificio con disipadores de energía tipo TADAS se tiene que el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es mayor al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de este tipo de dispositivo descrito en el capítulo cuatro no es adecuado. Para el caso de este mismo edificio con contraviento y dispositivos disipadores de energía tipo TADAS se tiene que para el valor promedio distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17, por lo que el prediseño de contravientos descrito en el capítulo cuatro es el correcto en cuanto a distorsión de entrepiso se refiere.

5.2.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

En las figuras Figura 5.269 y Figura 5.270 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno anteriormente descrito que se obtiene de dividir el desplazamiento máximo entre el desplazamiento de fluencia del sistema de un grado de libertad sin dispositivo del edificio.

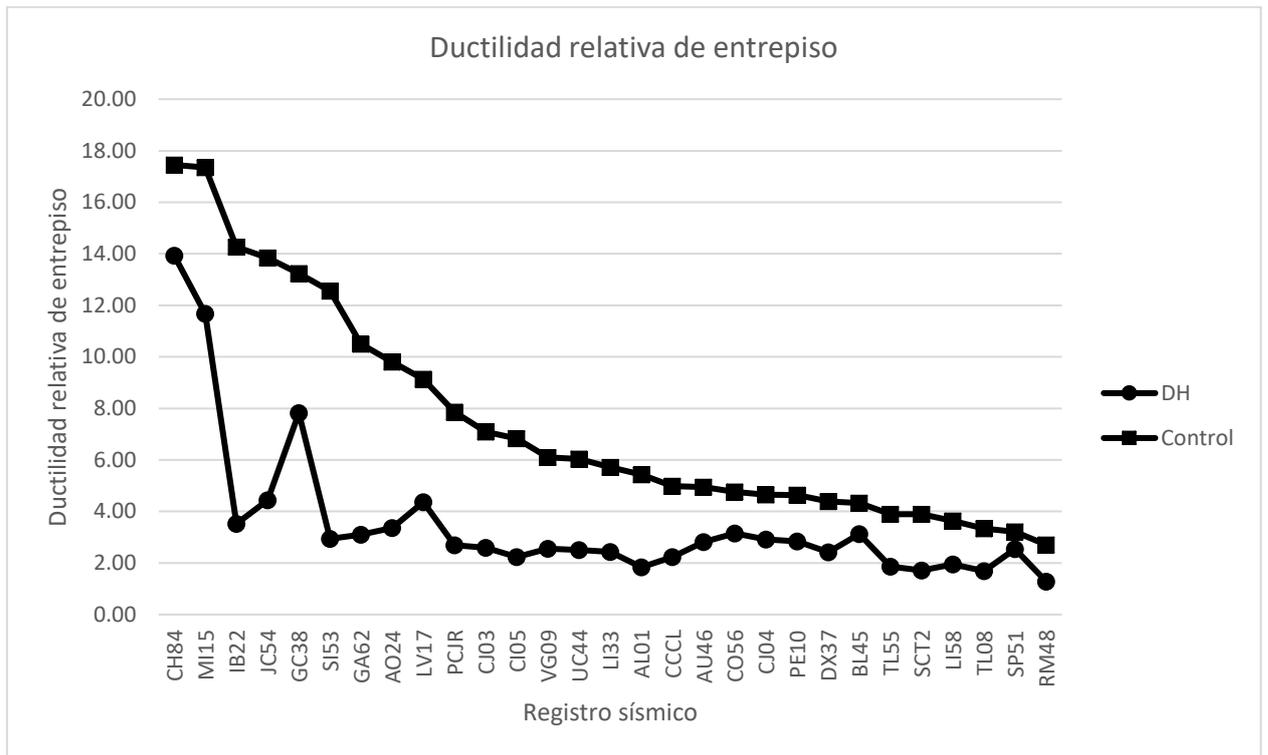


Figura 5.269. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

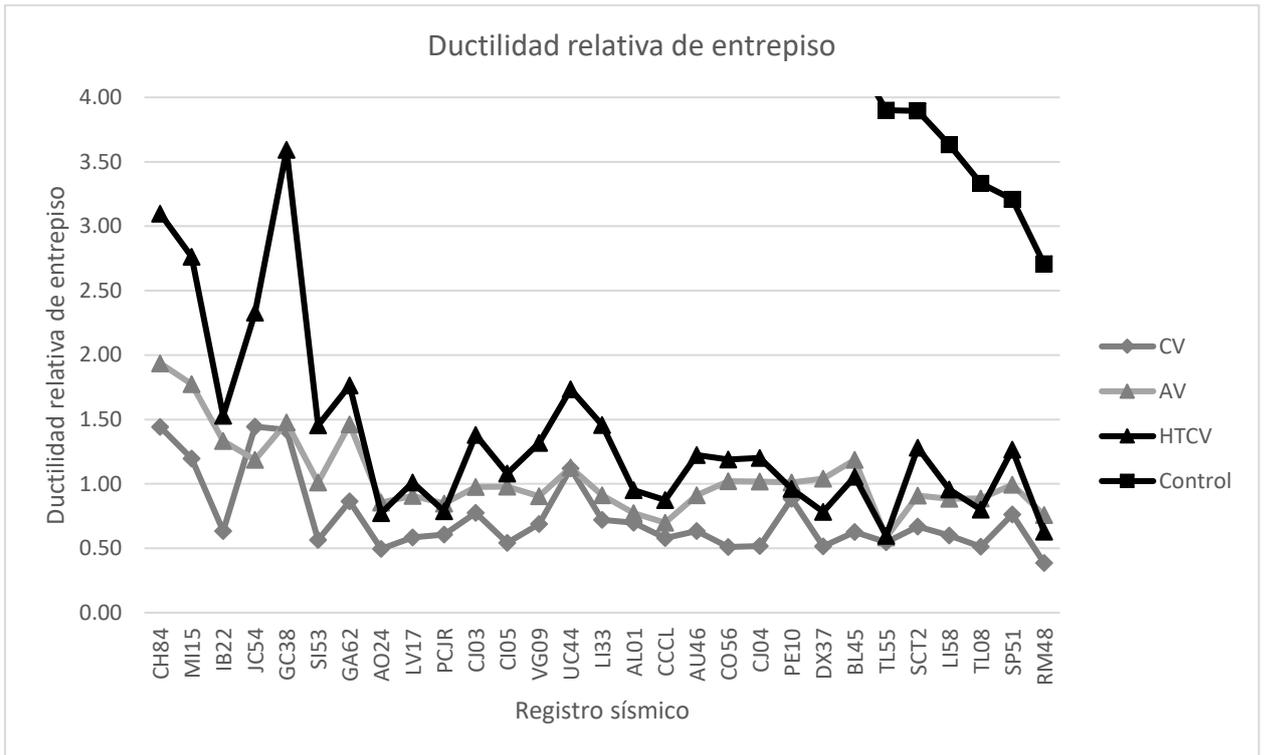


Figura 5.270. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

La tabla Tabla 5.16 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.269 y Figura 5.270 de la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.16. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número uno con no columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	HTCV	DH
Máximo	17.45	1.44	1.94	3.59	13.93
Mínimo	2.71	0.39	0.58	0.60	1.28
Promedio	7.47	0.74	1.05	1.37	3.54

5.2.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.271 y Figura 5.272 muestran la rotación máxima de la columna de control obtenida del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

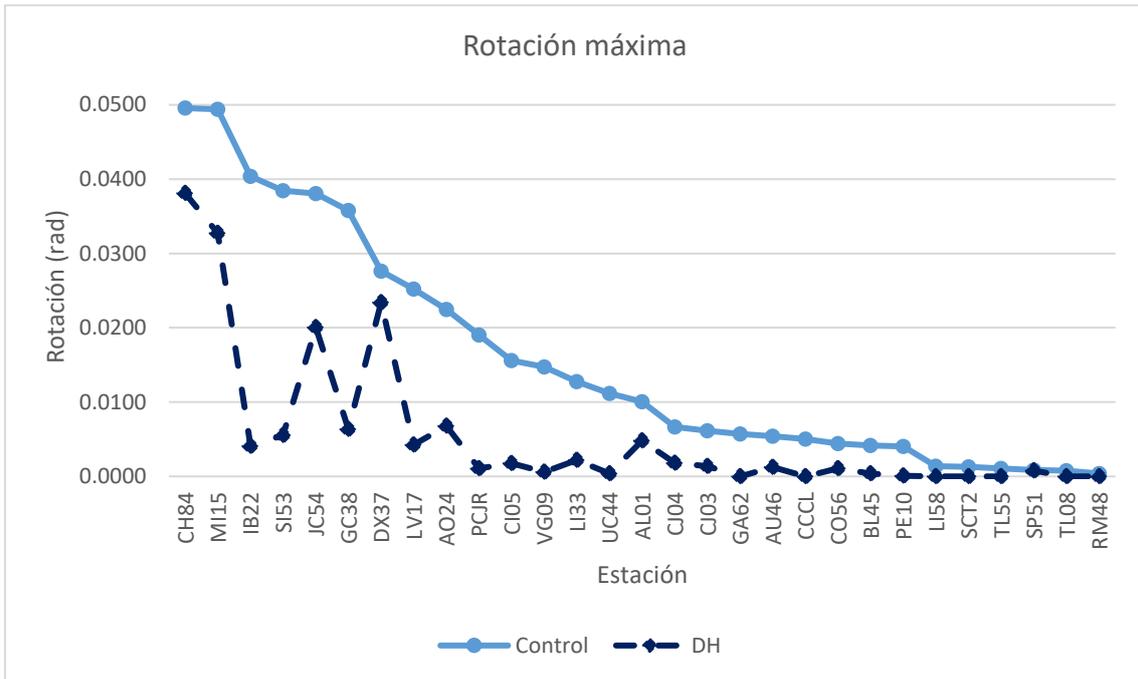


Figura 5.271. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

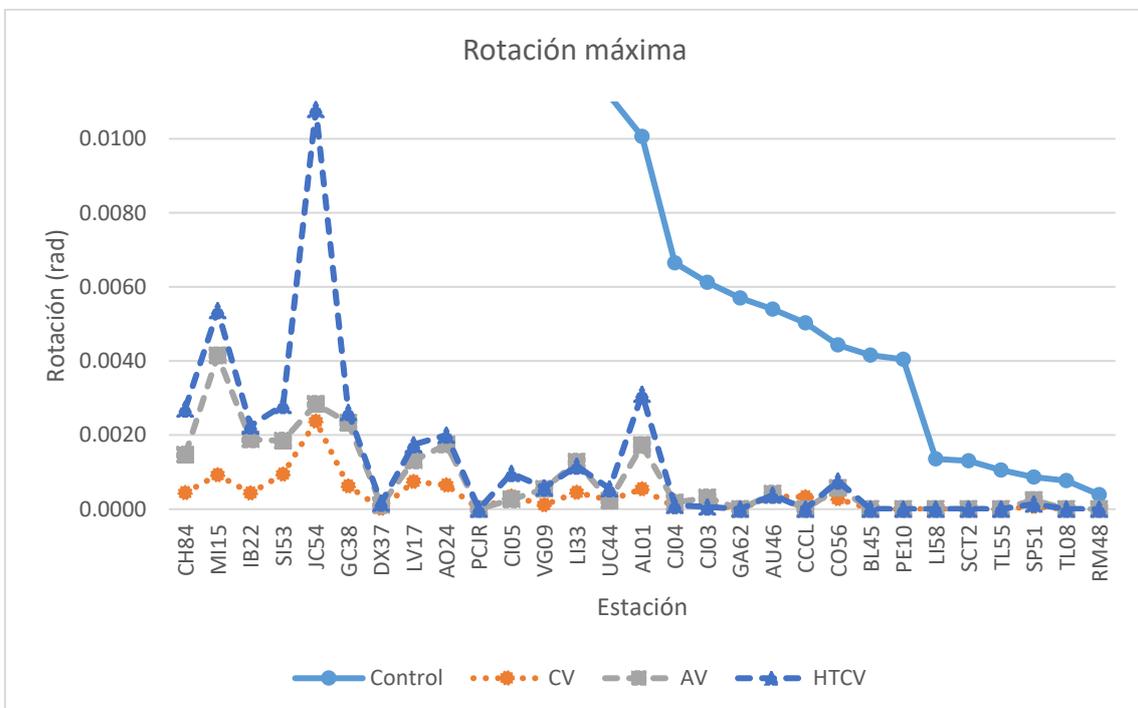


Figura 5.272. Rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

La tabla Tabla 5.17 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.271 y Figura 5.272 de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.17. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH	HTCV
Máximo	4.956E-02	2.376E-03	4.150E-03	3.810E-02	1.079E-02
Mínimo	3.924E-04	3.647E-07	1.093E-06	2.361E-06	8.440E-07
Promedio	1.578E-02	3.472E-04	8.081E-04	5.480E-03	1.321E-03

5.2.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.273 y Figura 5.274 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número uno anteriormente descrito que se obtiene de dividir la rotación máxima entre la rotación de fluencia del sistema de un grado de libertad sin dispositivo del edificio.

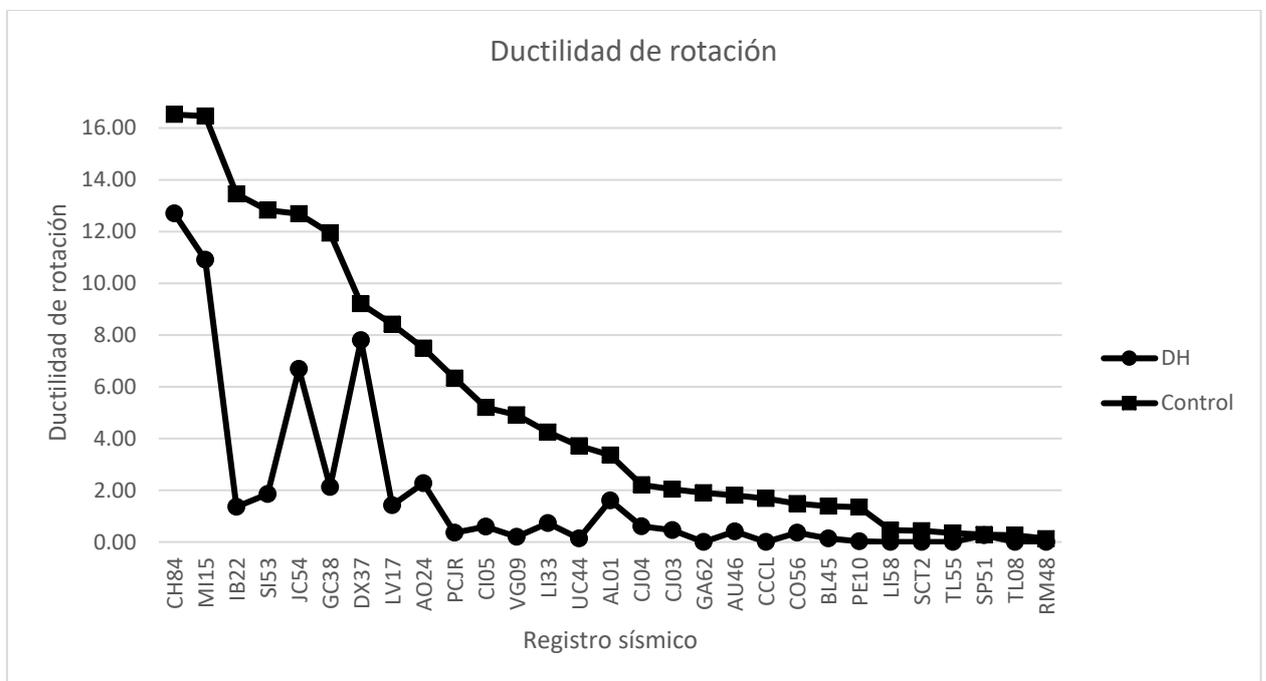


Figura 5.273. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

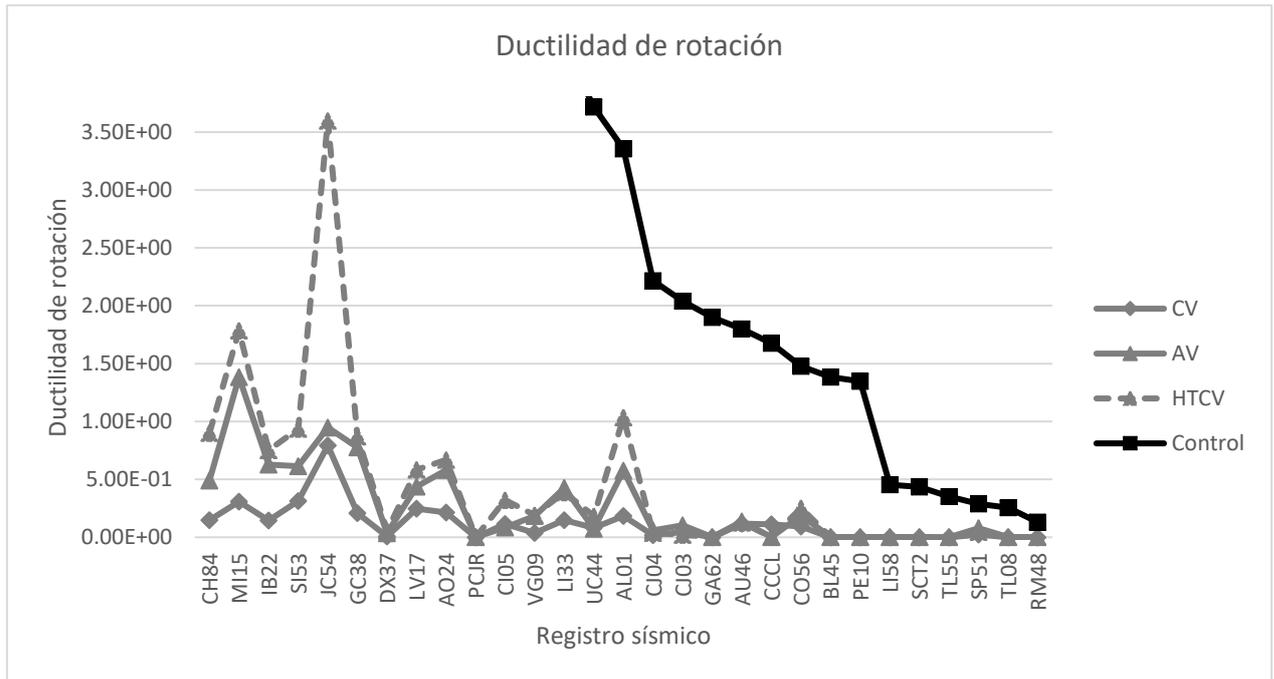


Figura 5.274. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

La tabla Tabla 5.18 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.273 y Figura 5.274 de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.18. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	HTCV	DH
Máximo	16.52	0.79	1.38	3.60	12.70
Mínimo	1.31E-01	1.22E-04	3.64E-04	2.81E-04	7.87E-04
Promedio	5.26	0.12	0.27	0.44	1.83

5.2.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

La figura Figura 5.275 muestra el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos. Se tomó como columna de control, para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso, la columna ubicada en el eje C-1 (figura 4.2 capítulo 4). Para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS y dispositivos tipo TADAS y contravientos se consideró la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.2 capítulo 4). La tabla Tabla 5.19 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.275.

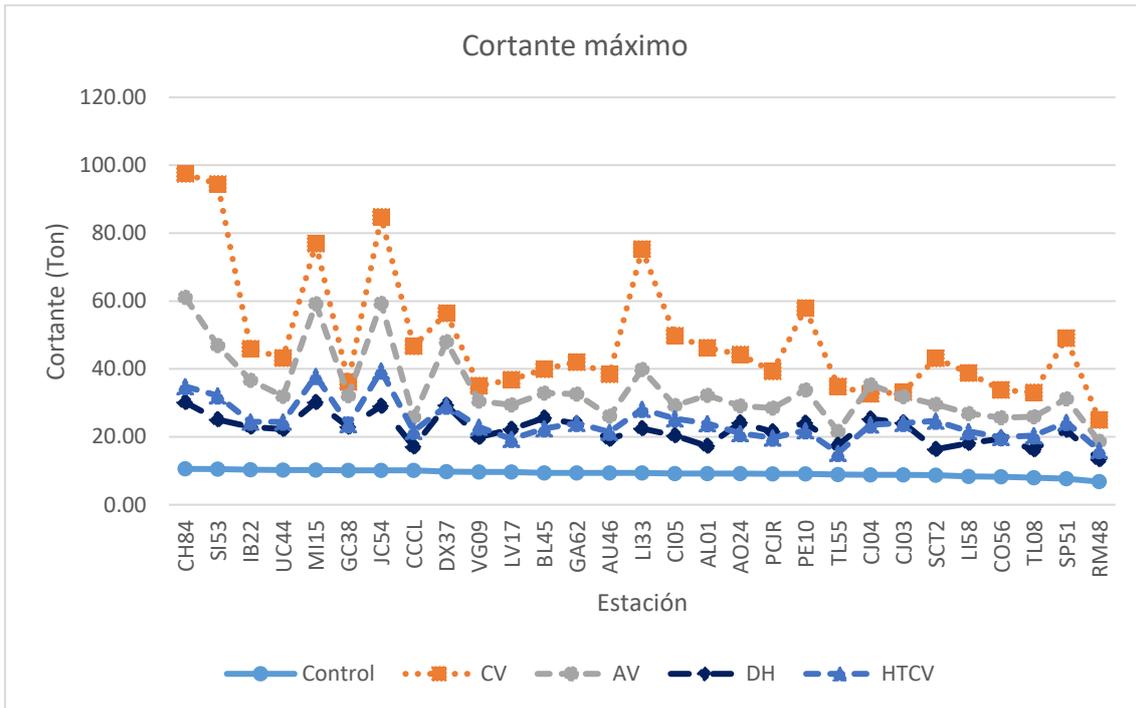


Figura 5.275. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.19. Valores máximos, mínimos, y promedio del Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número uno con no columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH	HTCV
Máximo	10.56	97.47	61.12	30.20	39.46
Mínimo	6.79	24.96	18.66	13.30	15.22
Promedio	9.27	48.65	34.22	22.14	24.41

La figura Figura 5.276 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.20 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.276.

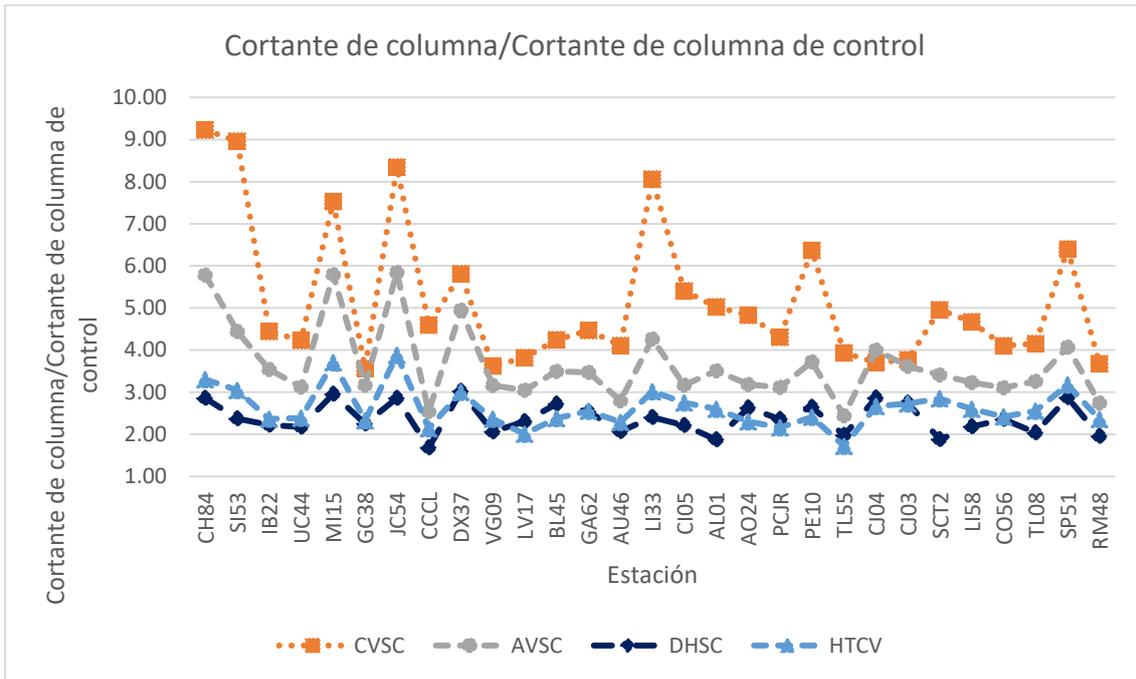


Figura 5.276. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.20. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH	HTCV
Máximo	9.23	5.84	3.02	3.88
Mínimo	3.56	2.44	1.68	1.72
Promedio	5.18	3.66	2.38	2.62

5.2.2.6 Cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.277 y Figura 5.278 muestran el cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.21 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.277 y Figura 5.278.

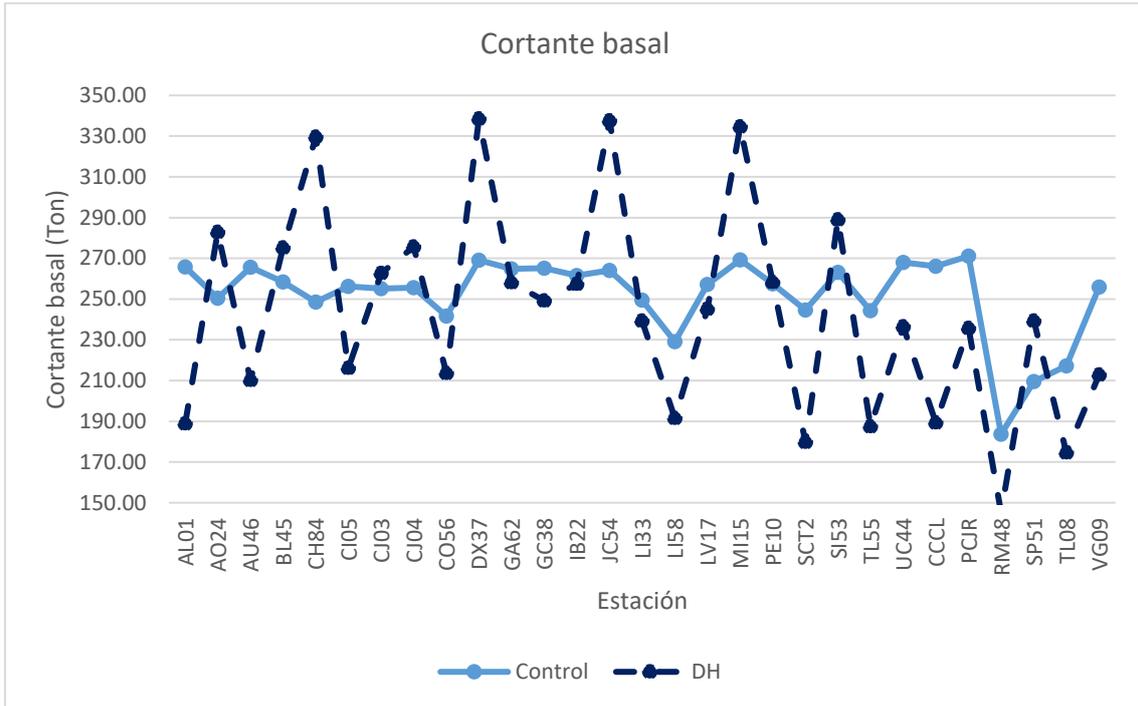


Figura 5.277. Cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

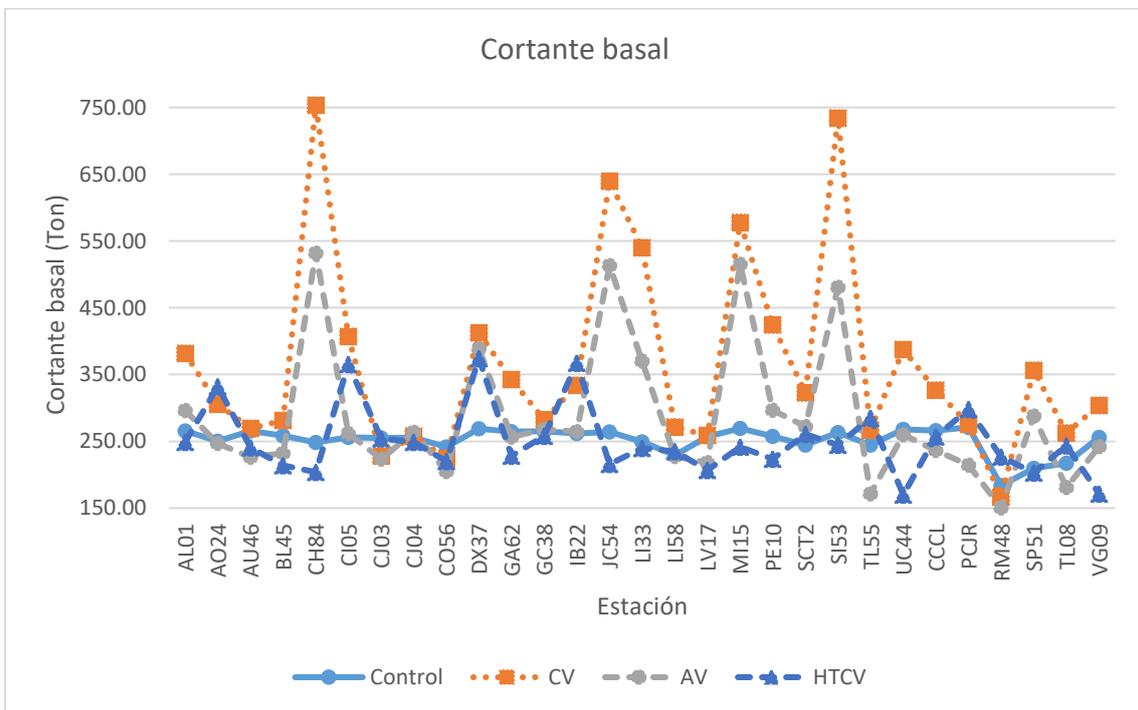


Figura 5.278. Cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.



Tabla 5.21. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH	HTCV
Máximo	271.08	753.17	531.91	338.51	374.23
Mínimo	183.69	167.27	150.32	145.14	170.00
Promedio	252.00	365.43	286.37	243.24	250.97

Las figuras Figura 5.277 y Figura 5.278 muestran que al colocar dispositivos disipadores de energía y contravientos en el modelo numérico de control, se incrementa el cortante basal en relación al modelo numérico sin dispositivos disipadores de energía y contravientos.

5.2.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el que esta ubicado entre los ejes uno, C, y D (figura 4.2, capítulo 4). La figura muestra la ductilidad de este dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.279.

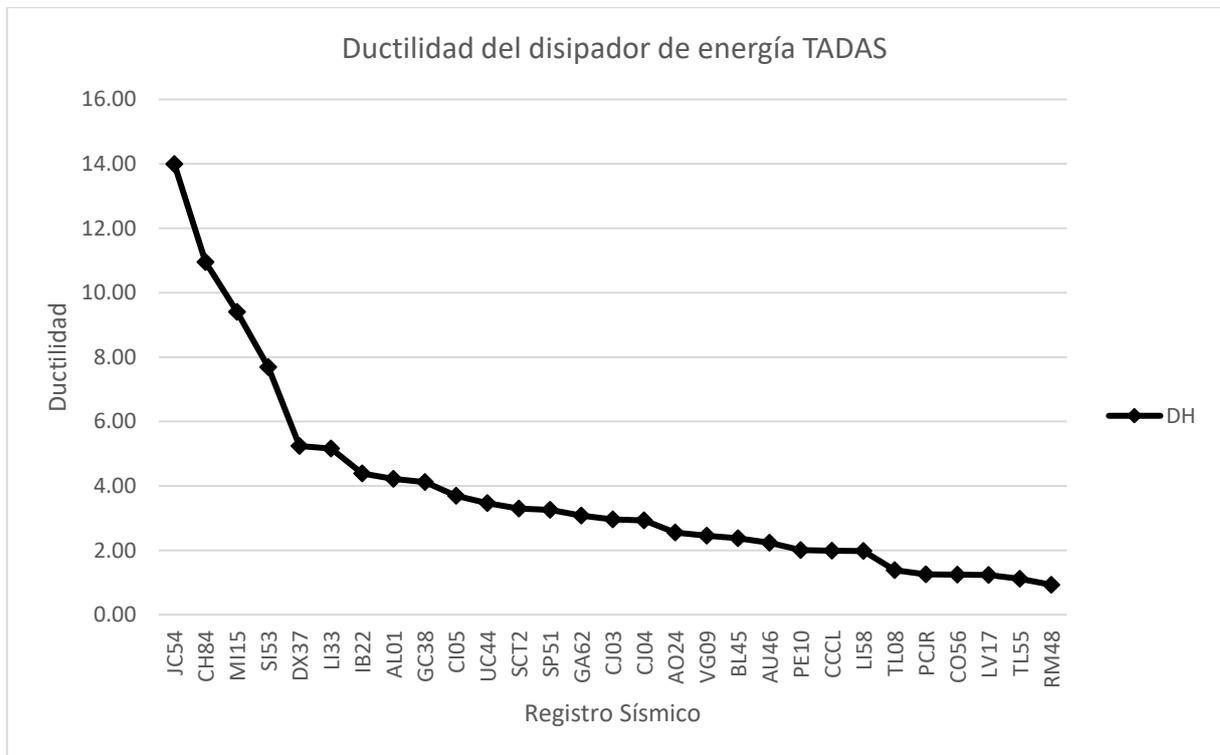


Figura 5.279. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.



Tabla 5.22. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Máximo	14.00
Mínimo	0.93
Promedio	3.81

La figura Figura 5.279 muestra que el registro sísmico JC54 sobrepasa la demanda de ductilidad máxima permitida de 10.7; este registro sísmico genera una ductilidad de 14.02. En este tipo de dispositivo disipador de energía se tiene que su ductilidad promedio de 3.81 por lo que su utilización en cuanto a disipación de energía es bajo.

5.2.2.8 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS y contravientos del edificio número uno con no columnas confinadas en los extremos por estribos

El dispositivo disipador de energía TADAS de control se ubica entre los ejes uno, C, y D (figura 4.2, capítulo 4). La figura Figura 5.280 muestra la ductilidad de este dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.280.

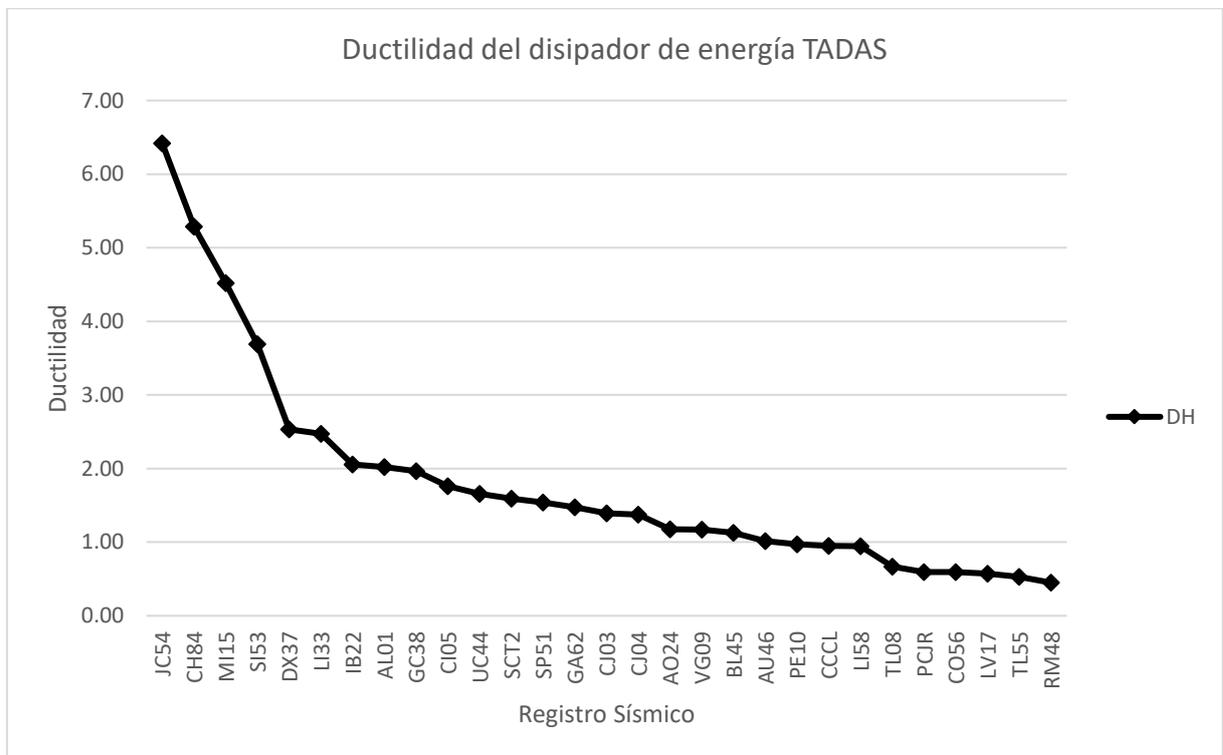


Figura 5.280. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.



Tabla 5.23. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Máximo	6.42
Mínimo	0.45
Promedio	1.81

La tabla Tabla 5.23 muestra que el valor máximo de demanda de ductilidad es de 6.4, que no sobrepasa el valor máximo permitido. Esta combinación de dispositivo disipador de energía y contravientos produce una ductilidad promedio muy baja, de 1.8, por lo que su utilización no es adecuada.

5.3 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número dos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número dos, Se le denomina modelo de control al edificio sin dispositivos disipadores de energía ni contravientos. En todos estos casos se muestran los resultados por columnas confinadas en los extremos por estribos y por columnas no confinadas en los extremos por estribos.

5.3.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos

5.3.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como nodo de control el nodo de la parte superior de la columna de control que se ubica en el eje D-1 (figura 4.26, capítulo 4). Las figuras Figura 5.281 y Figura 5.282 se muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control y del modelo numérico con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS (DH).

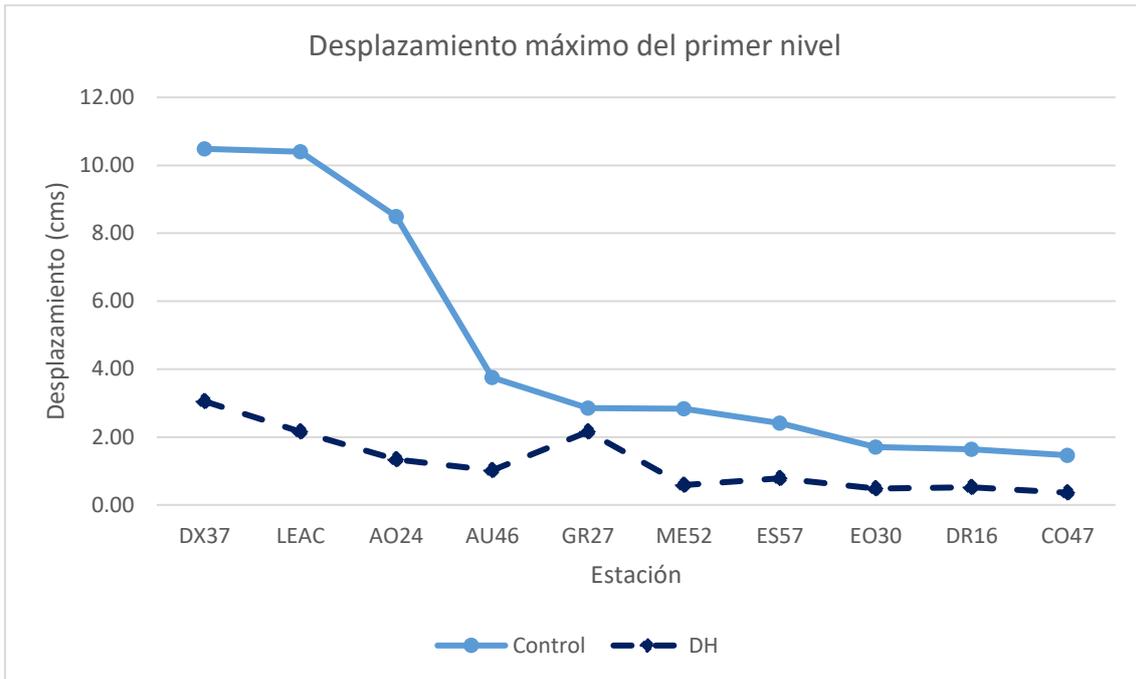


Figura 5.281. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.

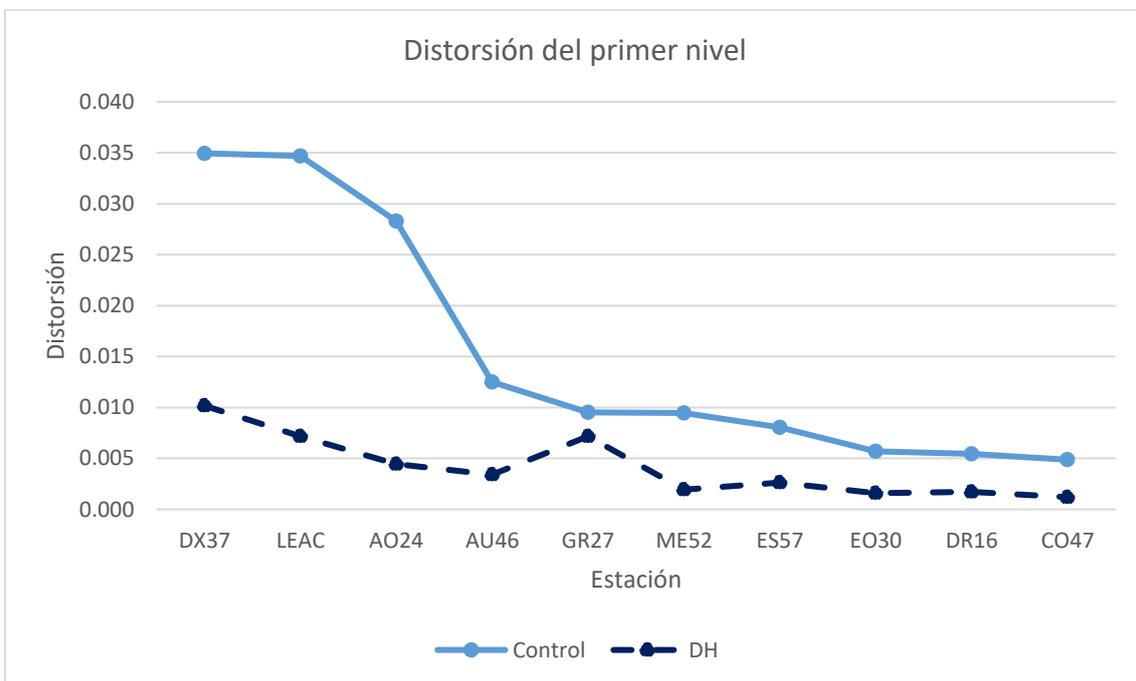


Figura 5.282. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.

Las figuras Figura 5.283 y Figura 5.284 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio

número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control, modelo numérico con contravientos (CV), y el modelo numérico de dispositivos disipadores de energía tipo comportamiento viscoso (AV).

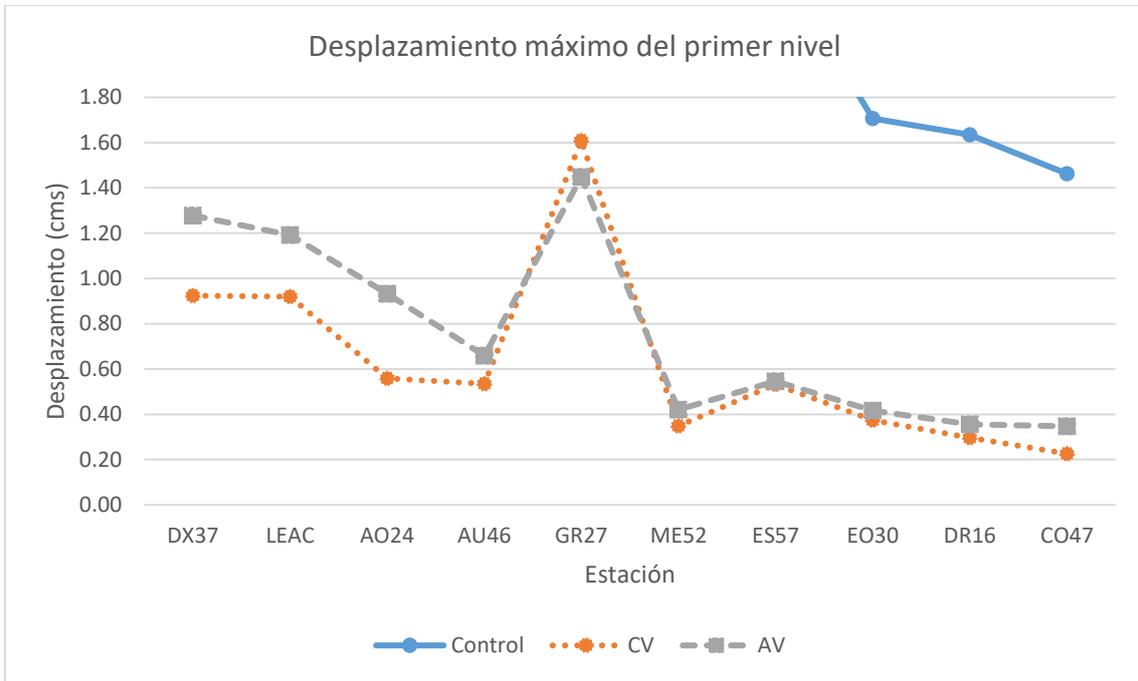


Figura 5.283. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.

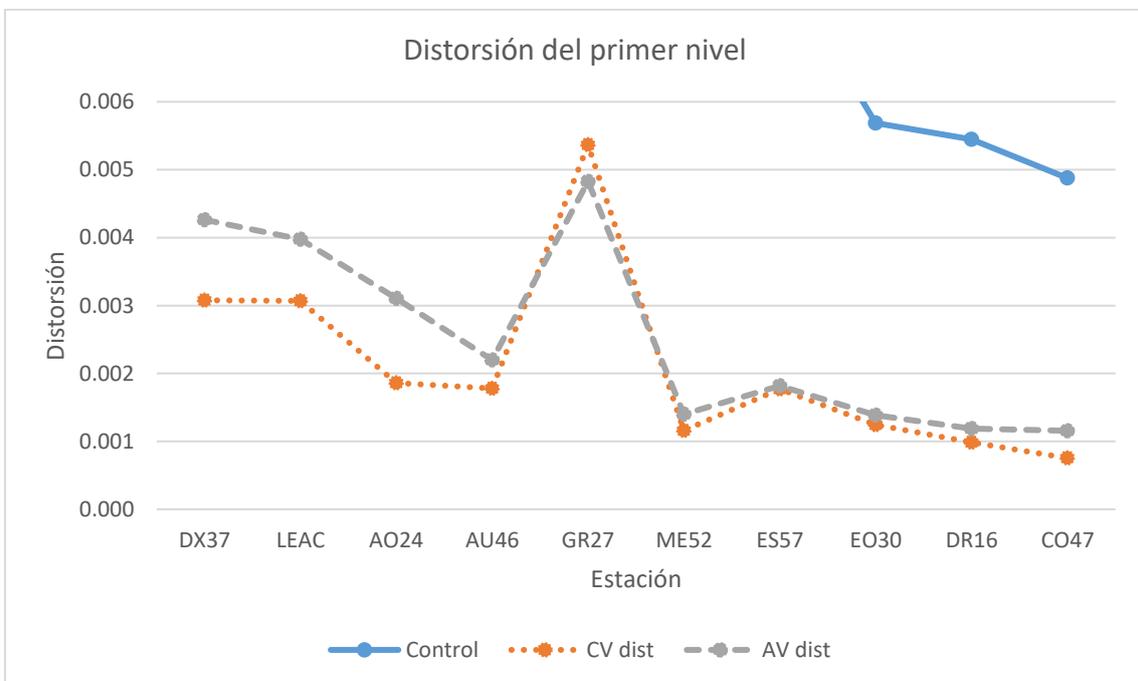


Figura 5.284. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos.



Tabla 5.24. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	10.48	0.035	1.61	0.005
Mínimo	1.46	0.005	0.23	0.001
Promedio	4.60	0.015	0.63	0.002
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	1.45	0.005	3.05	0.010
Mínimo	0.35	0.001	0.36	0.001
Promedio	0.76	0.003	1.24	0.004

La figura Figura 5.282 para el modelo numérico de control los primeros siete registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM, por lo tanto, se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. La tabla Tabla 5.24 muestra para el caso de este mismo edificio con contraviento se tiene que para todos los registros sísmicos su distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17. Para el caso de este mismo edificio con disipadores de energía de tipo viscoso de tiene que el valor máximo de distorsión de entrepiso del primer nivel es igual al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17. En el caso del edificio con disipadores de energía tipo TADAS se tiene que el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es menor al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17.

5.3.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.285 y Figura 5.286 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos anteriormente descrito que se obtiene de dividir el desplazamiento máximo entre el desplazamiento de fluencia del sistema de un grado de libertad sin dispositivo del edificio. La tabla Tabla 5.25 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.285 y Figura 5.286.

Tabla 5.25. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	11.65	1.79	1.61	3.39
Mínimo	1.63	0.25	0.39	0.40
Promedio	5.11	0.70	0.84	1.38

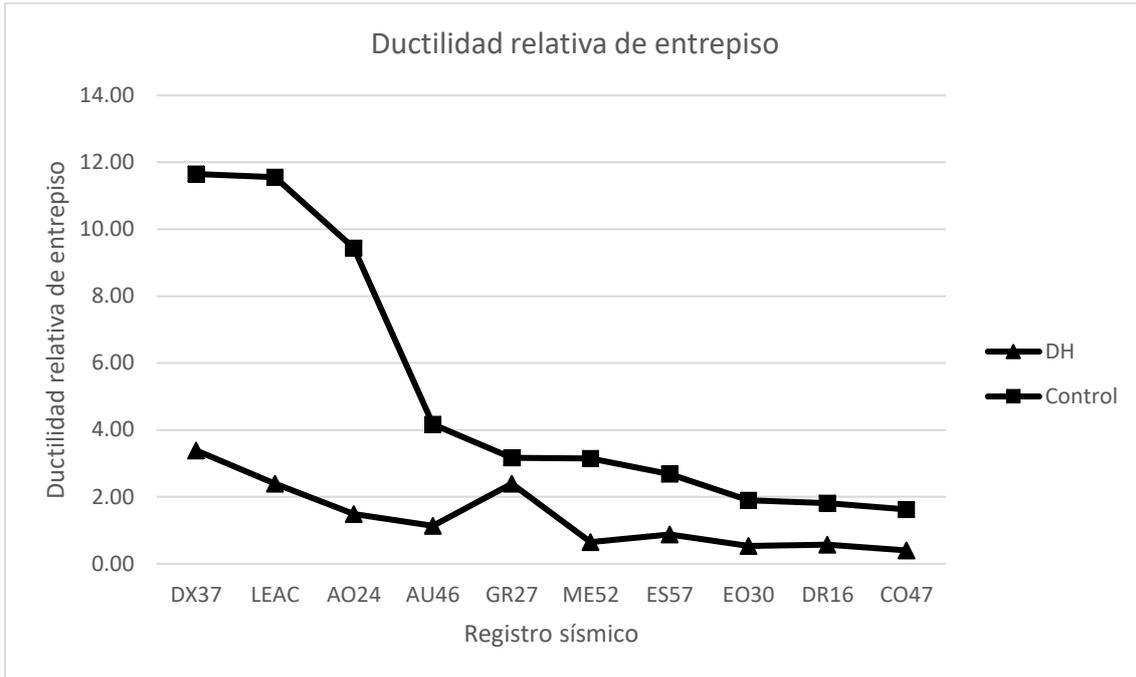


Figura 5.285. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

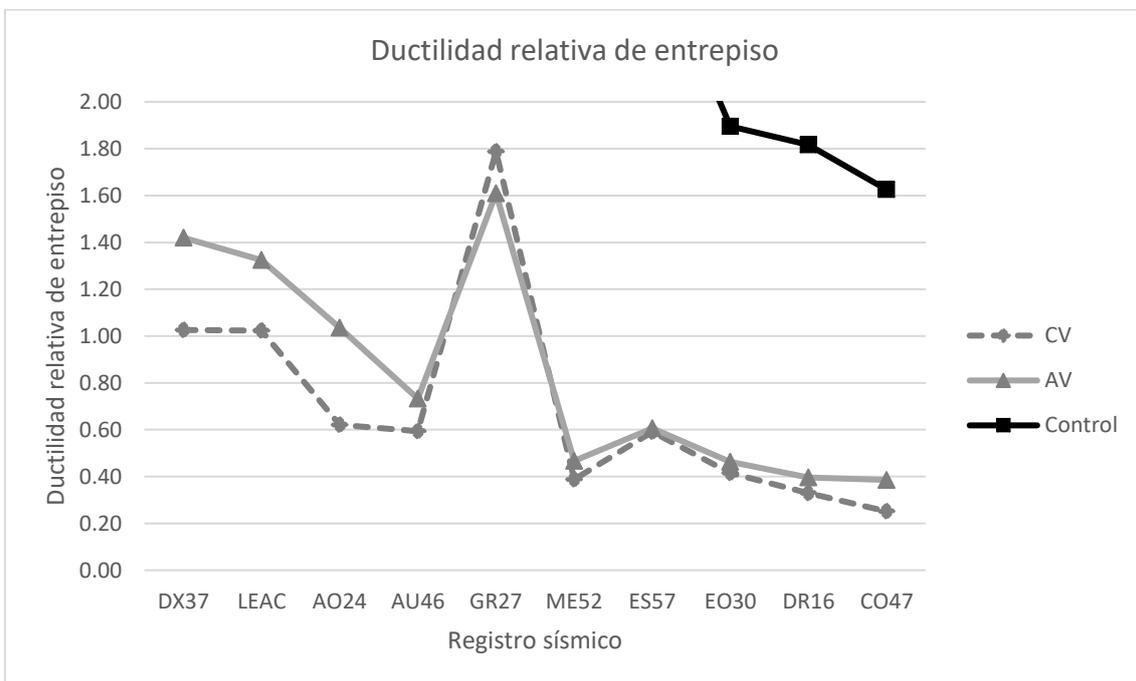


Figura 5.286. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.



5.3.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.287 y Figura 5.288 muestran la rotación máxima de la columna de control del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos. La tabla Tabla 5.26 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.287 y Figura 5.288.

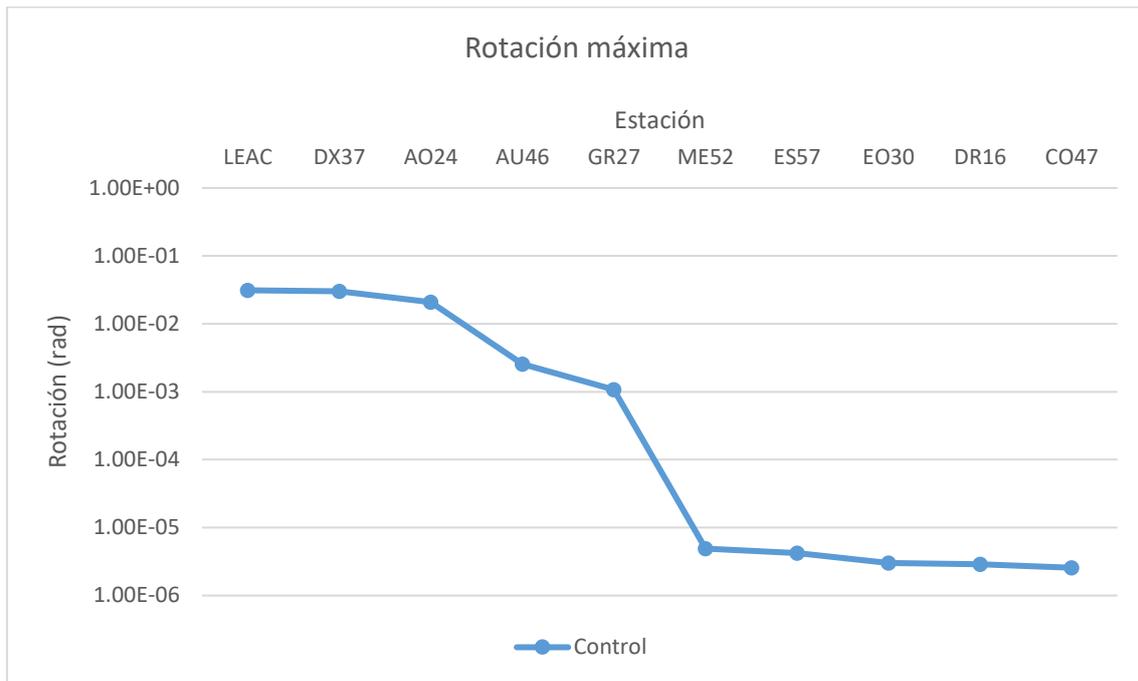


Figura 5.287. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

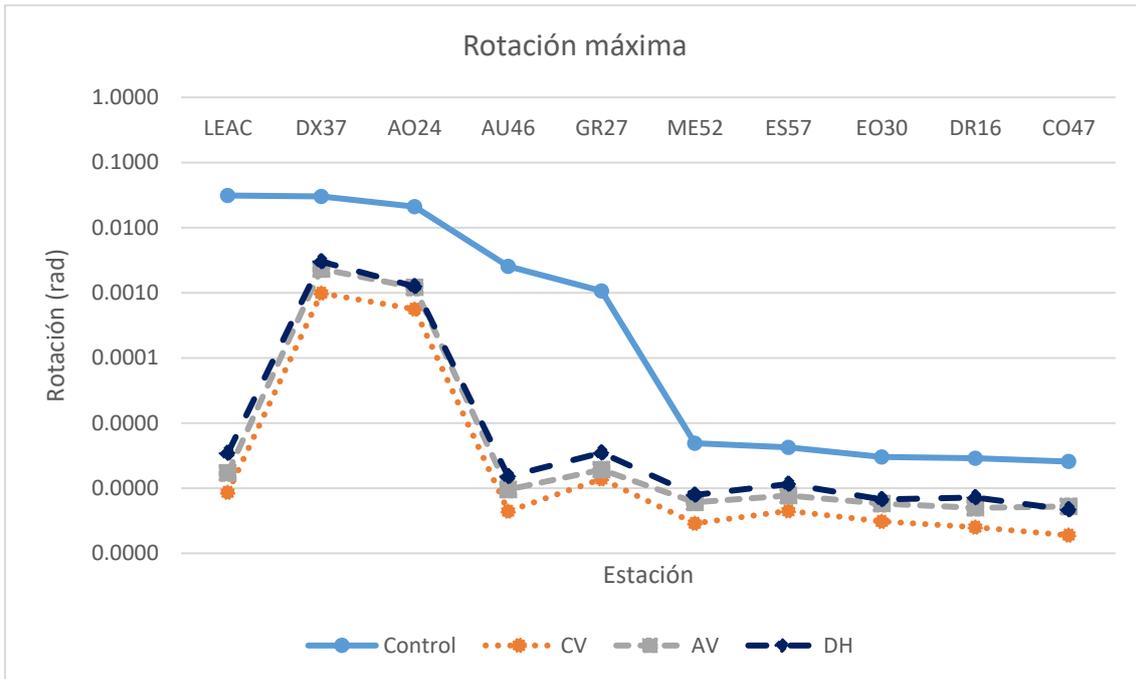


Figura 5.288. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.26. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	3.12E-02	9.84E-04	2.32E-03	3.01E-03
Mínimo	2.56E-06	1.89E-07	5.00E-07	4.66E-07
Promedio	8.60E-03	1.55E-04	3.54E-04	4.28E-04

5.3.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.289 y Figura 5.290 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número dos anteriormente descrito que se obtiene de dividir la rotación máxima entre la rotación de fluencia del sistema de un grado de libertad sin dispositivo del edificio. La tabla Tabla 5.27 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.289 y Figura 5.290.

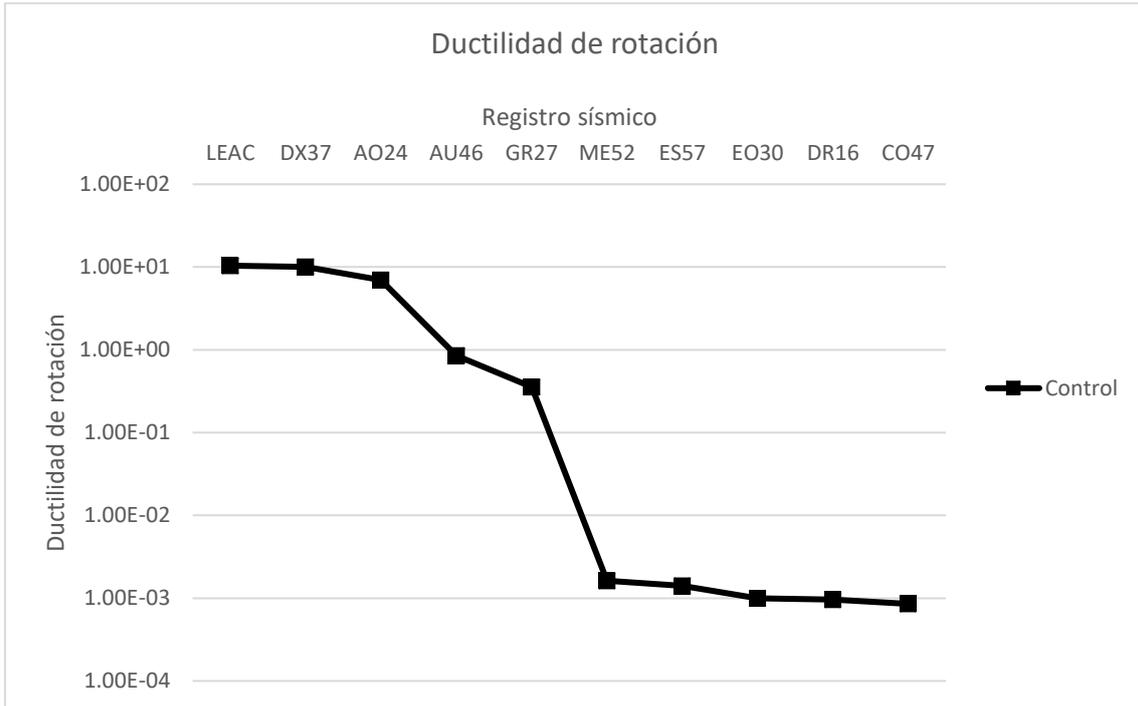


Figura 5.289. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

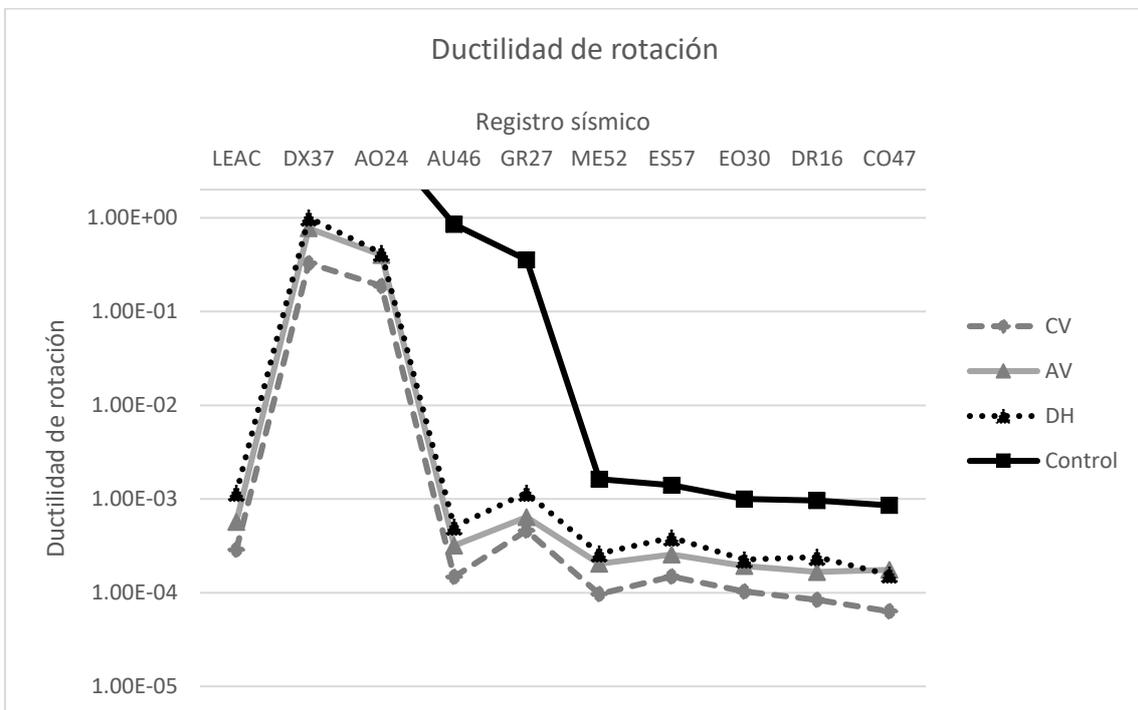


Figura 5.290. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.27. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	1.04E+01	3.28E-01	7.73E-01	1.00E+00
Mínimo	8.54E-04	6.31E-05	1.67E-04	1.55E-04
Promedio	2.87E+00	5.16E-02	1.18E-01	1.43E-01

5.3.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos

La figura Figura 5.291 muestra el cortante máximo en la columna de control del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos se tomó como columna de control para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.26 capítulo 4), para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.26 capítulo 4), la tabla

Tabla 5.28 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.291.

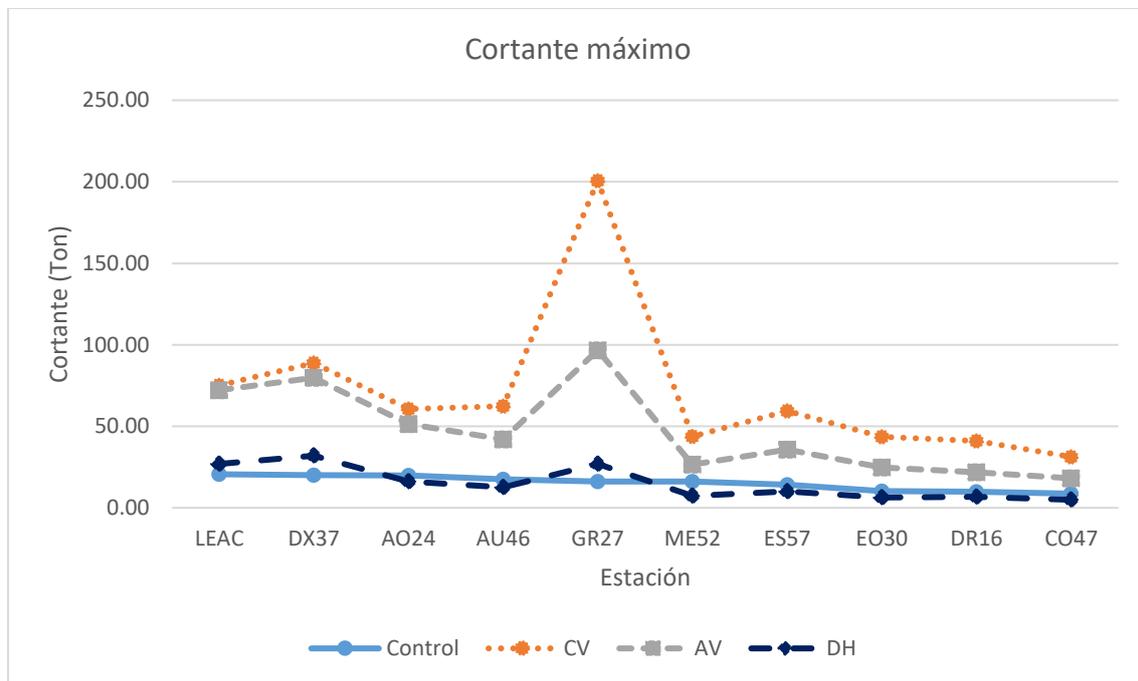


Figura 5.291. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.28. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	20.59	200.67	96.69	31.96
Mínimo	8.70	31.26	18.11	4.94
Promedio	15.32	70.63	46.90	15.01

La figura Figura 5.292 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.29 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.292.

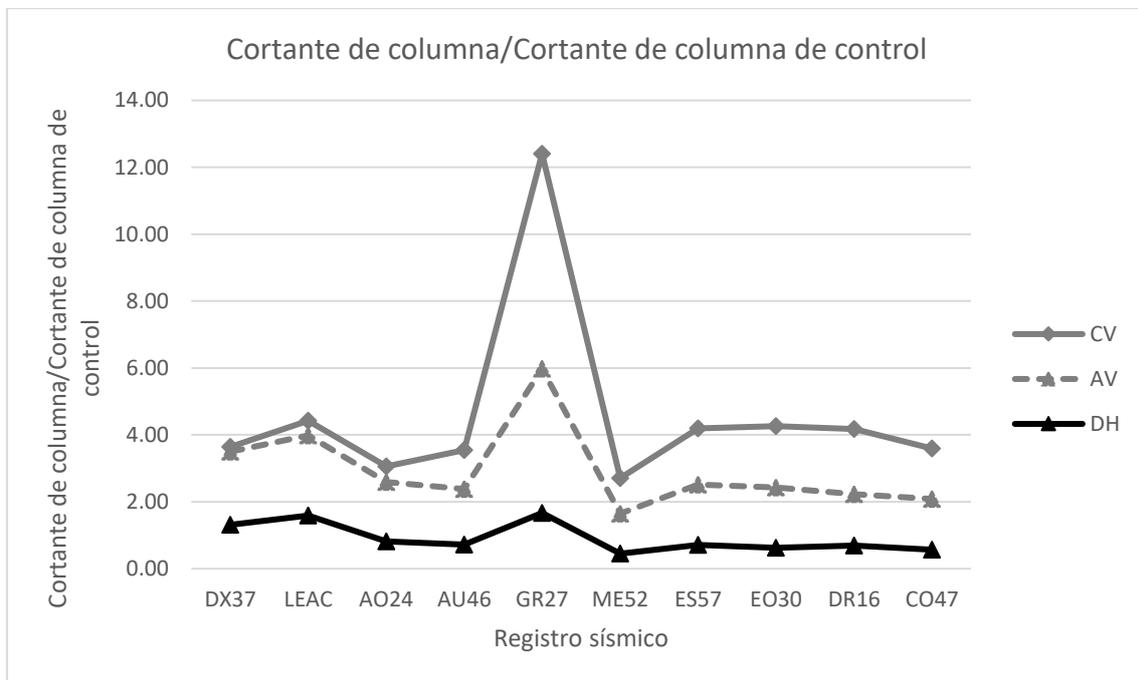


Figura 5.292. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.29. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH
Máximo	12.41	5.98	1.67
Mínimo	2.71	1.65	0.45
Promedio	4.60	2.93	0.91

5.3.1.6 Cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos



Las figuras Figura 5.293 y Figura 5.294 muestran el cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.30 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.293 y Figura 5.294.

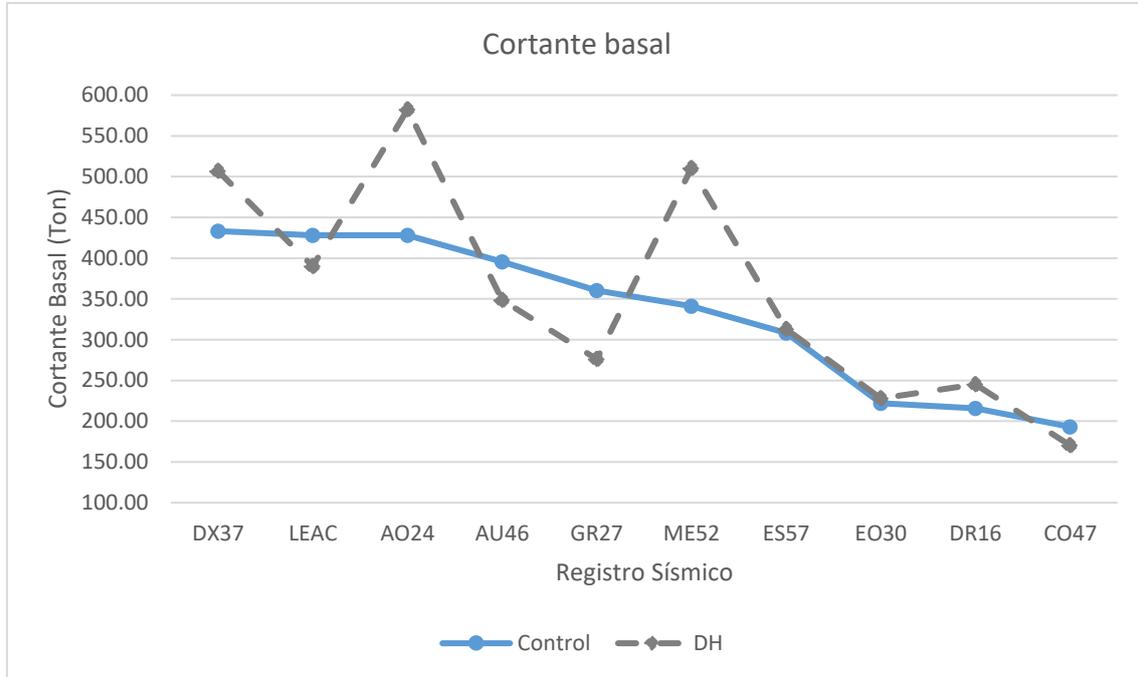


Figura 5.293. Cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.30. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	433.25	845.91	741.93	582.58
Mínimo	193.17	155.63	129.29	170.33
Promedio	332.59	313.26	353.88	357.09

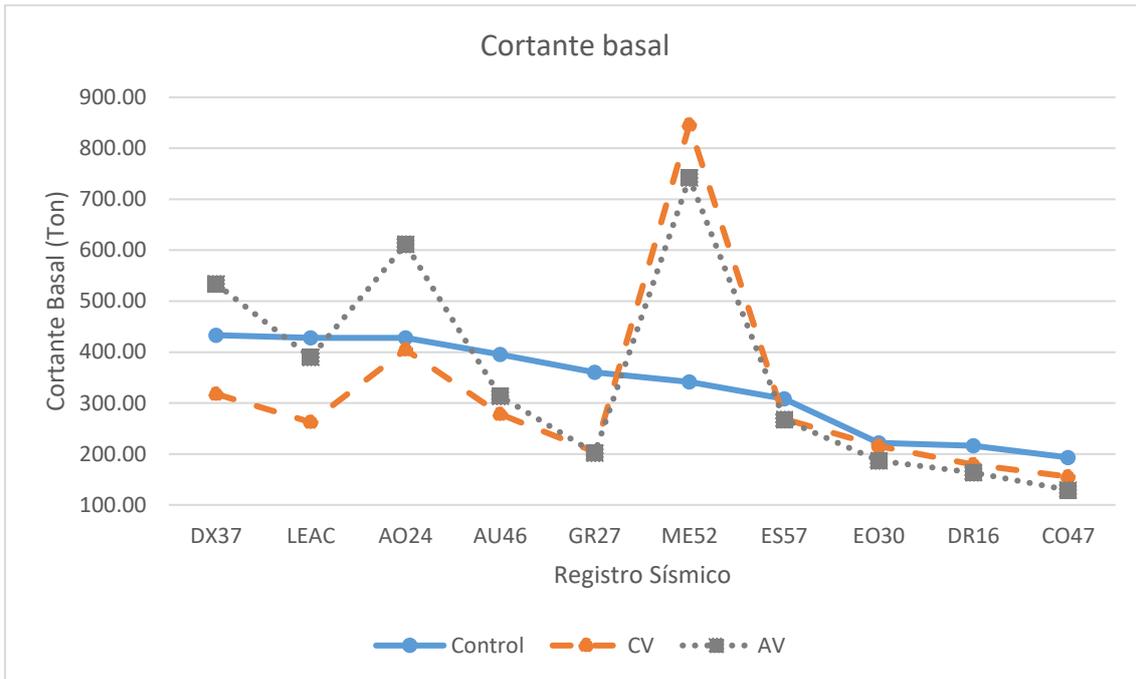


Figura 5.294. Cortante basal del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

5.3.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el que está ubicado entre los ejes uno, C, y D (figura 4.26, capítulo 4). La figura 5.295 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo la tabla 5.31 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura 5.295.

Tabla 5.31. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	10.12
Mínimo	0.64
Promedio	3.43

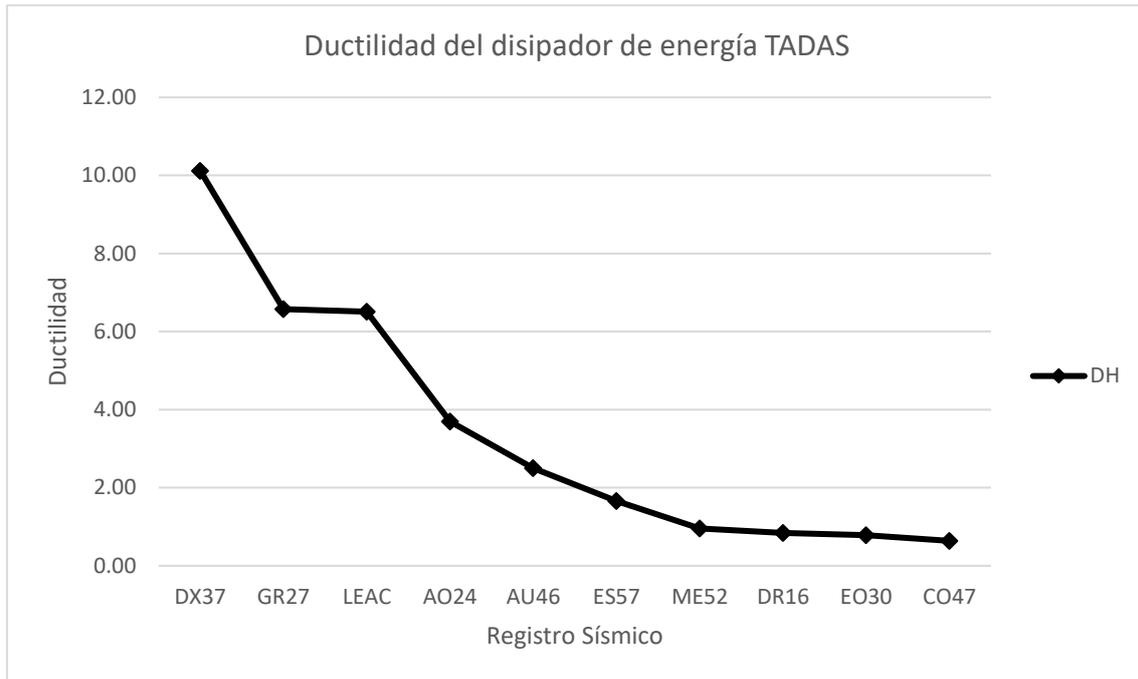


Figura 5.295. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

5.3.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

5.3.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Los resultados mostrados a continuación en donde se tomó como nodo de control el nodo de la parte superior de la columna de control como el indicado en la sección 5.3.1.1. Las figuras Figura 5.296 a Figura 5.299 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel. En la tabla Tabla 5.32 muestra los valores máximos, mínimos y promedio de desplazamiento y distorsión de las figuras Figura 5.296 a Figura 5.299 anteriormente mostradas.

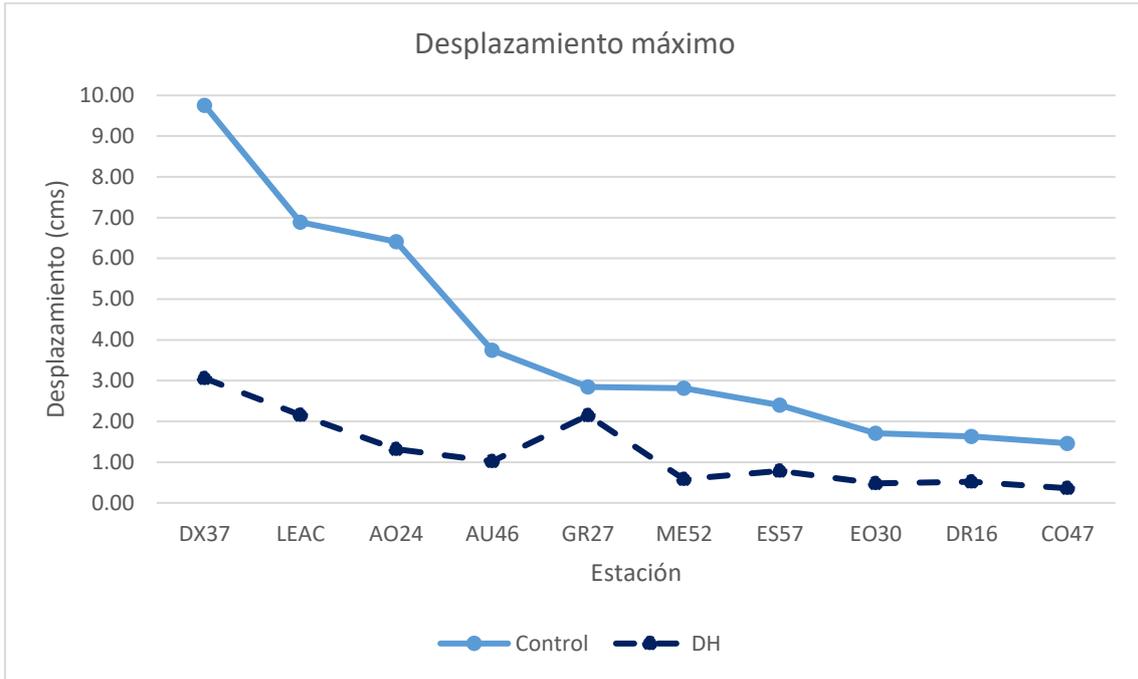


Figura 5.296. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

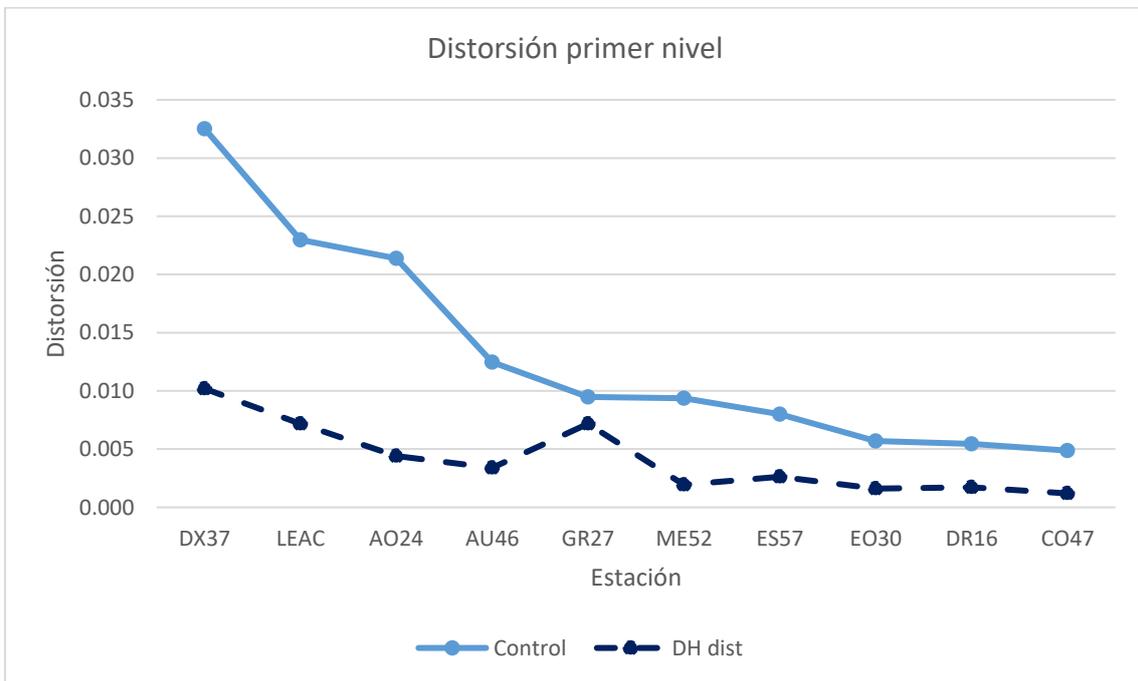


Figura 5.297. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

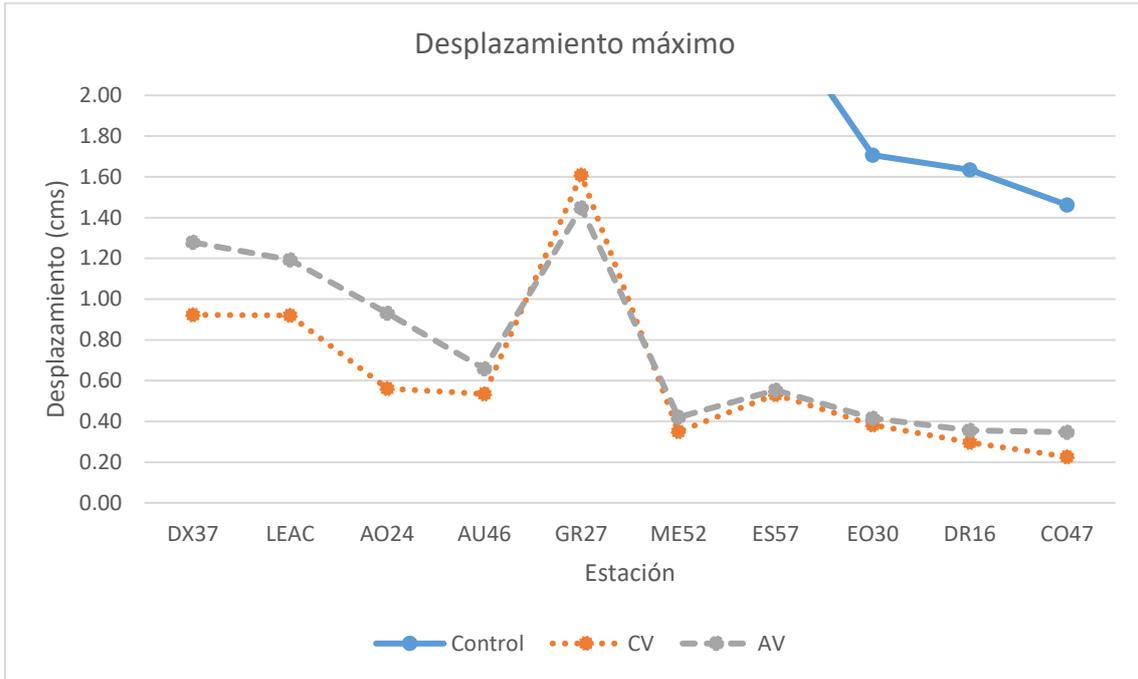


Figura 5.298. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

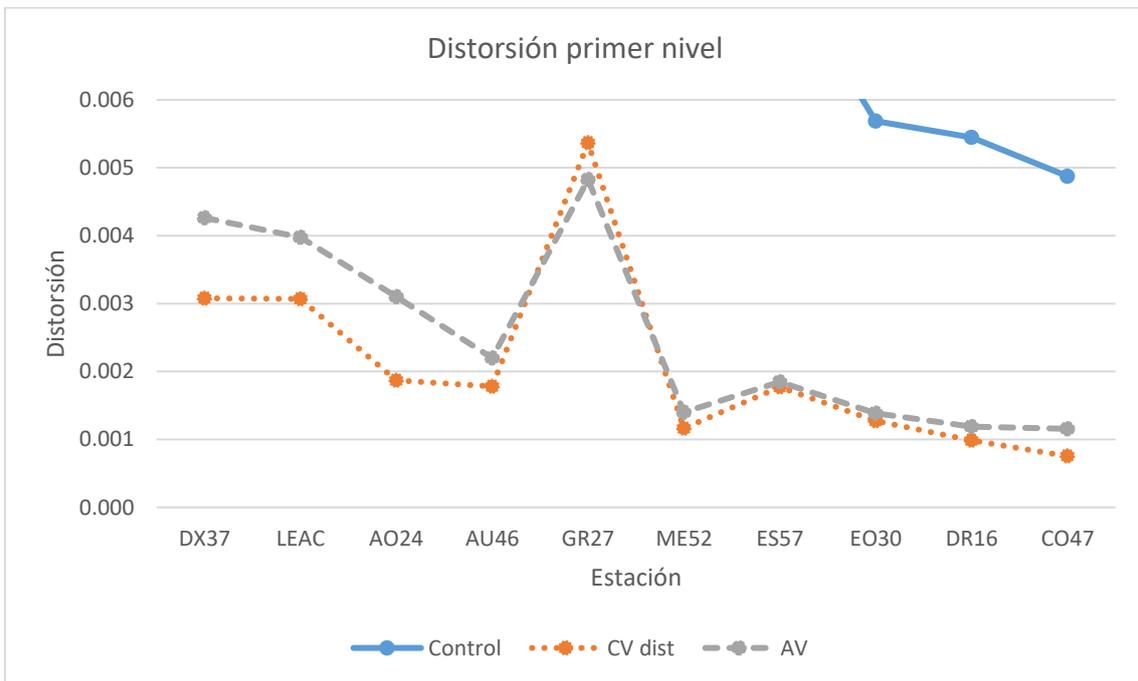


Figura 5.299. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos.



Tabla 5.32. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	9.76	0.033	1.61	0.005
Mínimo	1.46	0.005	0.23	0.001
Promedio	3.97	0.013	0.63	0.002
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	1.45	0.005	3.06	0.010
Mínimo	0.35	0.001	0.36	0.001
Promedio	0.76	0.003	1.24	0.004

Igual que en la sección 5.3.1.1 se tiene que en la tabla Tabla 5.32 para el modelo numérico de control todos los registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM, por lo tanto, se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. Las observaciones en cuanto a los resultados de distorsión de entrepiso del modelo número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos con contravientos y dispositivos son iguales a la sección 5.3.1.1.

5.3.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

En las figuras Figura 5.300 y Figura 5.301 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos. Se muestra en la tabla Tabla 5.33 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.300 y Figura 5.301.

Tabla 5.33. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	10.84	1.79	1.61	3.40
Mínimo	1.63	0.25	0.39	0.40
Promedio	4.41	0.70	0.84	1.38

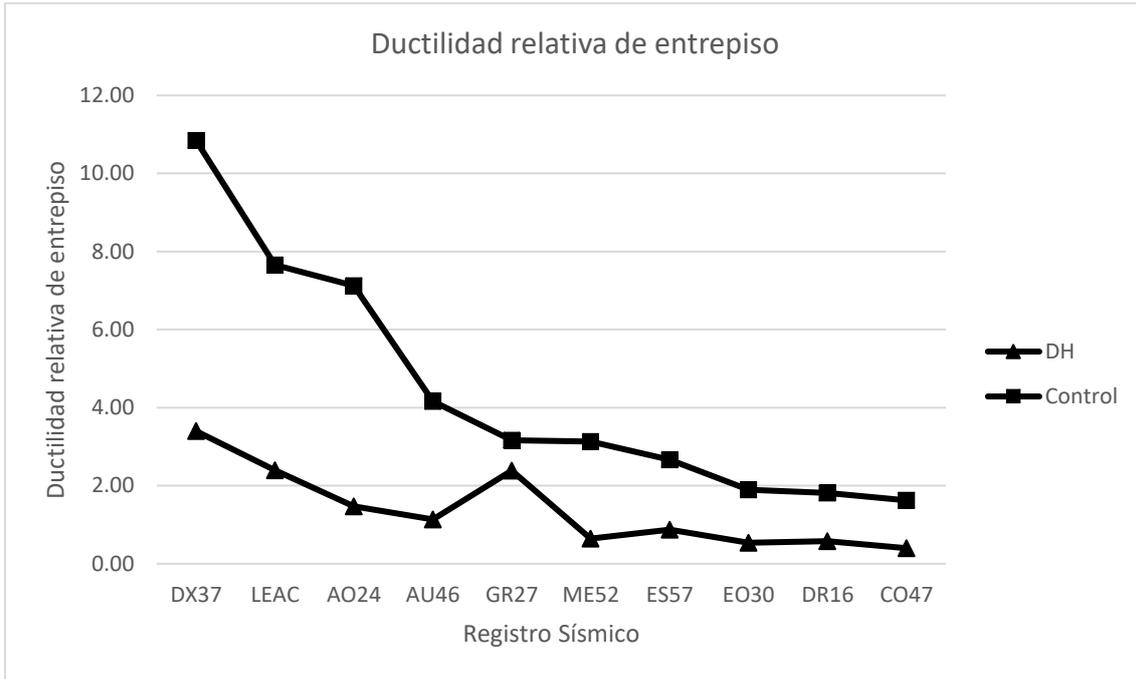


Figura 5.300. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

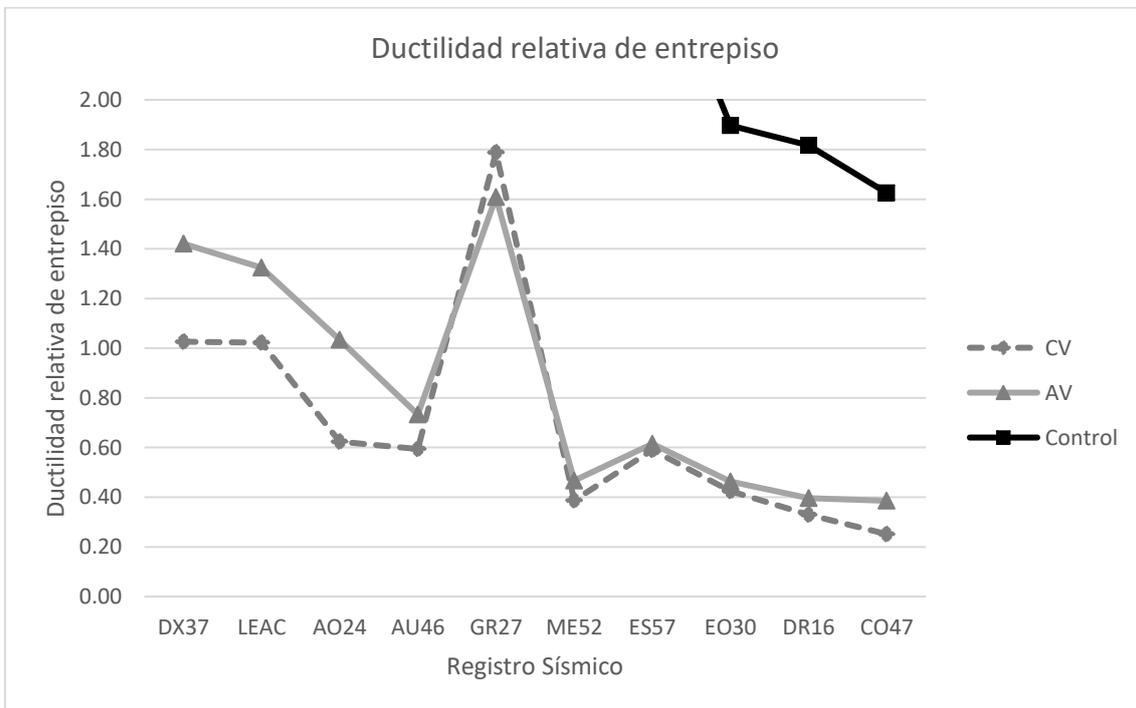


Figura 5.301. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.



5.3.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.302 y Figura 5.303 muestran la rotación máxima de la columna de control obtenida del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos. La tabla Tabla 5.34 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.302 y Figura 5.303.

Tabla 5.34. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	3.69E-02	8.99E-04	2.43E-03	0.00E+00
Mínimo	2.56E-06	1.89E-07	4.99E-07	4.66E-07
Promedio	8.57E-03	1.37E-04	3.67E-04	4.39E-04

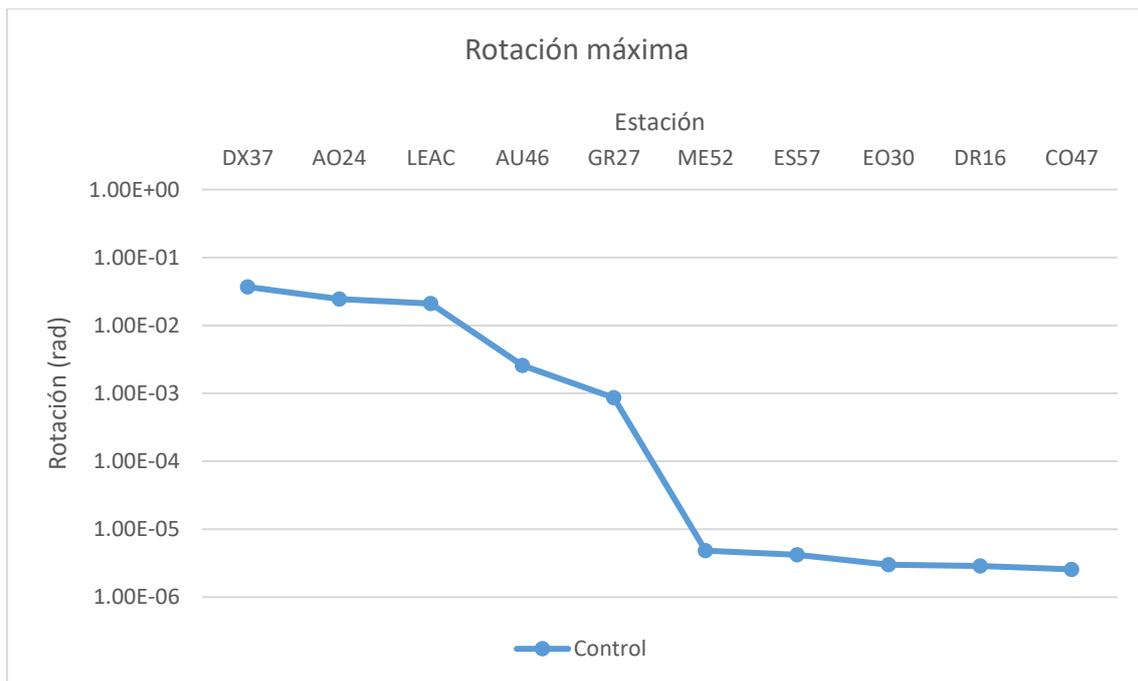


Figura 5.302. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

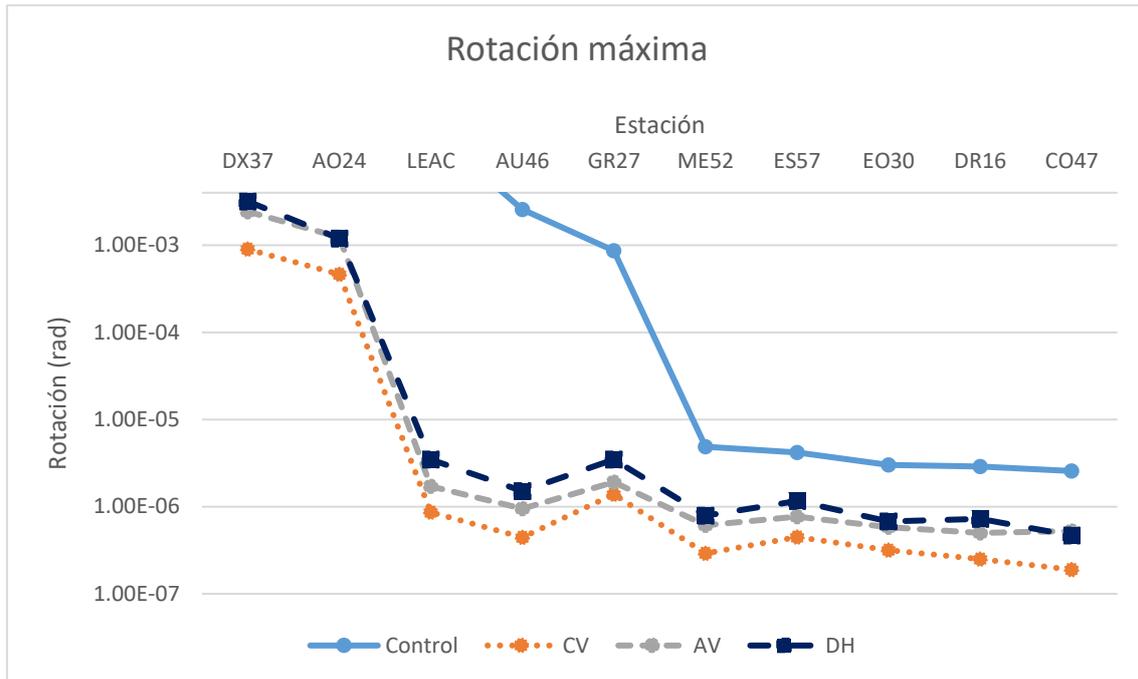


Figura 5.303. Rotación máxima del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

5.3.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.304 y Figura 5.305 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número dos anteriormente descrito.

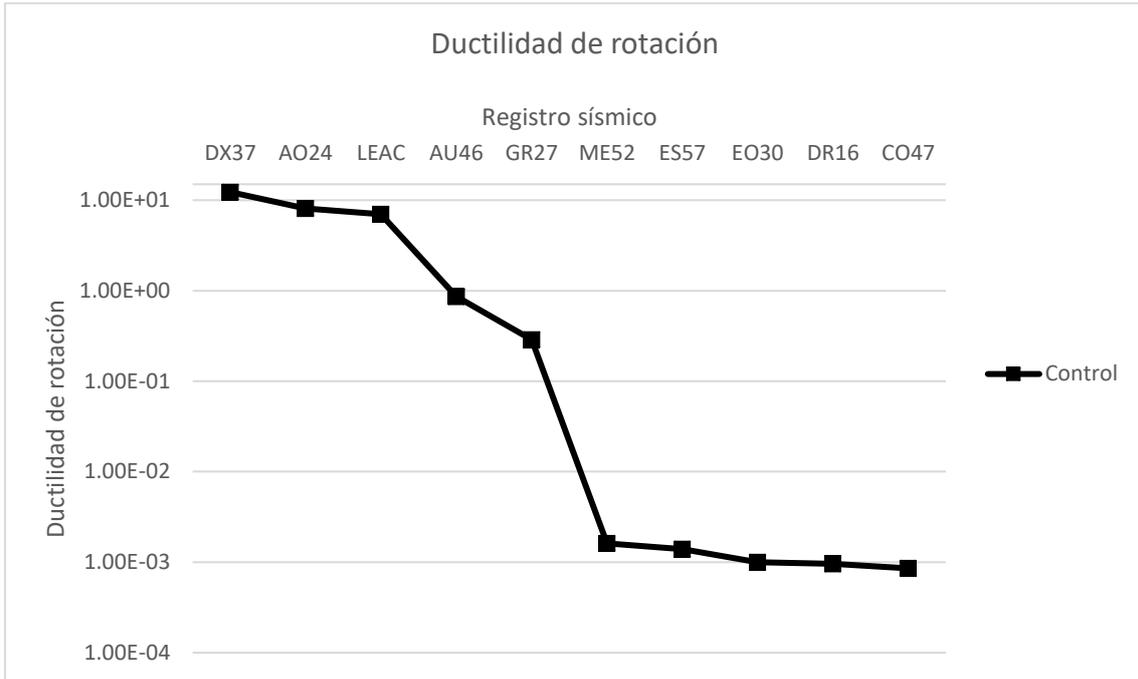


Figura 5.304. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

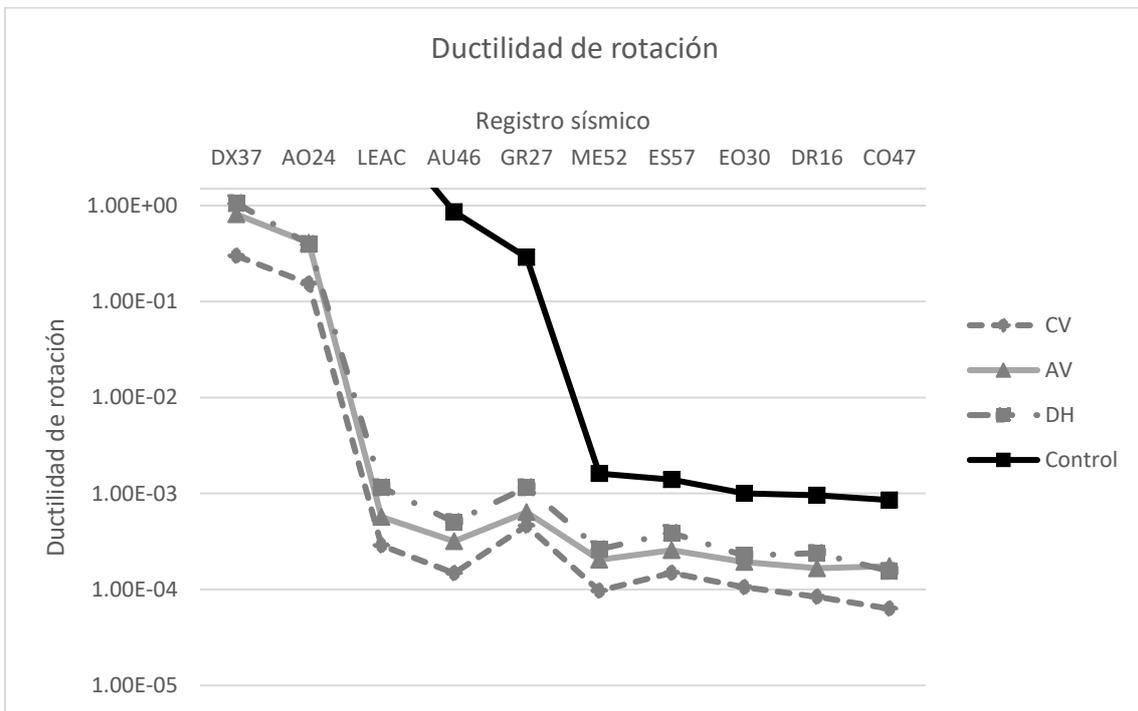


Figura 5.305. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.35. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	12.29	0.30	0.81	1.06
Mínimo	0.0009	0.0001	0.0002	0.0002
Promedio	2.86	0.05	0.12	0.15

5.3.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

La figuras Figura 5.306 y Figura 5.307 muestran el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos se tomó como columna de control como el indicado en la sección 5.3.1.5.

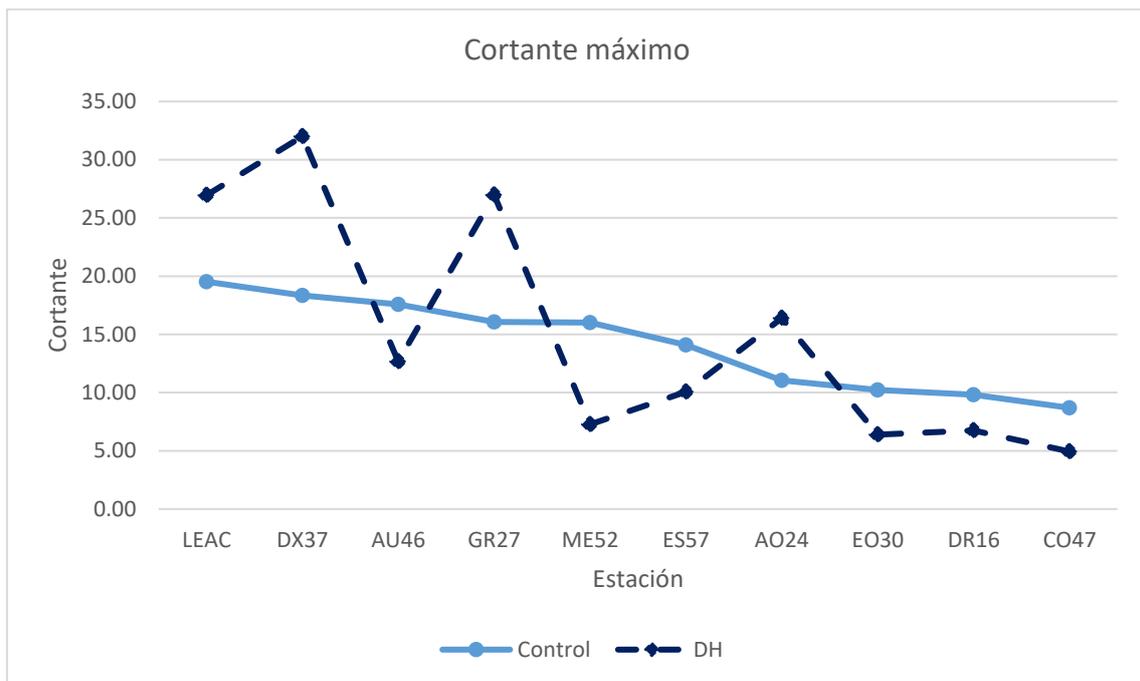


Figura 5.306. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

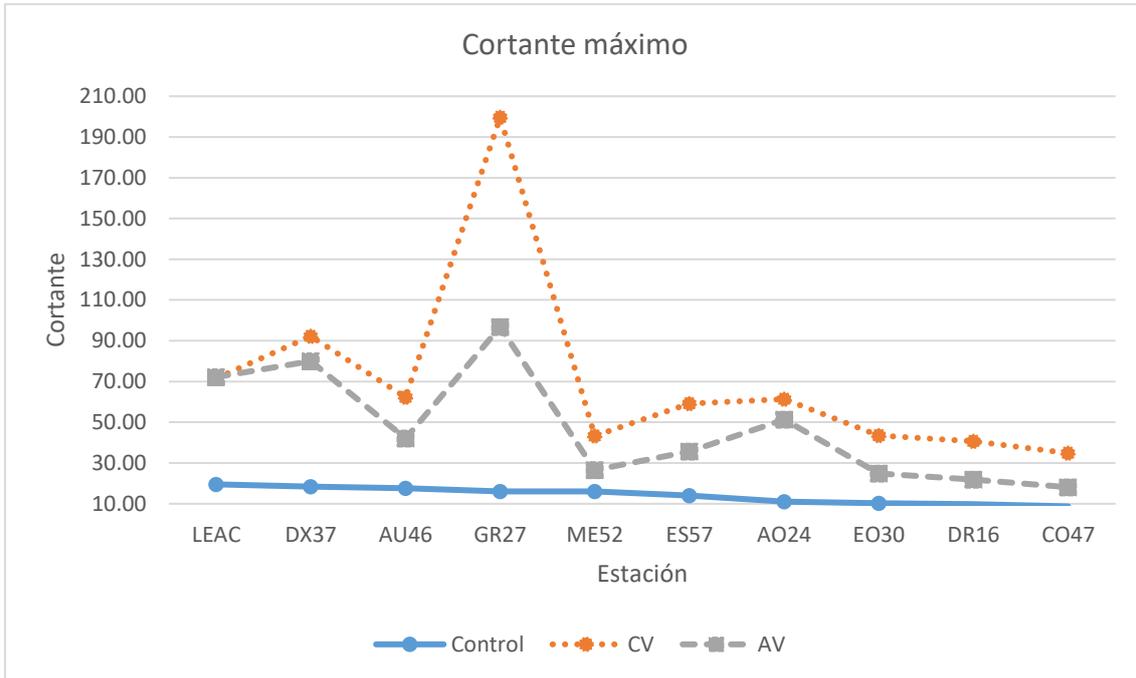


Figura 5.307. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.36. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	19.52	199.64	96.77	32.00
Mínimo	8.70	34.84	18.13	4.94
Promedio	14.14	70.86	46.93	15.04

La figura Figura 5.308 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número dos con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.37 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.308.

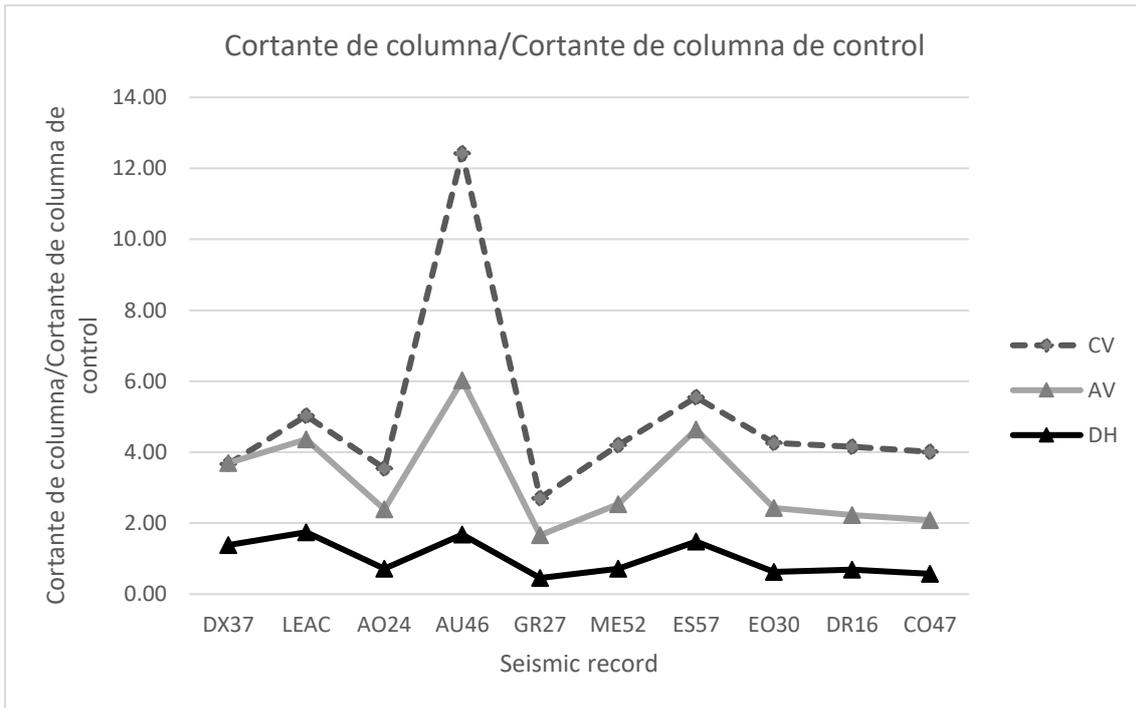


Figura 5.308. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número uno con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.37. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH
Máximo	12.42	6.02	1.74
Mínimo	2.71	1.66	0.45
Promedio	4.95	3.20	1.01

5.3.2.6 Cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.309 y Figura 5.310 muestran el cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.38 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.309 y Figura 5.310.

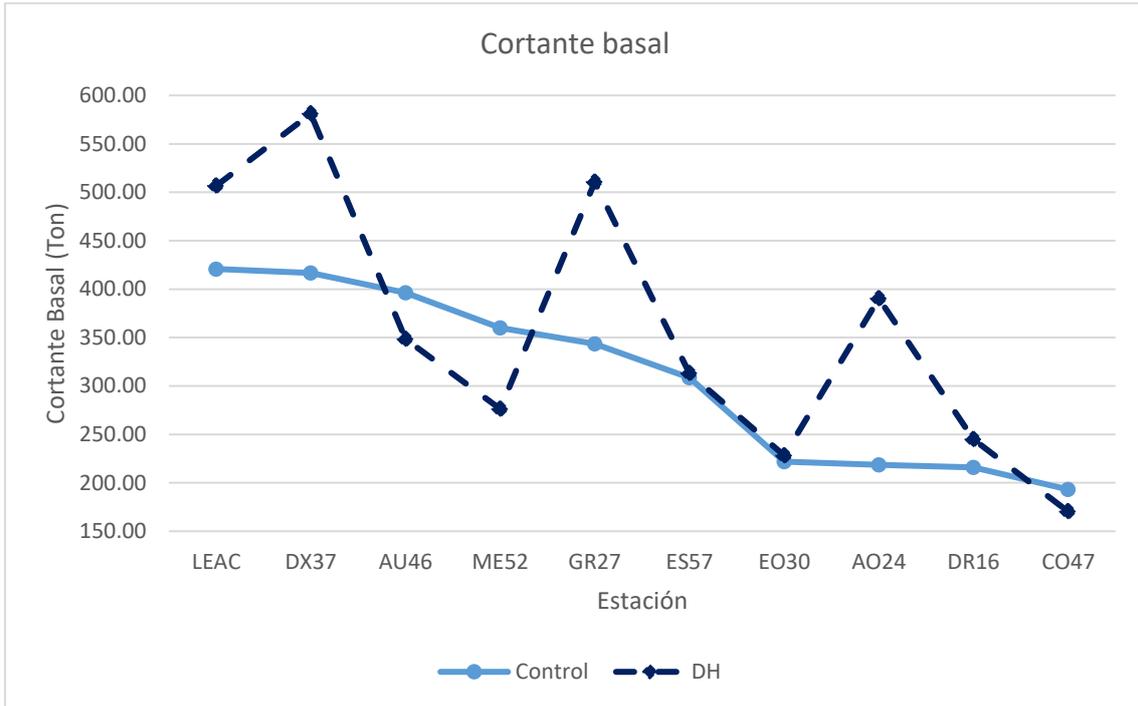


Figura 5.309. Cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

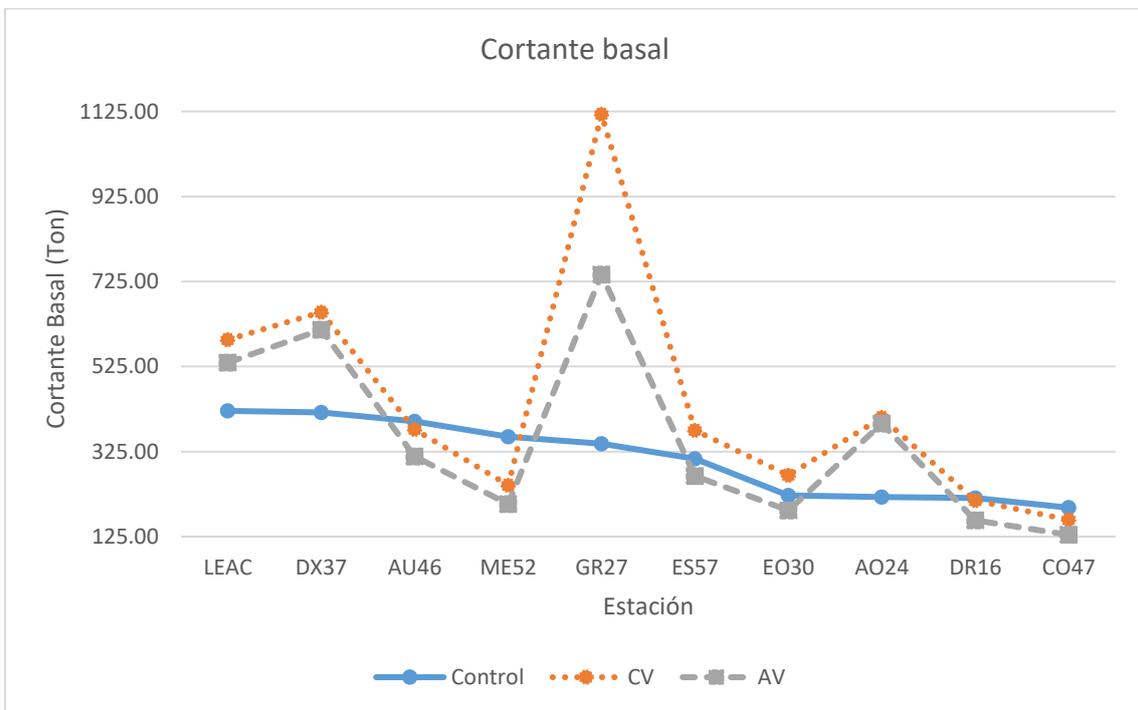


Figura 5.310. Cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.



Tabla 5.38. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	420.78	1118.34	741.79	581.04
Mínimo	193.17	164.51	129.28	170.33
Promedio	309.53	440.70	353.99	356.96

5.3.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos

La ubicación del dispositivo Tadas de control se tomó igual al indicado en la sección 5.3.1.7. La figura Figura 5.311 muestra la ductilidad del dispositivo TADAS y la tabla Tabla 5.39 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.311.

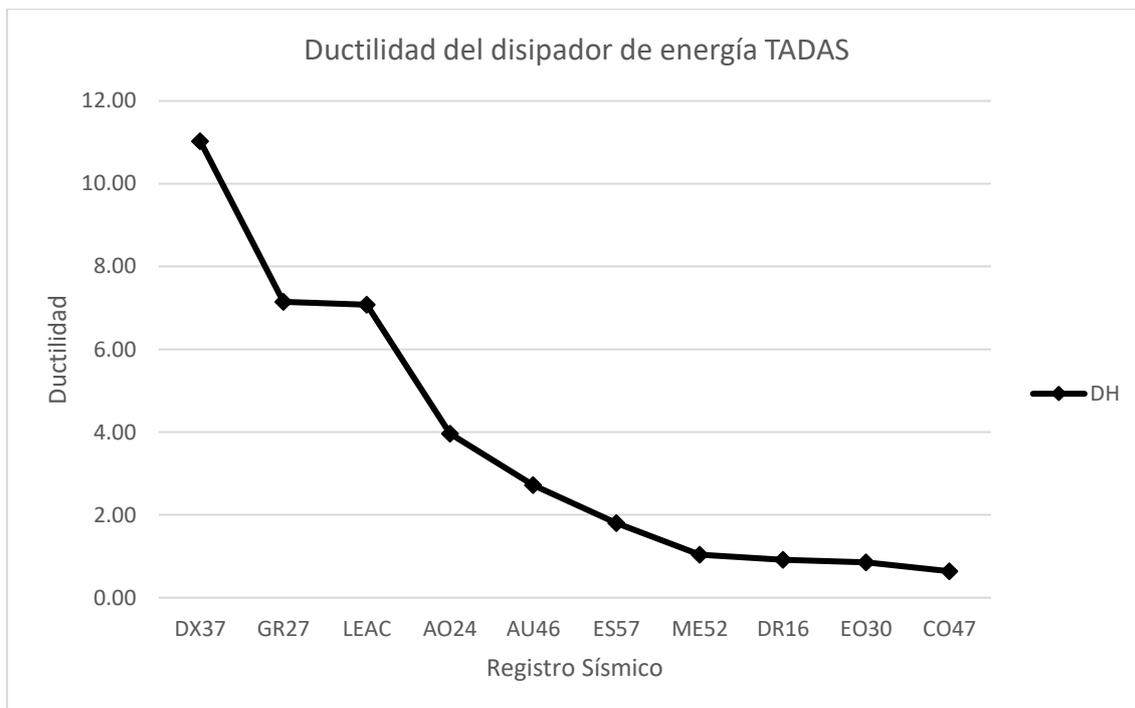


Figura 5.311. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.39. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número dos con columnas no confinadas en los extremos.

Máximo	11.03
Mínimo	0.64
Promedio	3.72

5.4 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número tres

Se muestran los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número tres, en donde el edificio sin dispositivos disipadores de energía ni contravientos se le denomina modelo de control, se muestran también los resultados de los dispositivos de comportamiento viscoso (AV), dispositivos disipadores de energía tipo TADAS (DH), y del edificio con contravientos (CV) resultado del prediseño realizado del capítulo cuatro.

5.4.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

5.4.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

Los resultados mostrados a continuación en donde se tomó como nodo de control el nodo de la parte superior de la columna de control que se ubica en el eje D-1 (figura 4.34, capítulo 4). Las figuras Figura 5.312 a Figura 5.315 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.

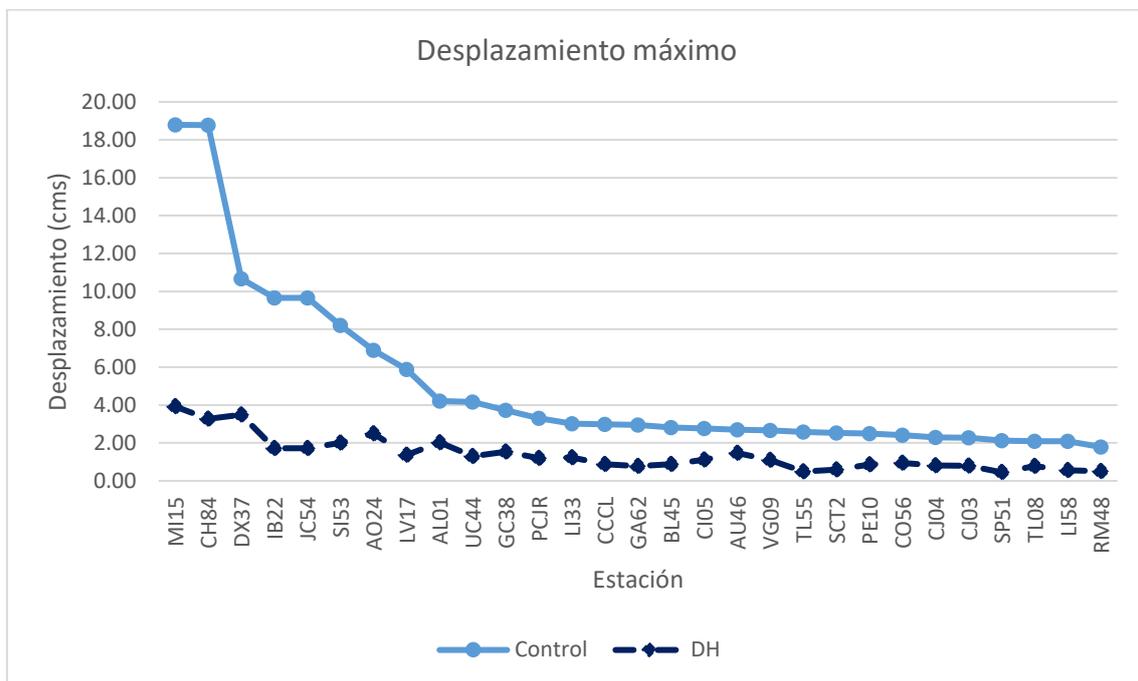


Figura 5.312. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.

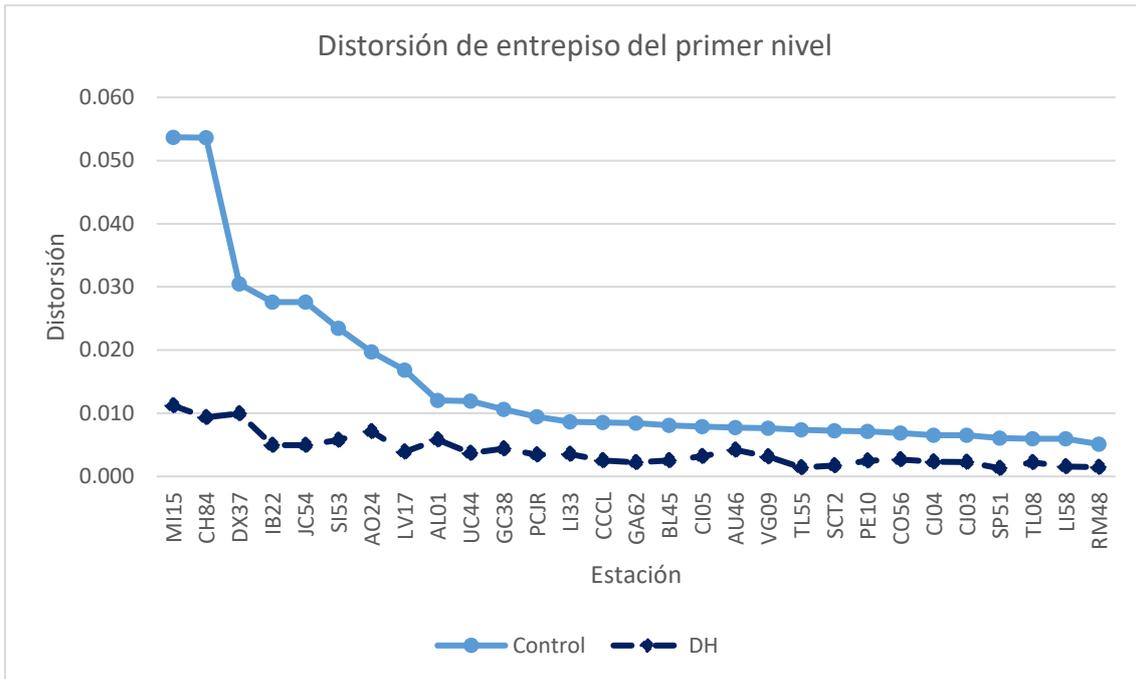


Figura 5.313. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.

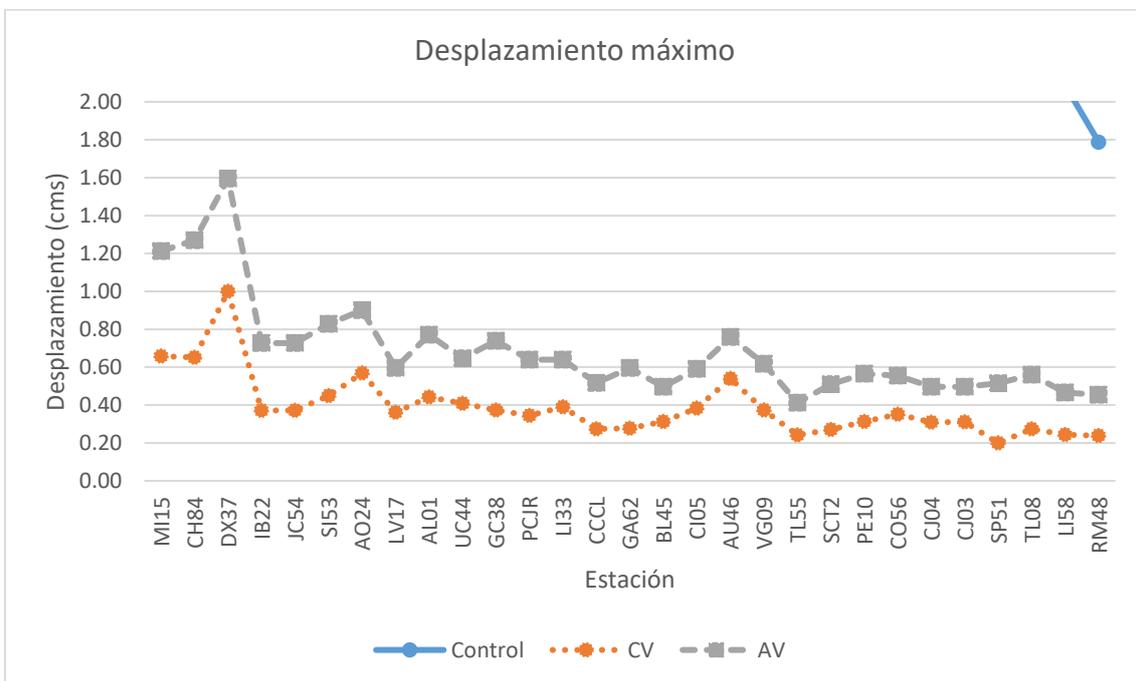


Figura 5.314. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.

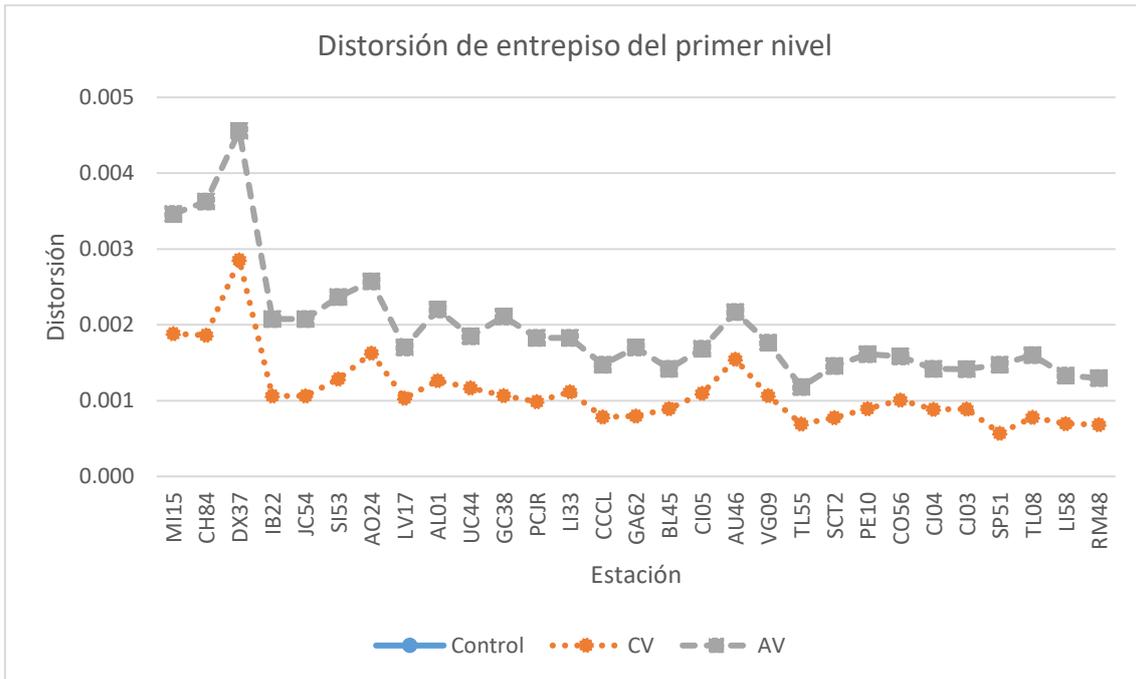


Figura 5.315. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos.

Tabla 5.40. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	18.79	0.054	1.00	0.003
Mínimo	1.79	0.005	0.20	0.001
Promedio	5.05	0.014	0.39	0.001
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	1.60	0.005	3.92	0.011
Mínimo	0.41	0.001	0.45	0.001
Promedio	0.69	0.002	1.39	0.004

La figura Figura 5.313 para el modelo numérico de control los primeros 24 registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5, por lo tanto, se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. Para el caso de este mismo edificio con contraviento se tiene que para todos los registros sísmicos su distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17. Para el caso de este mismo edificio con disipadores de energía de tipo viscoso de tiene que el valor máximo de distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17. En el caso del edificio con disipadores de energía tipo TADAS se tiene que el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17.

5.4.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.316 y Figura 5.317 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres. La tabla Tabla 5.41 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.316 y Figura 5.317.

Tabla 5.41. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	20.88	1.11	1.77	4.36
Mínimo	1.99	0.22	0.46	0.50
Promedio	5.61	0.43	0.76	1.55

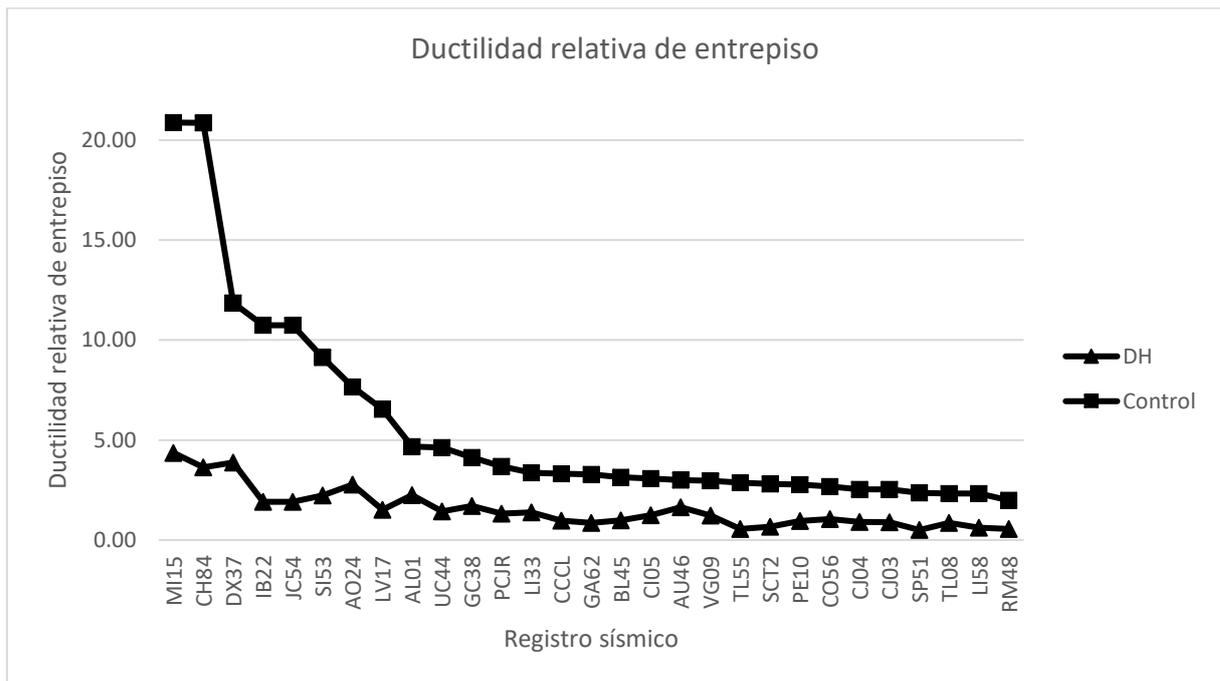


Figura 5.316. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

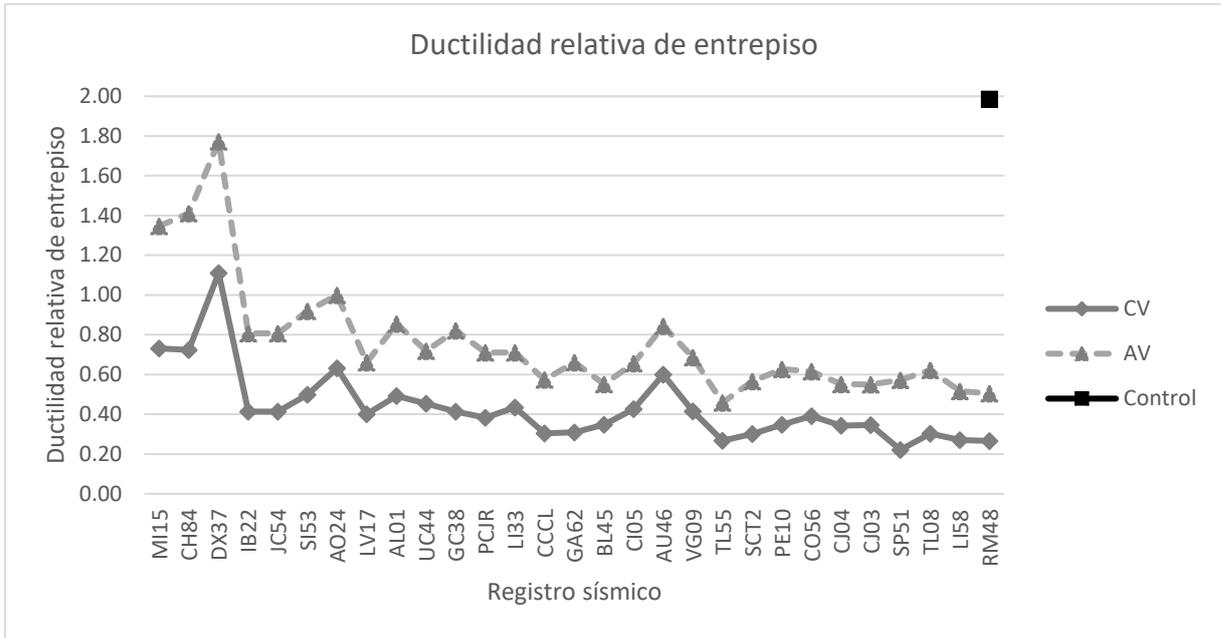


Figura 5.317. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

5.4.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.318 y Figura 5.319 muestran la rotación máxima de la columna de control del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos. La tabla Tabla 5.42 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.318 y Figura 5.319.

Tabla 5.42. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	5.80E-02	5.70E-04	9.53E-04	5.57E-04
Mínimo	3.55E-06	1.22E-07	6.22E-07	7.78E-07
Promedio	8.32E-03	4.08E-05	1.28E-04	4.58E-05

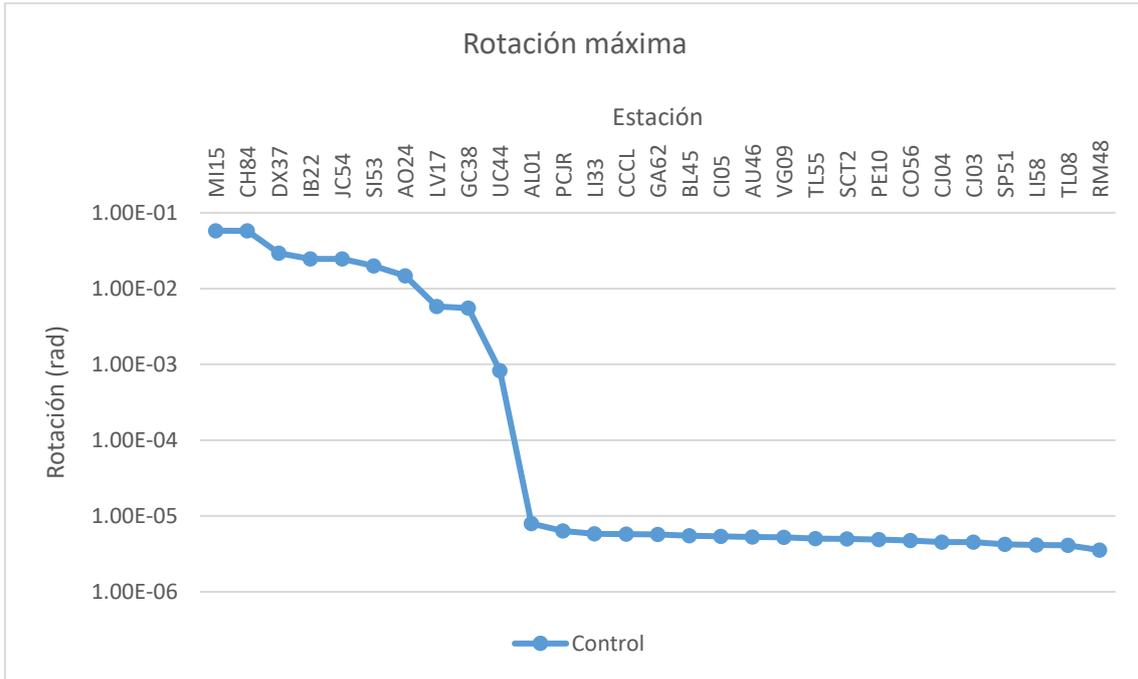


Figura 5.318. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

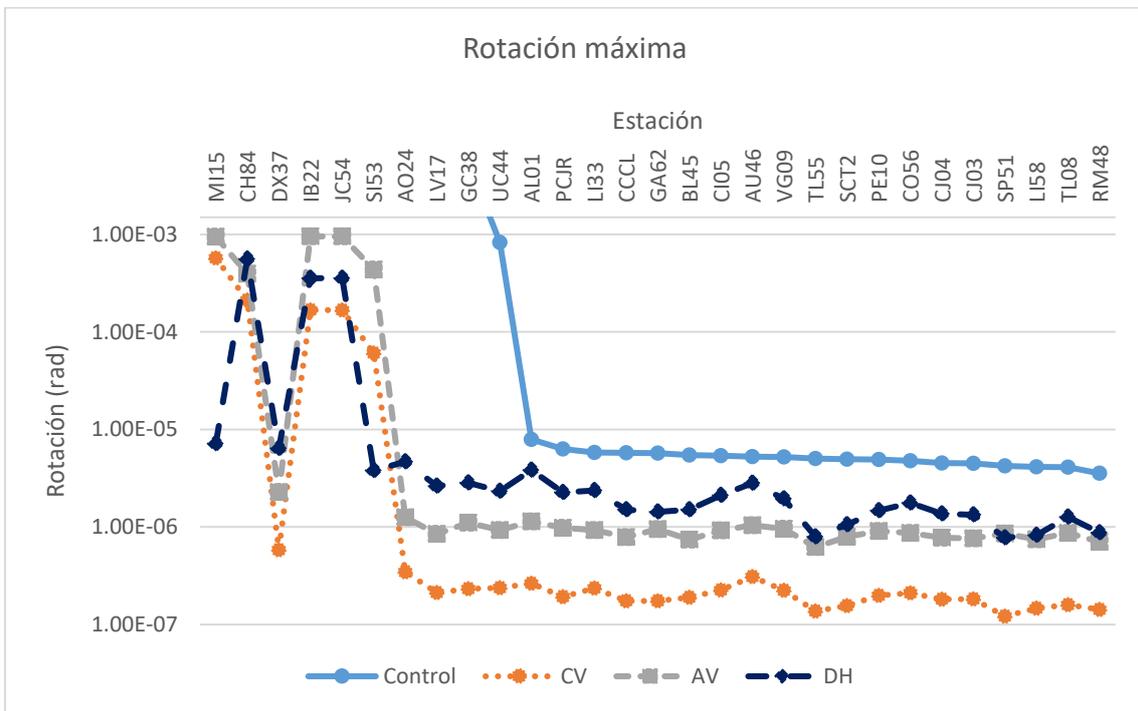


Figura 5.319. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

5.4.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.320 y Figura 5.321 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número tres La tabla Tabla 5.43 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.320 y Figura 5.321.

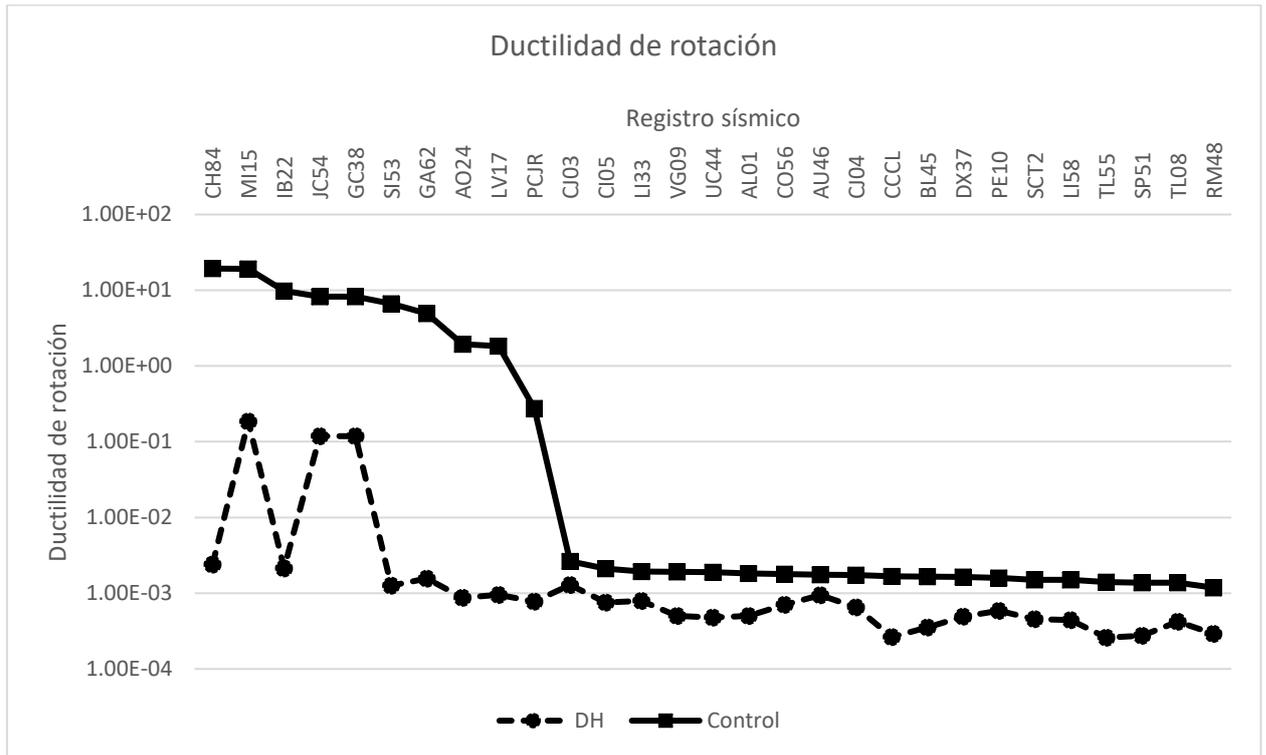


Figura 5.320. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.43. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	1.93E+01	2.28E-01	3.81E-01	1.86E-01
Mínimo	1.18E-03	4.87E-05	2.49E-04	2.59E-04
Promedio	2.77E+00	1.63E-02	5.12E-02	1.53E-02

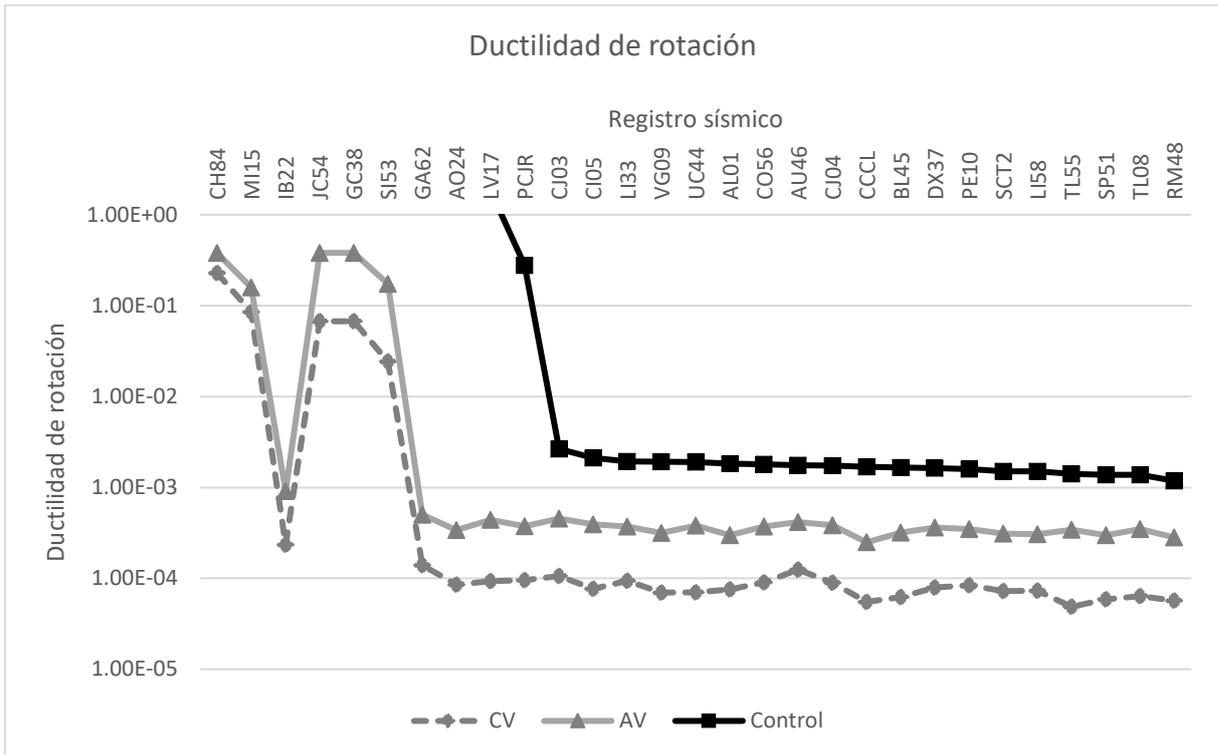


Figura 5.321. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

5.4.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

La figuras Figura 5.322 y Figura 5.323 muestran el cortante máximo en la columna de control del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos se tomó como columna de control para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.34 capítulo 4), para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.34 capítulo 4), la tabla Tabla 5.44 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figuras Figura 5.322 y Figura 5.323.

Tabla 5.44. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos

	Control	CV	AV	DH
Máximo	29.84	130.97	105.28	64.16
Mínimo	10.93	45.29	24.03	17.50
Promedio	18.88	67.14	42.70	32.20

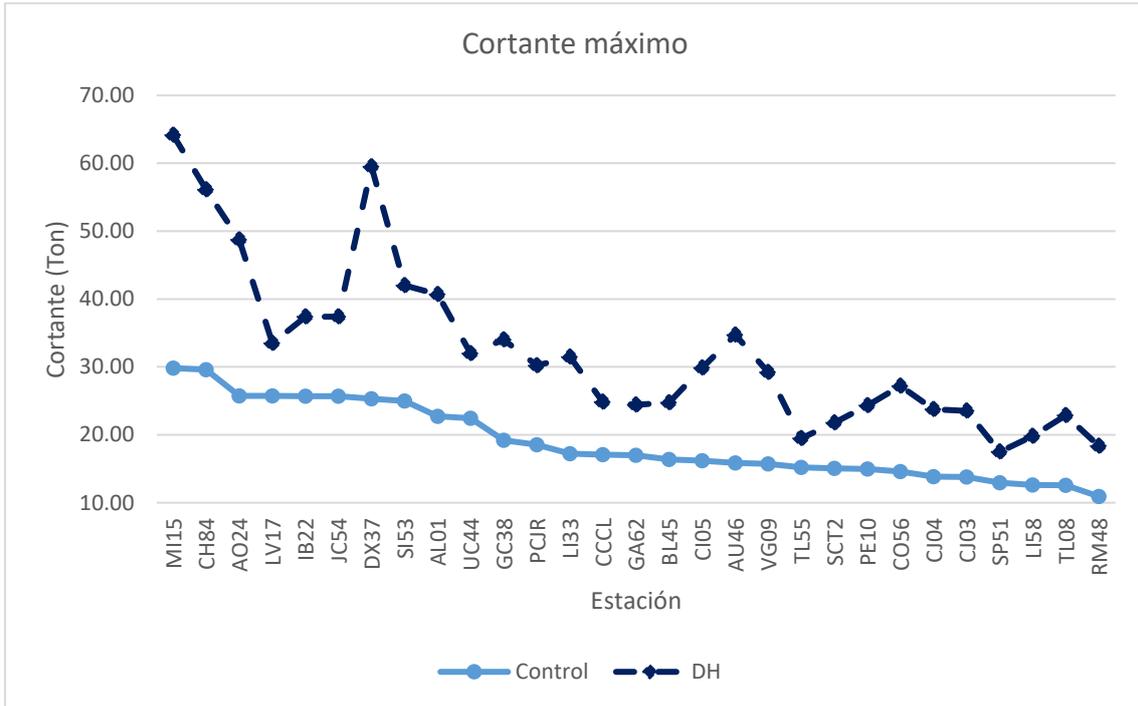


Figura 5.322. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

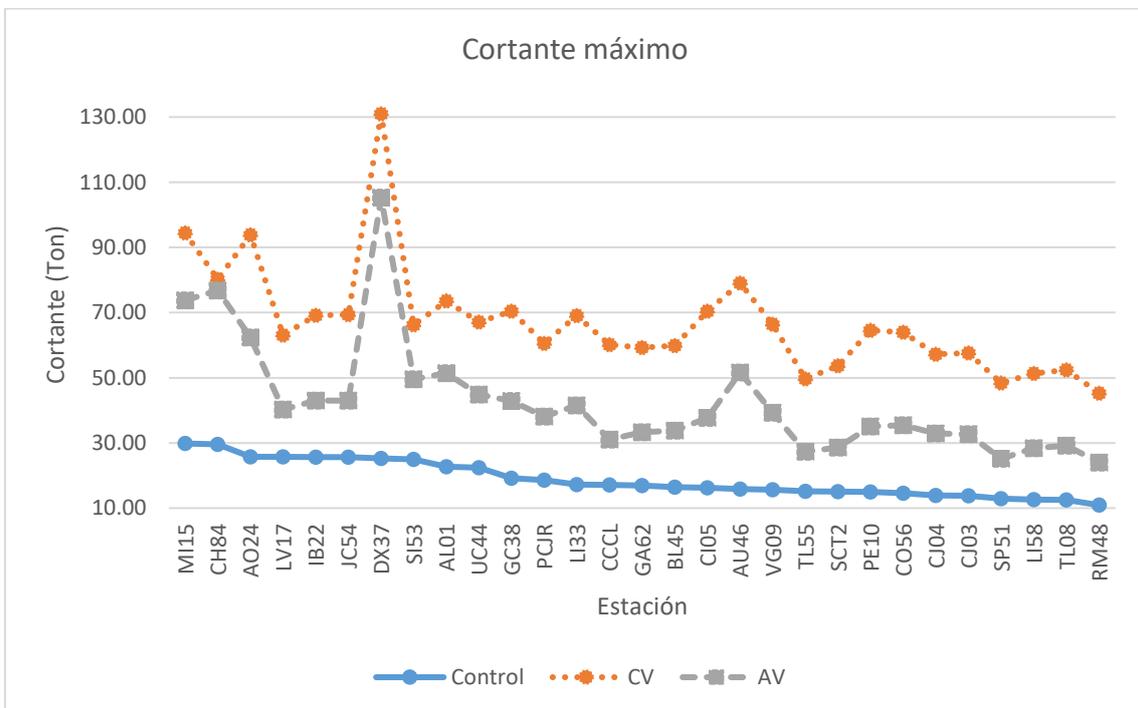


Figura 5.323. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

La figura Figura 5.324 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control la tabla Tabla 5.45 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.324.

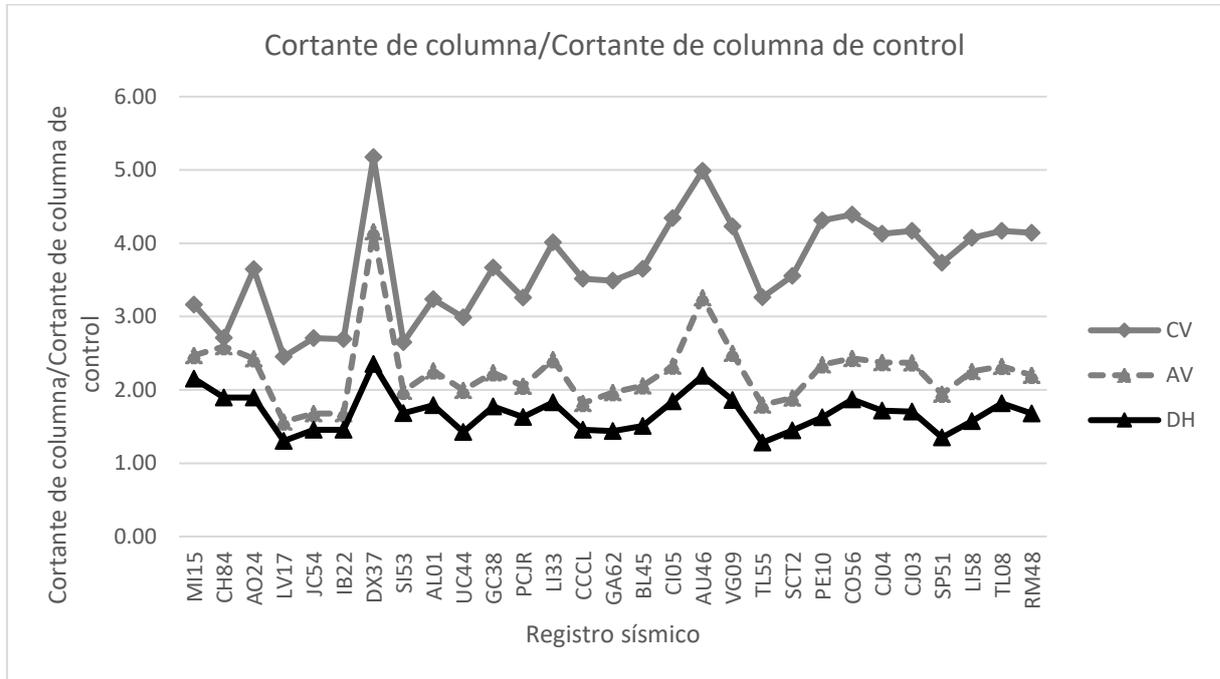


Figura 5.324. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.45. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH
Máximo	5.18	4.16	2.35
Mínimo	2.45	1.57	1.28
Promedio	3.67	2.25	1.69

5.4.1.6 Cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.325 y Figura 5.326 muestran el cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.46 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.325 y Figura 5.326.

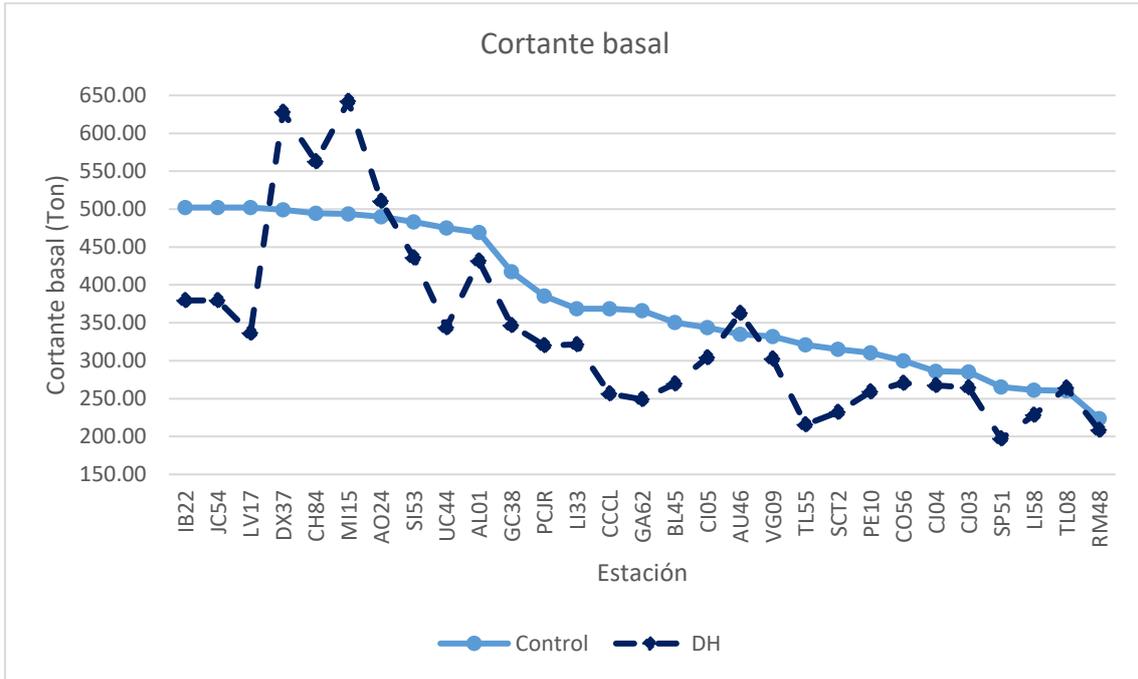


Figura 5.325. Cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

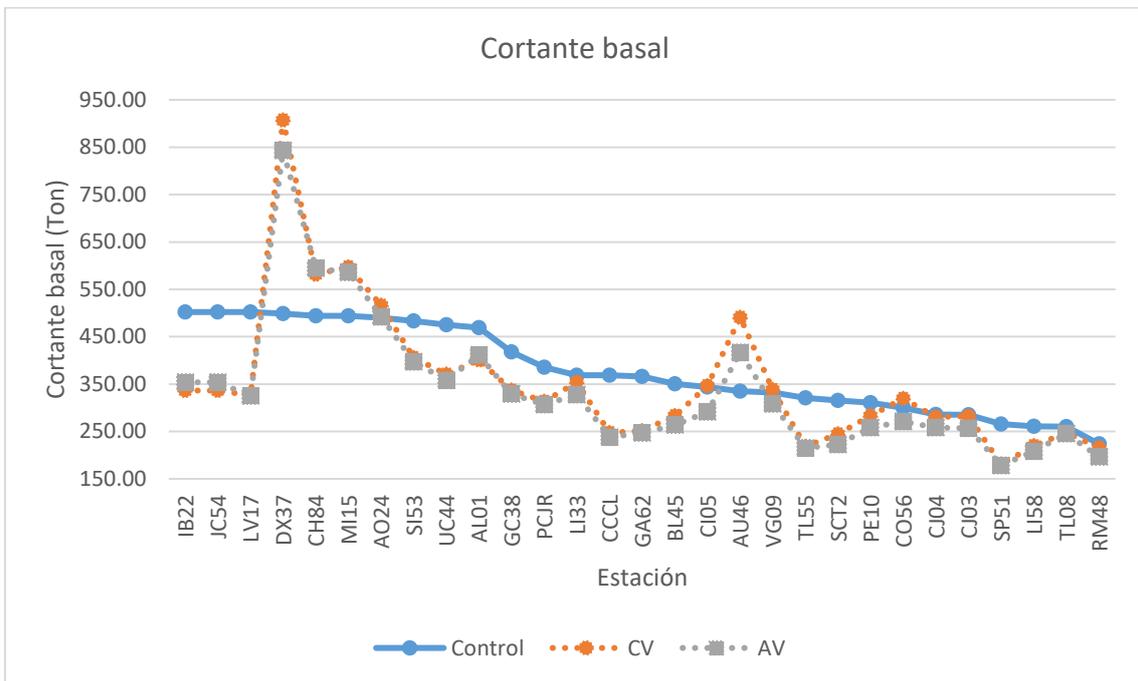


Figura 5.326. Cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.



Tabla 5.46. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	502.08	907.20	842.88	642.20
Mínimo	223.62	180.53	178.32	197.08
Promedio	379.50	352.81	336.15	337.62

5.4.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el que esta ubicado entre los ejes uno, C, y D (figura 4.34, capítulo 4). La figura Figura 5.327 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla Tabla 5.47 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.327.



Figura 5.327. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.47. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	14.62
Mínimo	0.92
Promedio	4.55

5.4.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos

5.4.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.328 a Figura 5.331 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

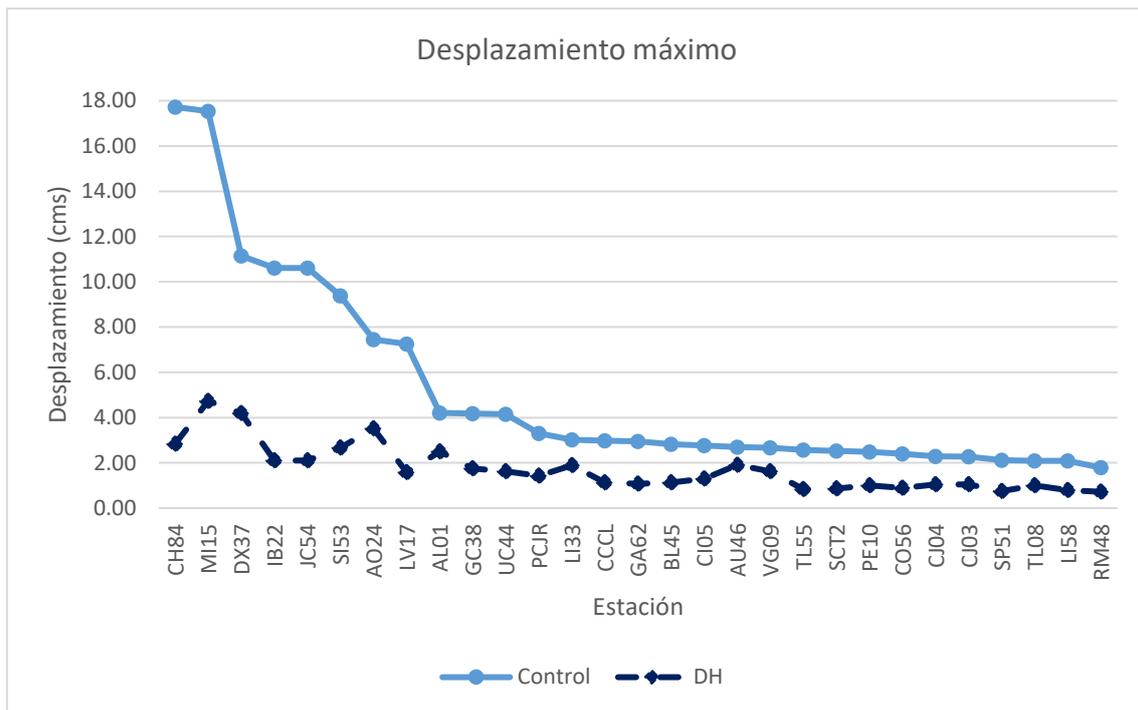


Figura 5.328. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

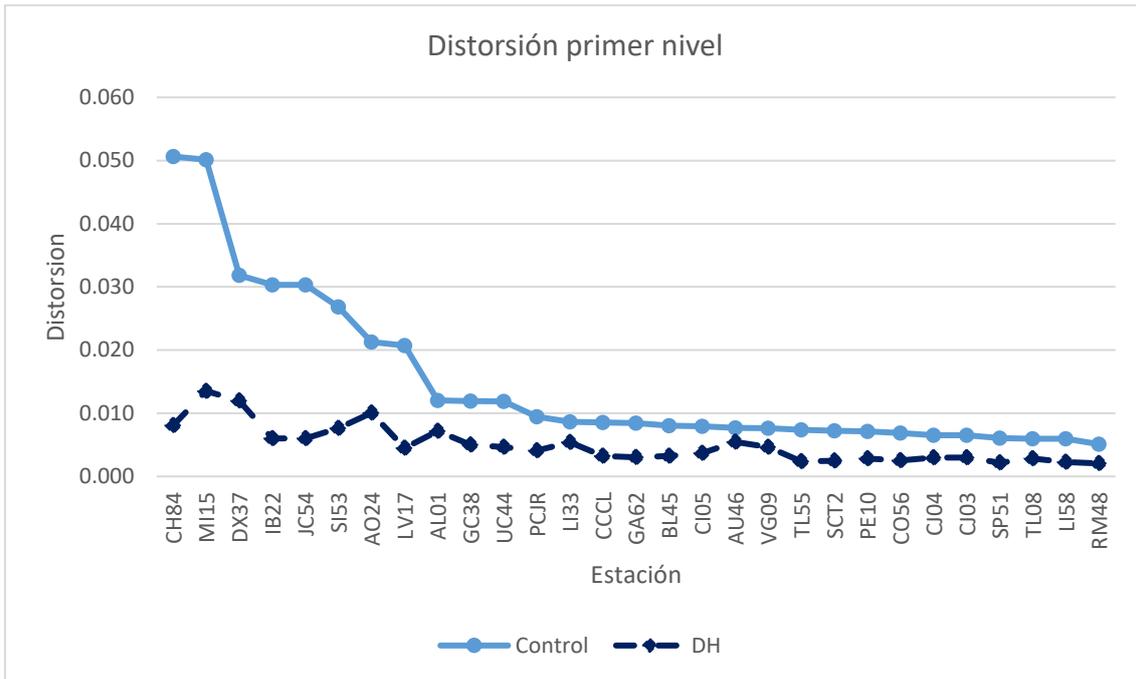


Figura 5.329. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

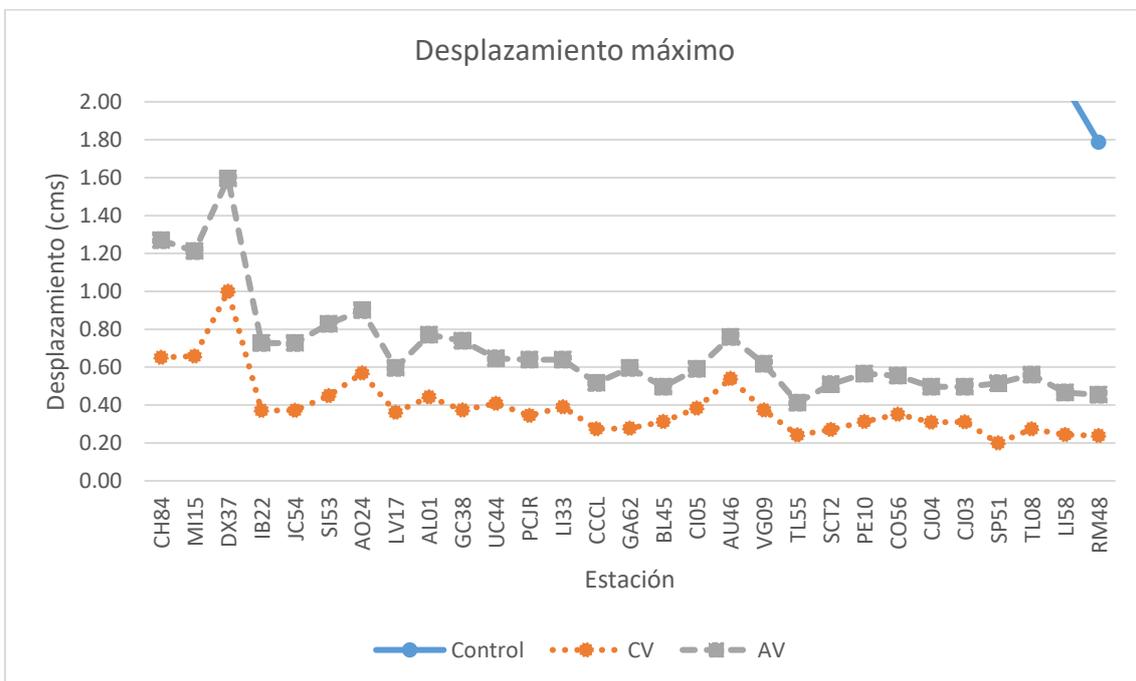


Figura 5.330. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

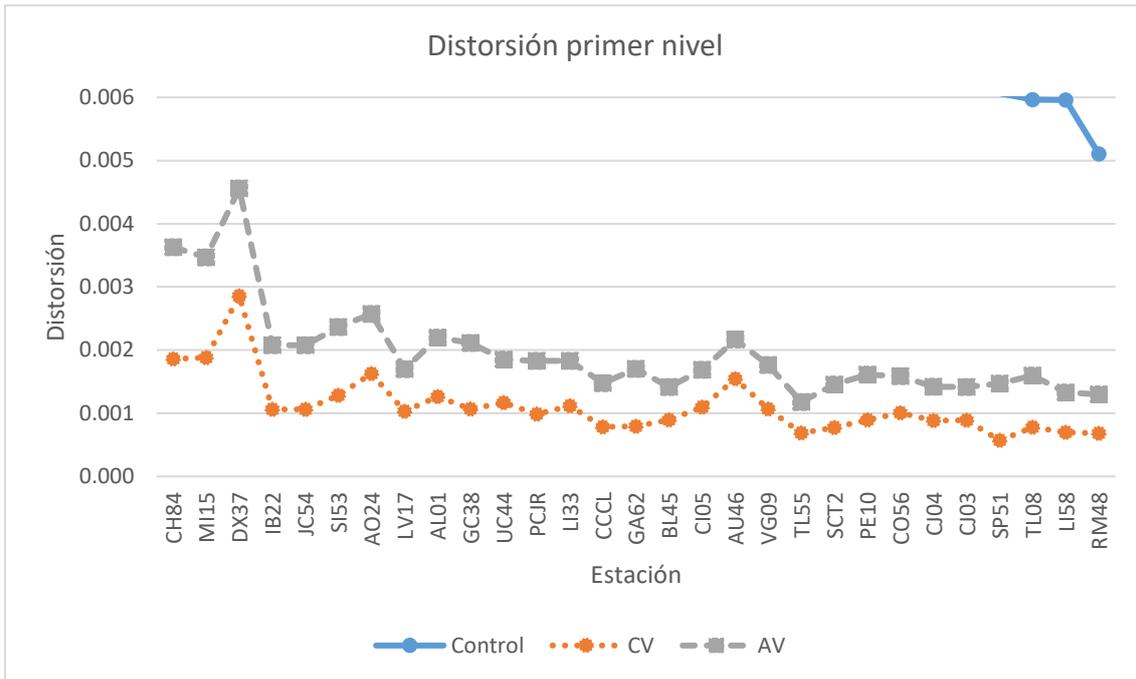


Figura 5.331. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

Tabla 5.48. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	17.72	0.051	1.00	0.003
Mínimo	1.79	0.005	0.20	0.001
Promedio	5.18	0.015	0.39	0.001
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	1.60	0.005	4.73	0.014
Mínimo	0.41	0.001	0.72	0.002
Promedio	0.69	0.002	1.73	0.005

se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos ya que los primeros 28 registros sísmicos se sobrepasa la distorsión máxima permitida indicada en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5. Los resultados de distorsión de entrepiso del modelo número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos con contravientos y dispositivos son iguales a la sección 5.4.1.1.

5.4.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.332 y Figura 5.333 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos. La tabla Tabla 5.59 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.332 y Figura 5.333.

Tabla 5.122. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	19.69	1.11	1.77	5.26
Mínimo	1.98	0.22	0.46	0.80
Promedio	5.75	0.43	0.76	1.92

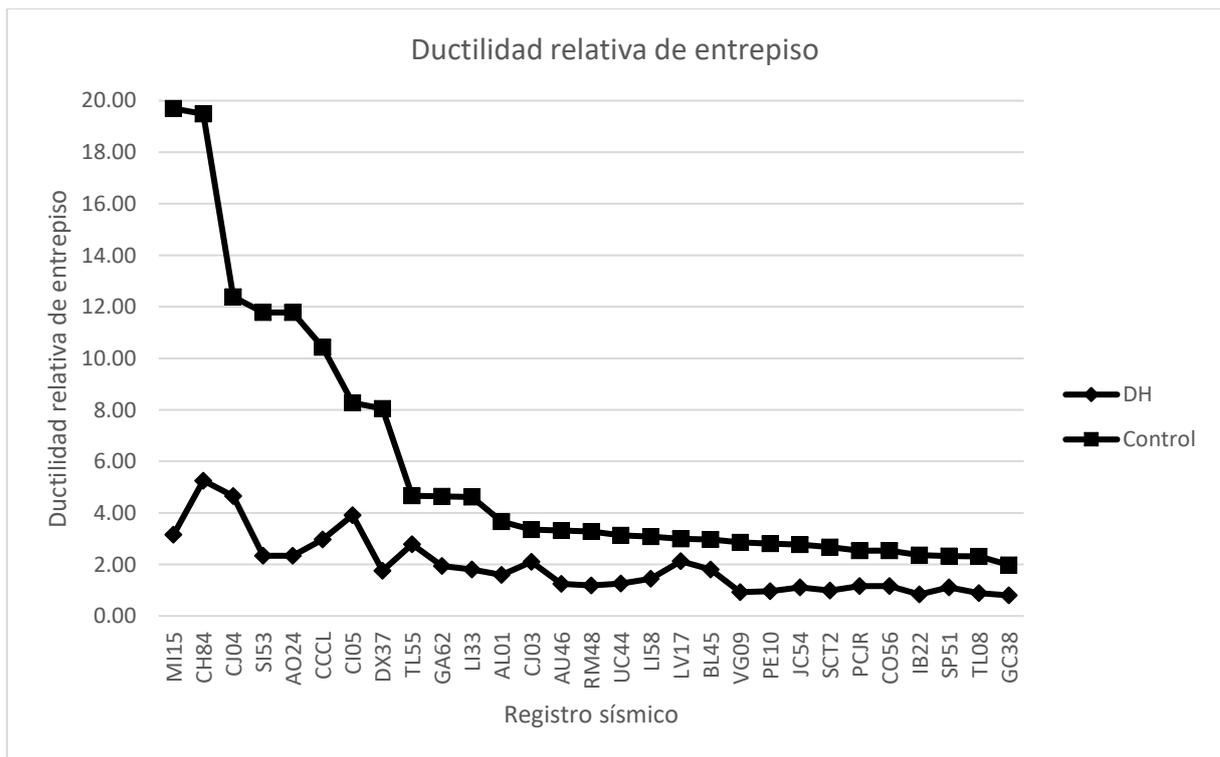


Figura 5.332. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

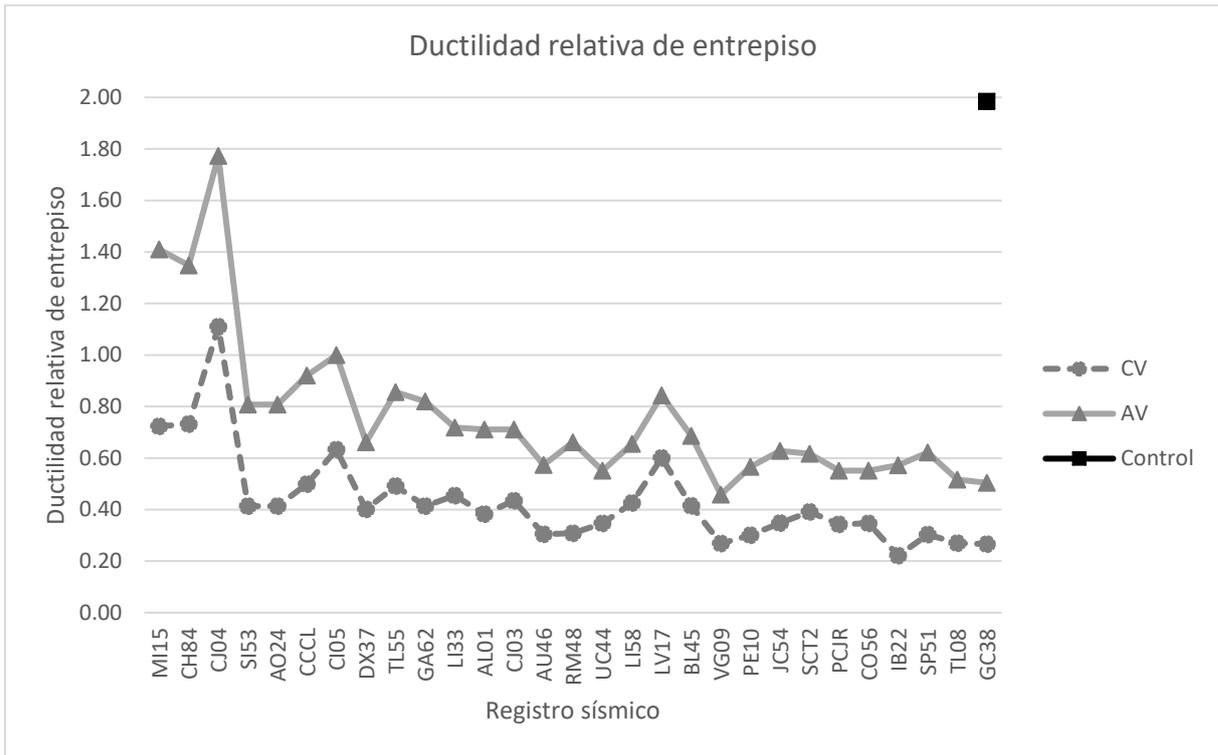


Figura 5.333. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

5.4.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.334 y Figura 5.335 muestran la rotación máxima de la columna de control obtenida del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos. La tabla Tabla 5.123 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.334 y Figura 5.335.

Tabla 5.123. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	5.86E-02	7.22E-04	1.72E-03	1.07E-03
Mínimo	3.55E-06	1.22E-07	6.22E-07	1.36E-06
Promedio	1.00E-02	3.79E-05	1.57E-04	9.08E-05

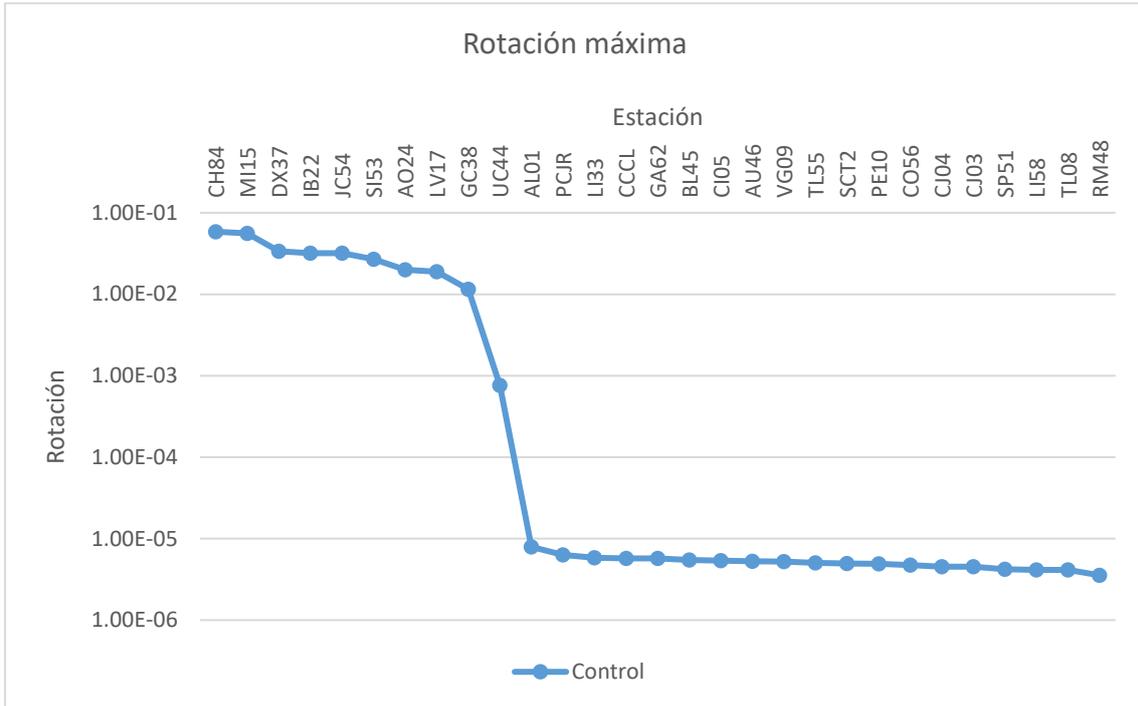


Figura 5.334. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

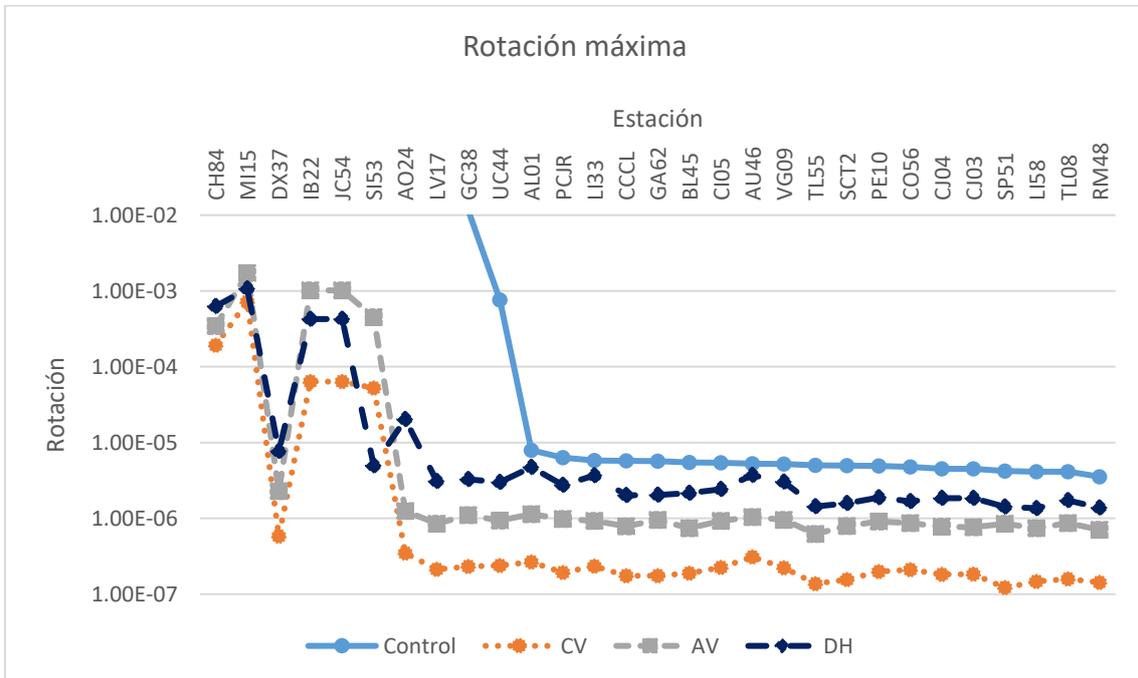


Figura 5.335. Rotación máxima del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

5.4.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.336 y Figura 5.337 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos. La tabla Tabla 5.124 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.336 y Figura 5.337.

Tabla 5.124. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	1.95E+01	2.41E-01	5.72E-01	3.56E-01
Mínimo	1.18E-03	4.06E-05	2.07E-04	4.53E-04
Promedio	3.34E+00	1.26E-02	5.25E-02	3.03E-02

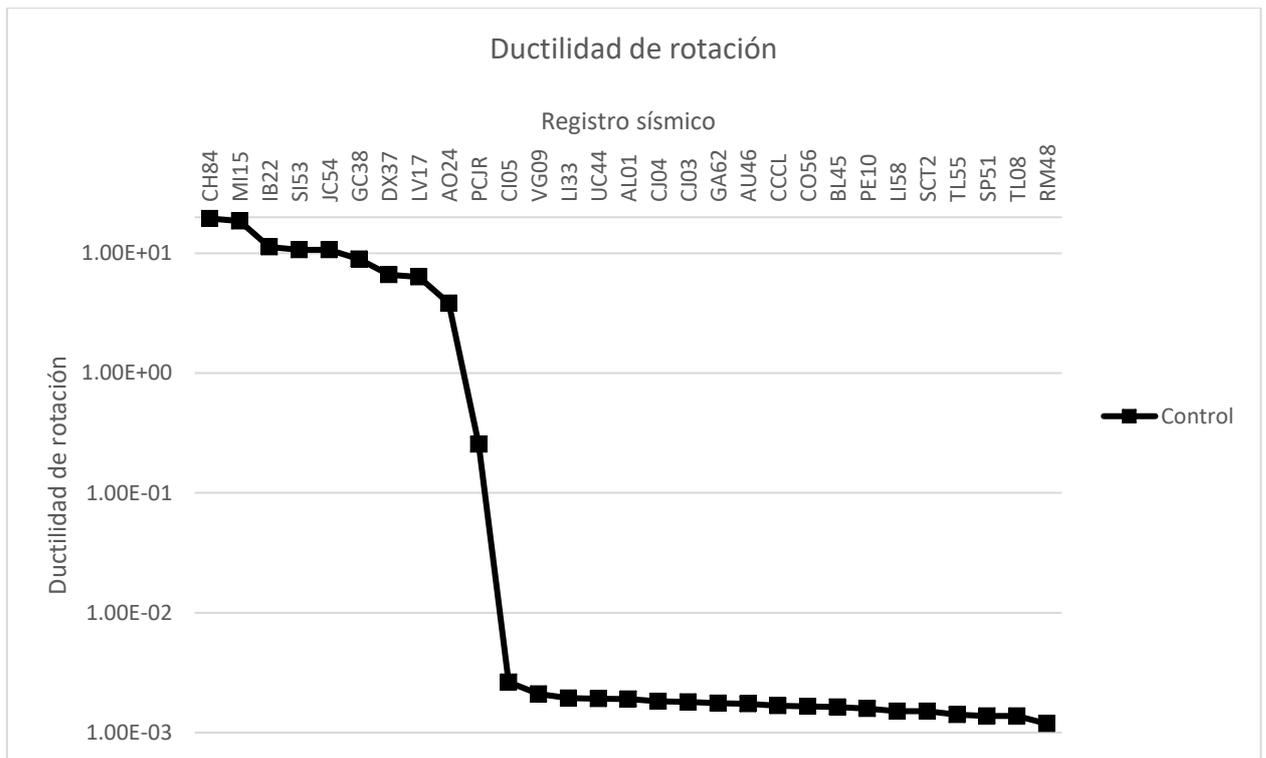


Figura 5.336. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

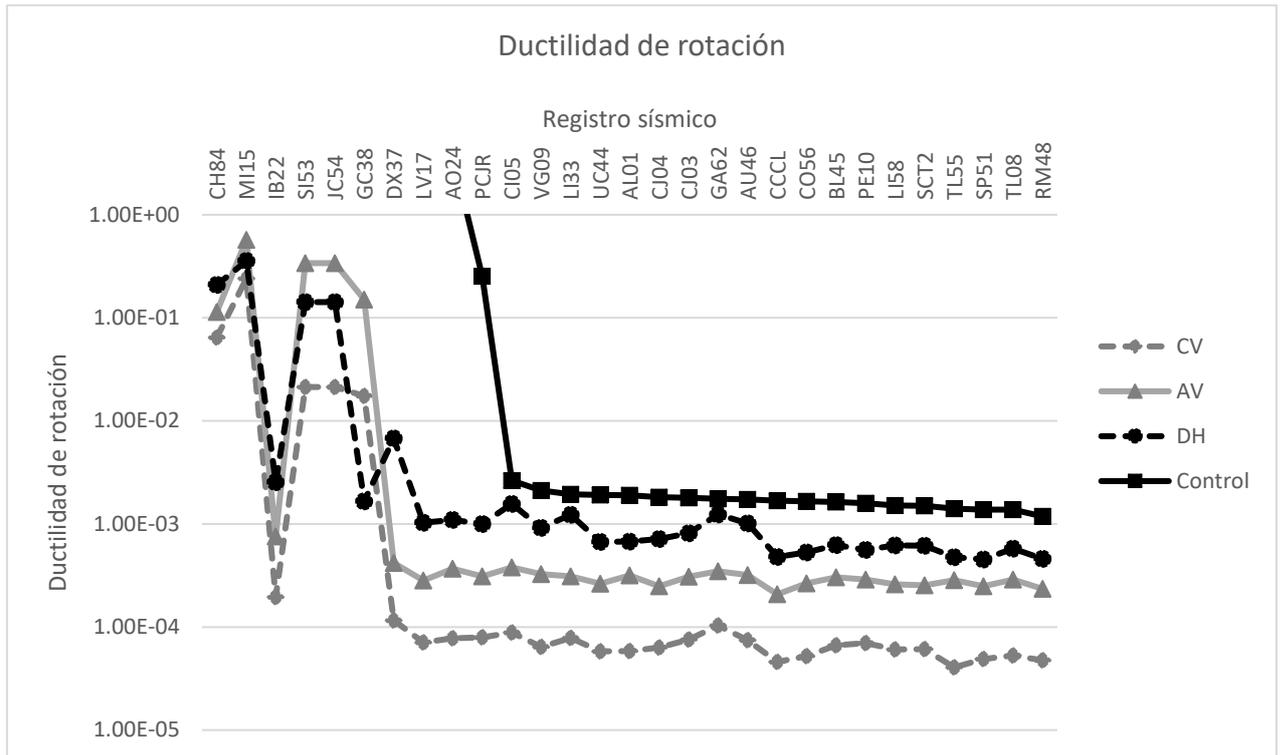


Figura 5.337. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

5.4.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.338 y Figura 5.339 muestran el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos se tomó como columna de control para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.34 capítulo 4), para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.34 capítulo 4), la tabla Tabla 5.125 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figuras Figura 5.338 y Figura 5.339.

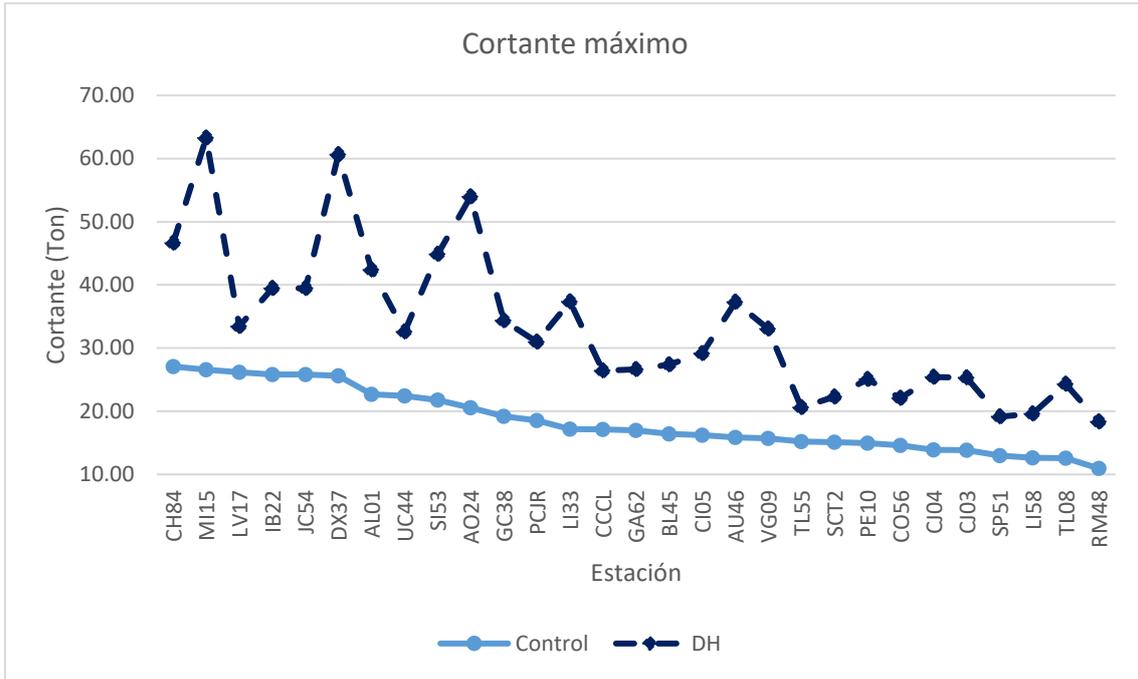


Figura 5.338. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

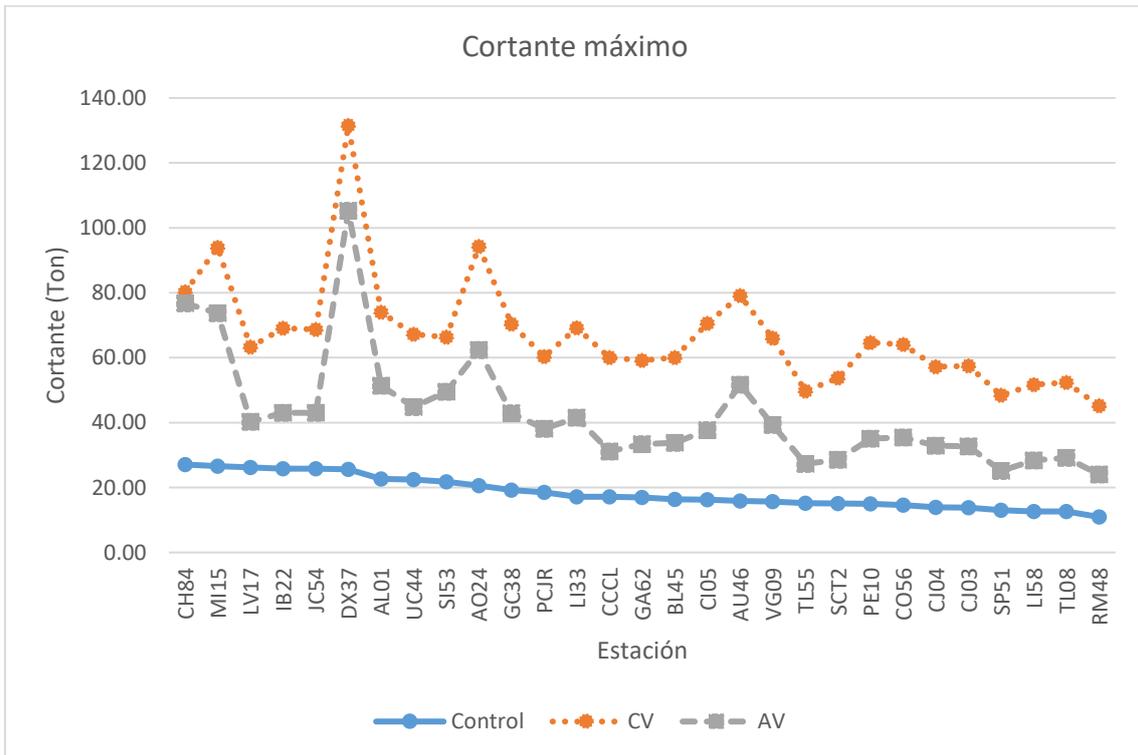


Figura 5.339. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.125. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	27.08	131.51	105.28	63.25
Mínimo	10.94	45.14	24.03	18.33
Promedio	18.43	67.17	42.70	33.15

La figura Figura 5.340 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control del edificio número tres con columnas no confinadas se muestra la tabla Tabla 5.126 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.340.

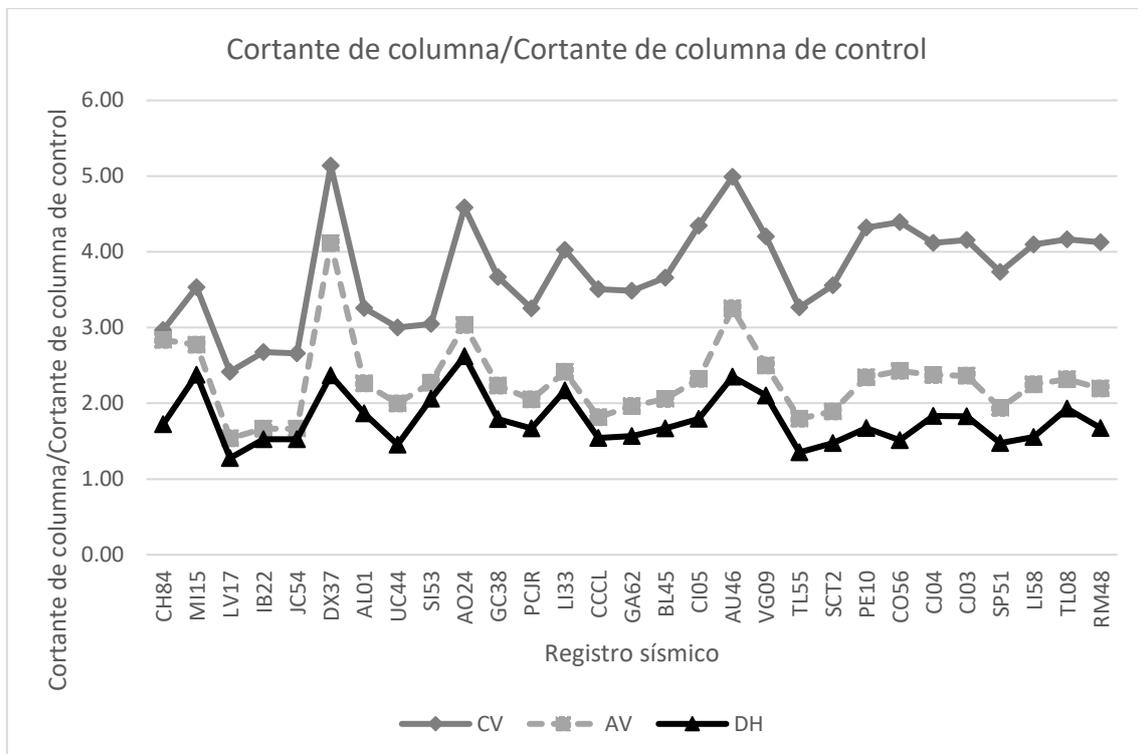


Figura 5.340. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.126. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH
Máximo	5.14	4.11	2.62
Mínimo	2.42	1.54	1.28
Promedio	3.74	2.30	1.79

5.4.2.6 Cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.341 y Figura 5.342 muestran el cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.127 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.341 y Figura 5.342.

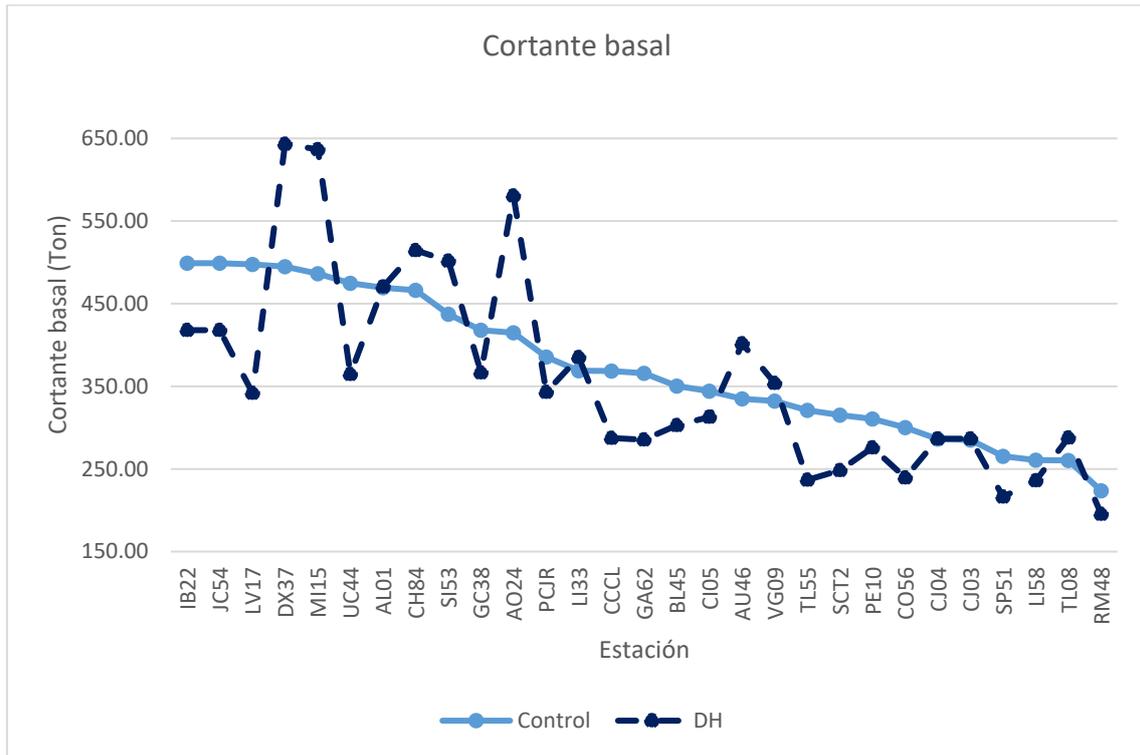


Figura 5.341. Cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

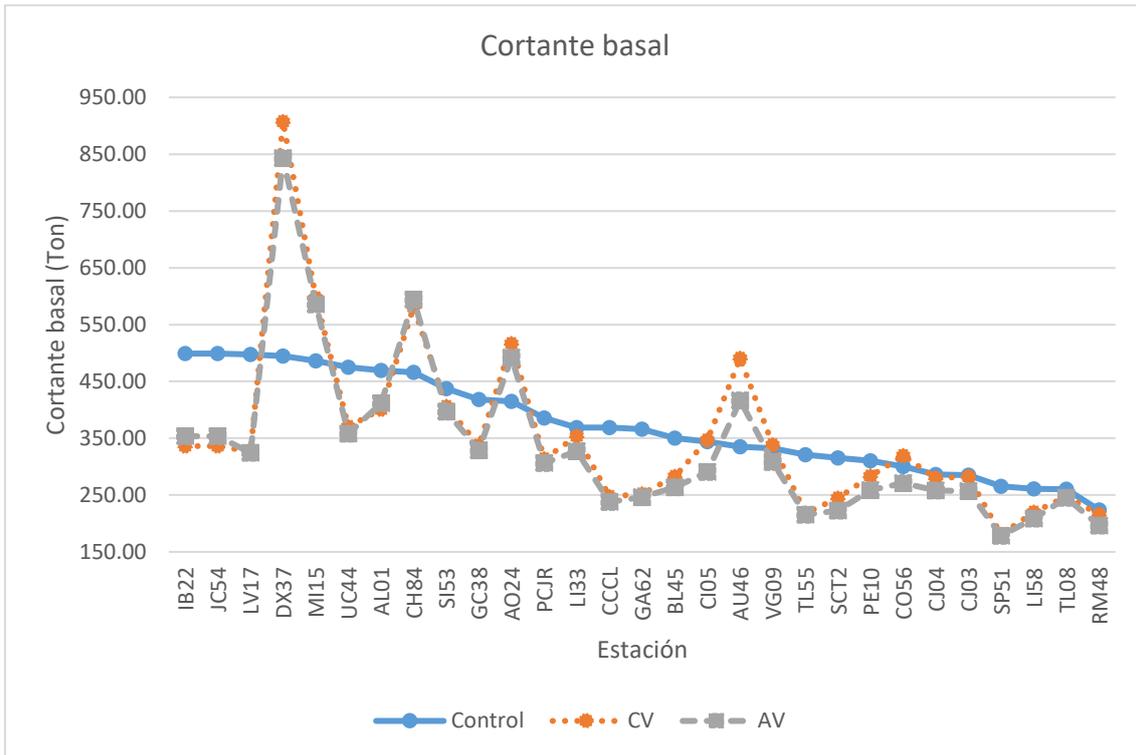


Figura 5.342. Cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.127. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	499.03	907.19	842.86	643.29
Mínimo	223.60	180.53	178.32	195.53
Promedio	373.64	352.81	336.14	359.93

5.4.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el indicado en la sección 5.4.1.7. La figura Figura 5.343 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla Tabla 5.128 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.343.

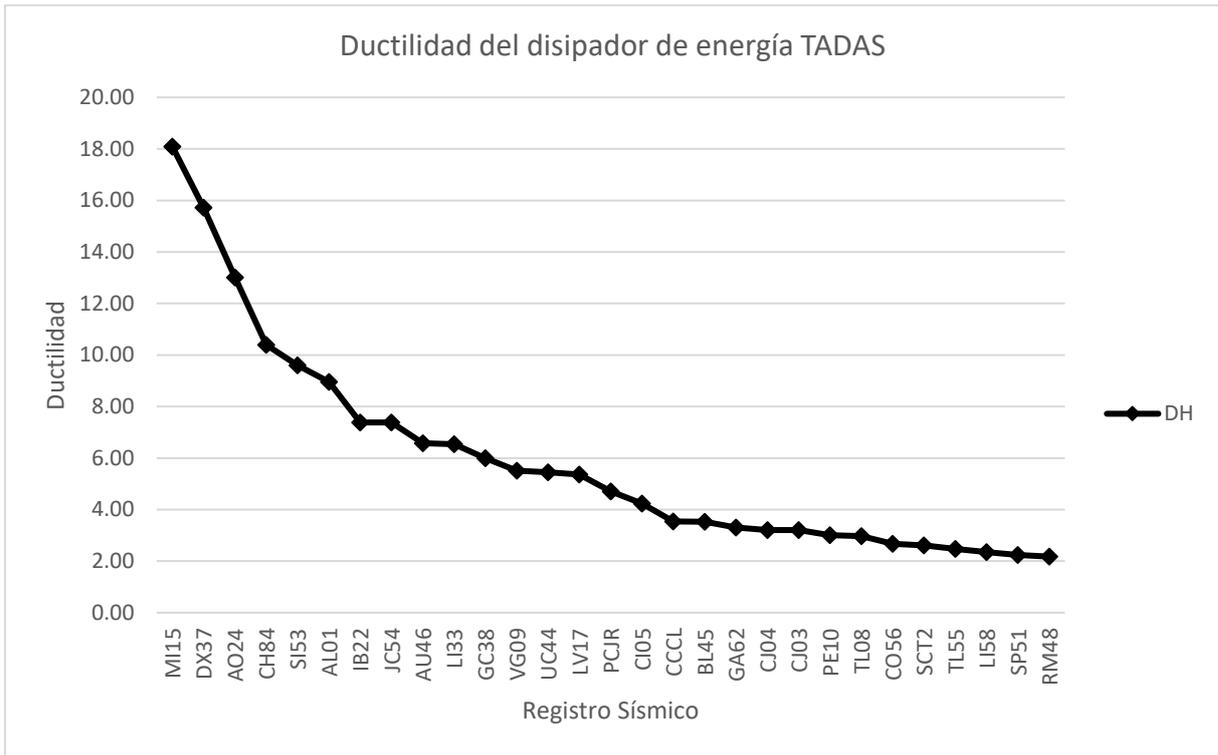


Figura 5.343. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.128. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

Máximo	18.10
Mínimo	2.18
Promedio	5.94

5.5.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

5.5.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se muestran a continuación el nodo de control se encuentra en la parte superior de la columna de control que se ubica en el eje E-1 (figura 4.42, capítulo 4). Las figuras Figura 5.344 y Figura 5.345 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control y del modelo numérico con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS (DH).

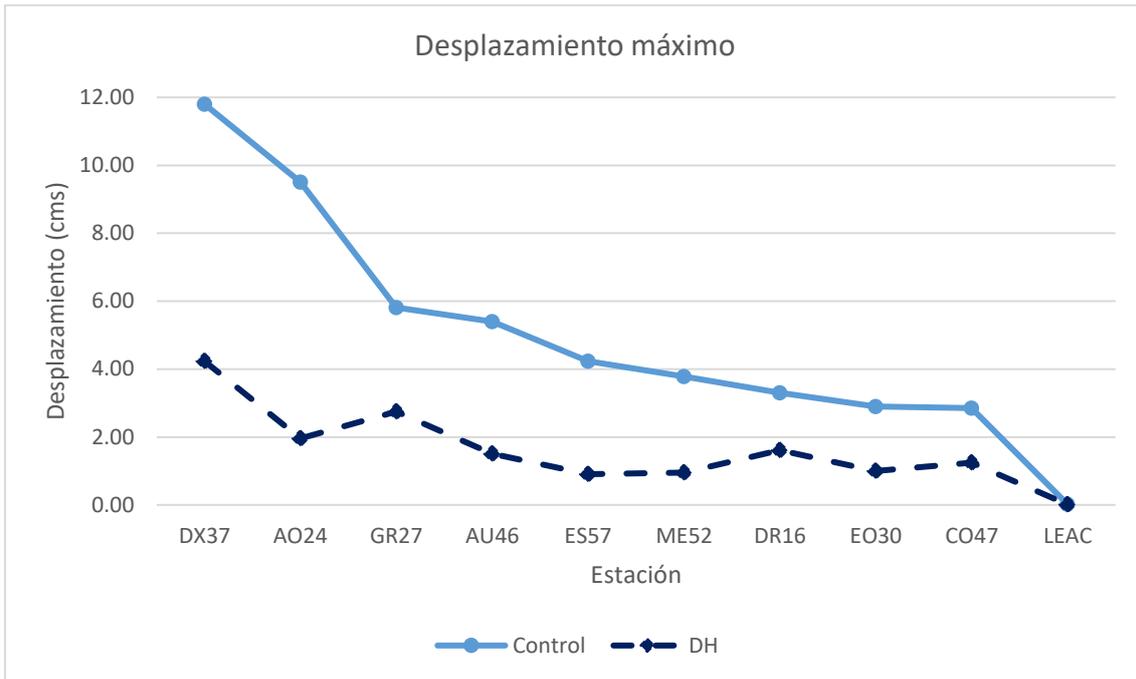


Figura 5.344. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.

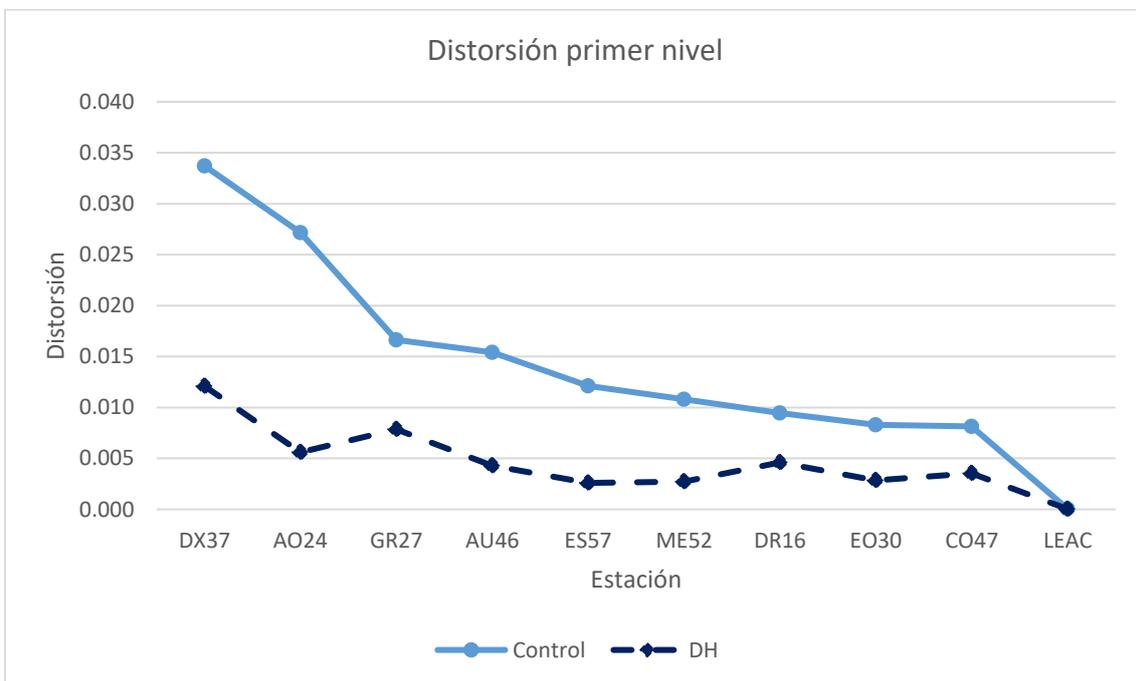


Figura 5.345. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.

Las figuras Figura 5.346 y Figura 5.347 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio

número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control, modelo numérico con contravientos (CV), y el modelo numérico de dispositivos disipadores de energía tipo comportamiento viscoso (AV).

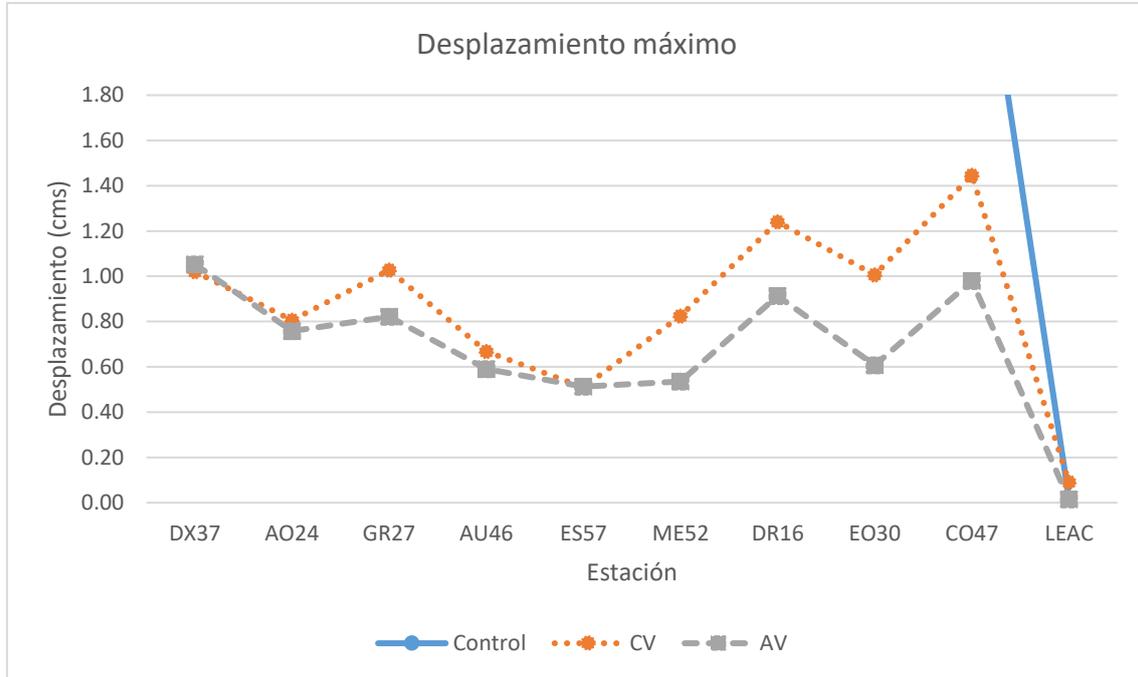


Figura 5.346. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.

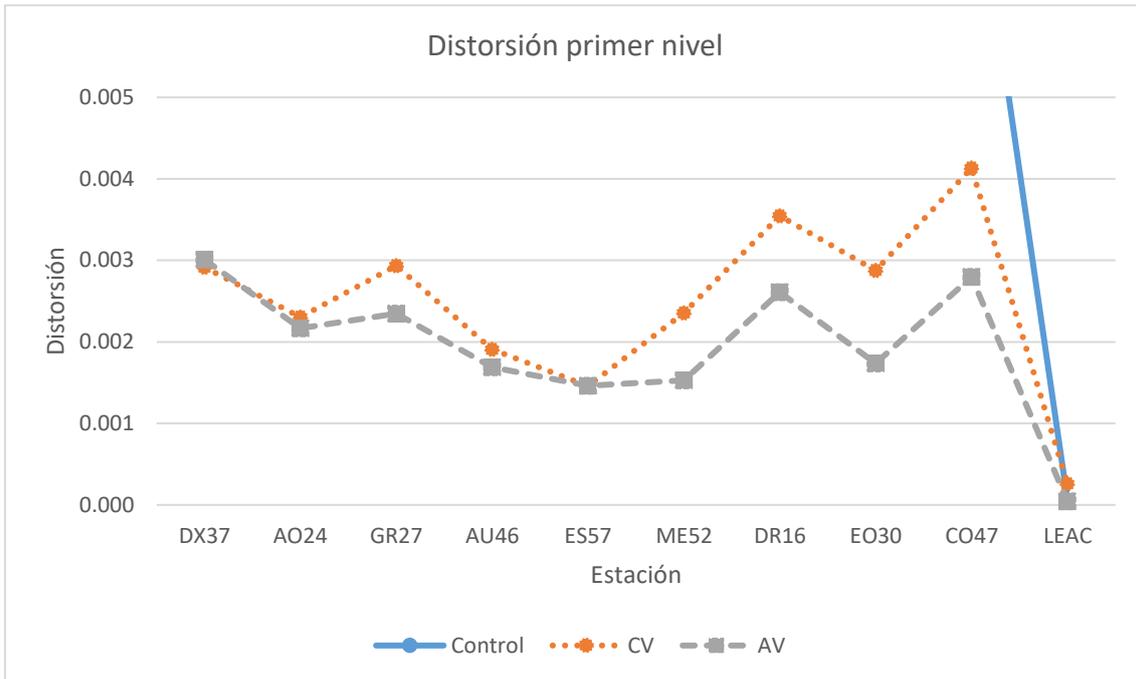


Figura 5.347. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos.

Tabla 5.129. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	11.80	0.034	1.61	0.005
Mínimo	0.02	5.85E-05	0.23	0.001
Promedio	4.96	0.014	0.63	0.002
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	1.05	0.003	4.23	0.012
Mínimo	0.02	4.33E-05	0.01	3.80E-05
Promedio	0.68	0.002	1.62	0.005

La figura Figura 5.345 para el modelo numérico de control los primeros nueve registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM por lo tanto, se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. Se muestra en la tabla Tabla 5.129 para el caso de este mismo edificio con contraviento se tiene que para todos los registros sísmicos su distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17. Para el caso de este mismo edificio con disipadores de energía de tipo viscoso de tiene que el valor máximo de distorsión de entrepiso del primer nivel es igual al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17. En el caso del edificio con disipadores de energía tipo TADAS se tiene que el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es menor al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17.



5.5.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.348 y Figura 5.349 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro anteriormente descrito. La tabla Tabla 5.130 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.348 y Figura 5.349.

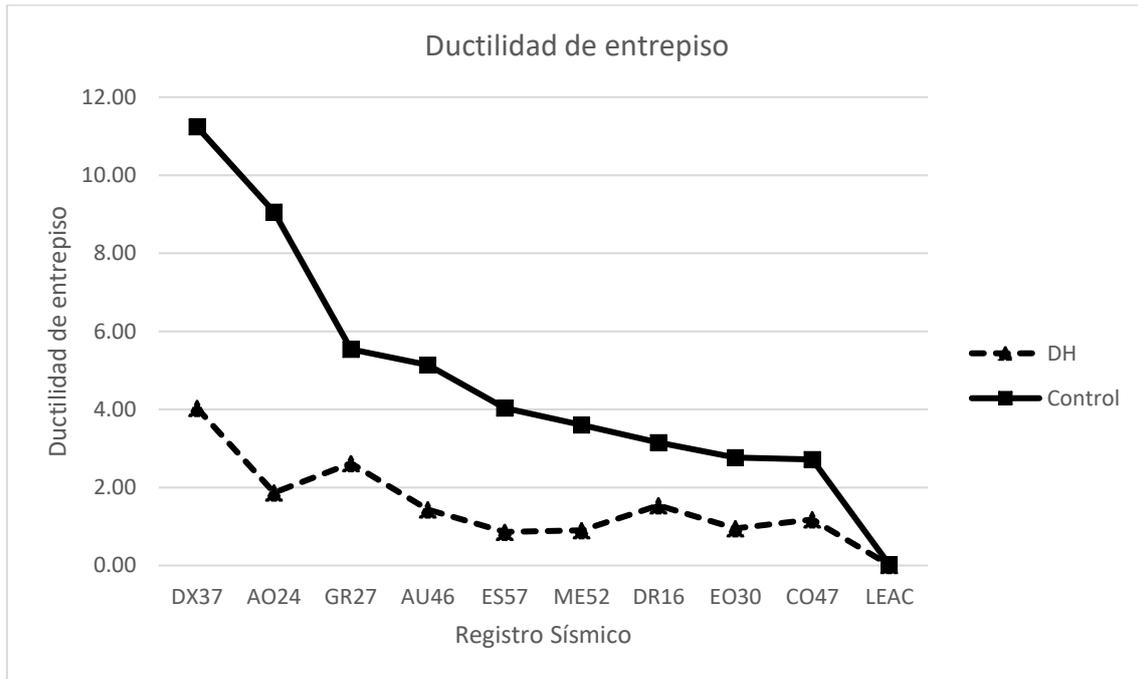


Figura 5.348. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.130. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	13.41	1.83	1.20	4.81
Mínimo	0.02	0.26	0.02	0.02
Promedio	5.64	0.72	0.77	1.84

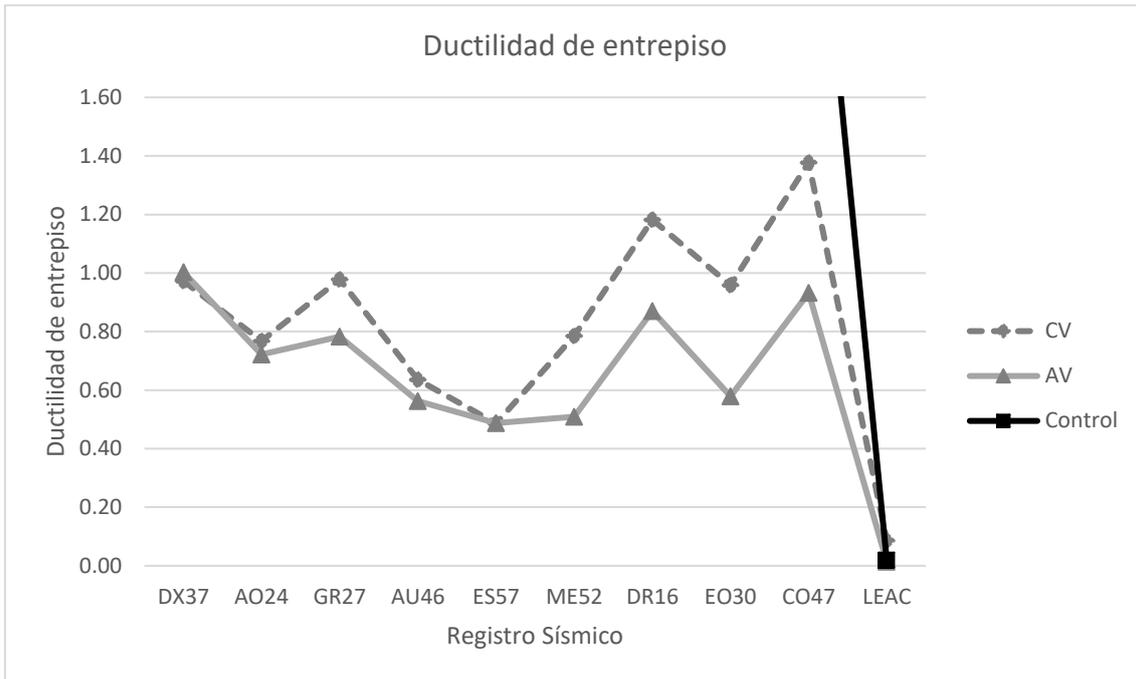


Figura 5.349. Ductilidad relativa de entresiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

5.5.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.350 y Figura 5.351 muestran la rotación máxima de la columna de control indicada en la sección 5.5.1.1. La tabla Tabla 5.131 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.350 y Figura 5.351.

Tabla 5.131. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	3.02E-02	9.84E-04	1.62E-03	9.16E-03
Mínimo	4.37E-08	1.89E-07	3.25E-08	5.71E-08
Promedio	8.46E-03	1.55E-04	3.37E-04	1.25E-03

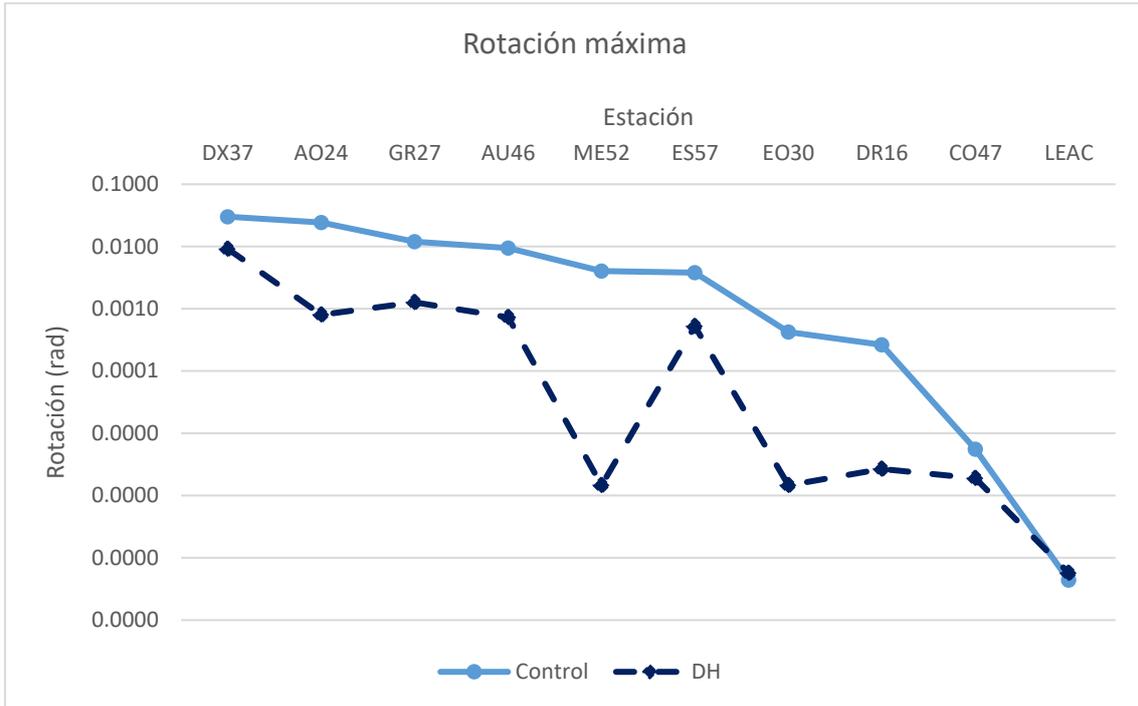


Figura 5.350. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

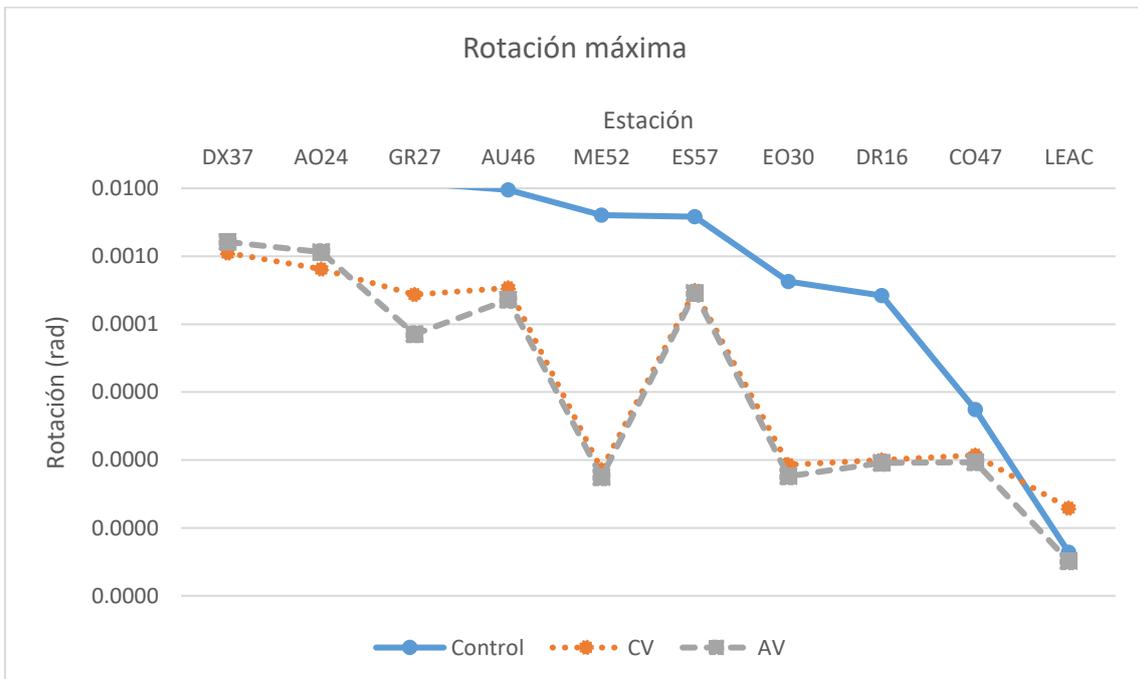


Figura 5.351. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

5.5.1.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.352 y Figura 5.353 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro. La tabla Tabla 5.59 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.352 y Figura 5.353.

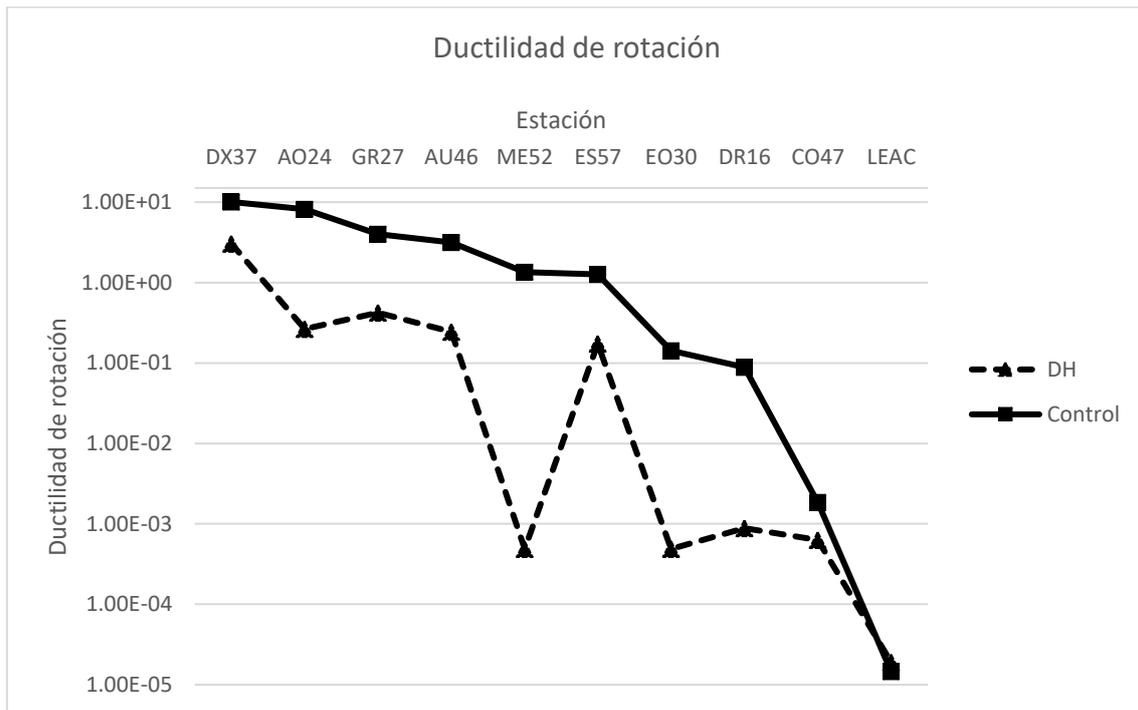


Figura 5.352. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número tres con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.59. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	1.01E+01	3.28E-01	5.41E-01	3.05E+00
Mínimo	1.46E-05	6.31E-05	1.08E-05	1.90E-05
Promedio	2.82E+00	5.16E-02	1.12E-01	4.16E-01

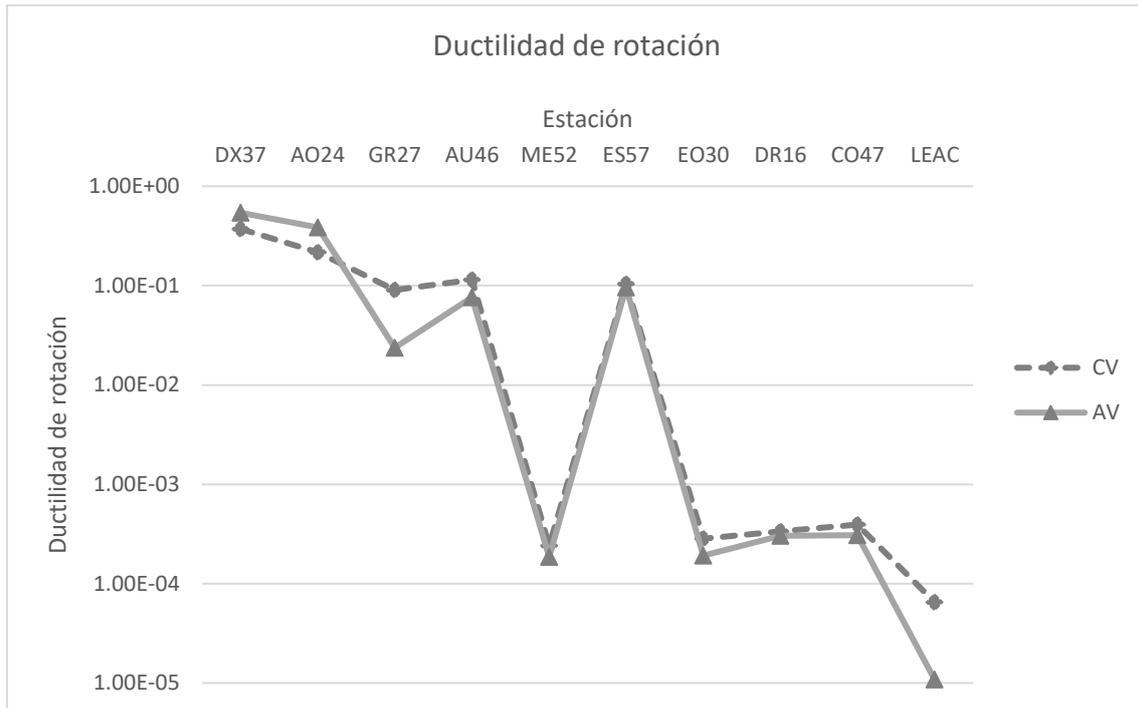


Figura 5.353. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

5.5.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.354 y Figura 5.355 muestran el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos se tomó como columna de control para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso la columna ubicada en el eje C-1 (figura 4.42 capítulo 4), para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.42 capítulo 4), la tabla Tabla 5.133 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figuras Figura 5.354 y Figura 5.355.

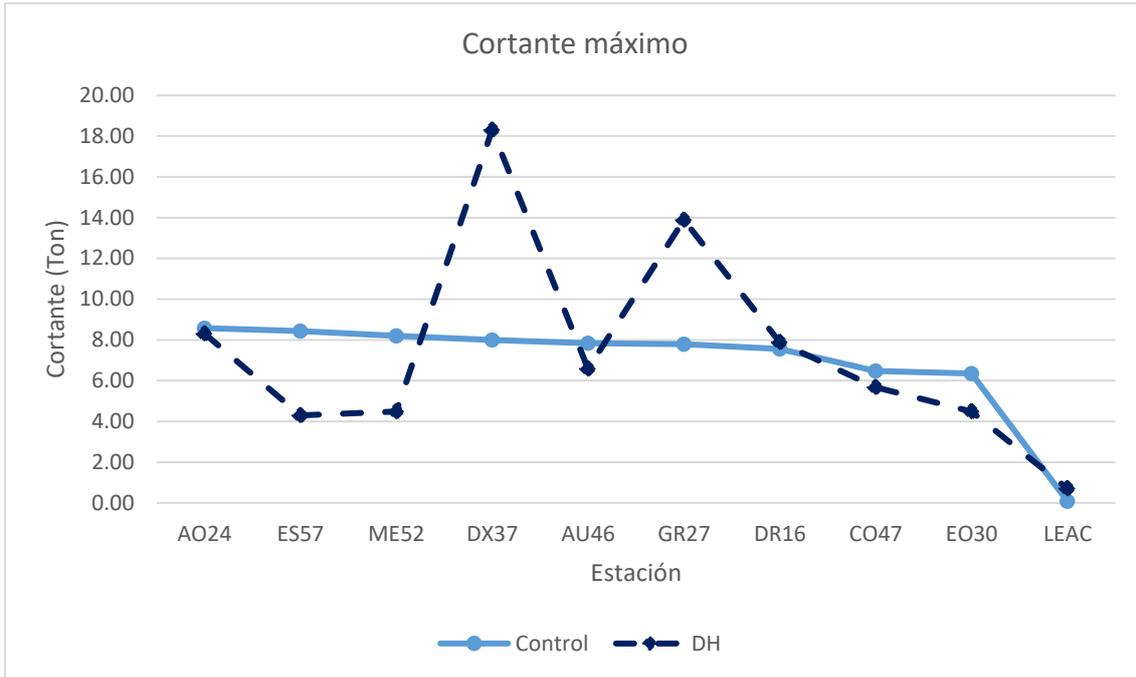


Figura 5.354. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.133. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	8.58	200.67	55.68	18.31
Mínimo	0.08	31.26	0.58	0.71
Promedio	6.93	70.63	37.26	7.46

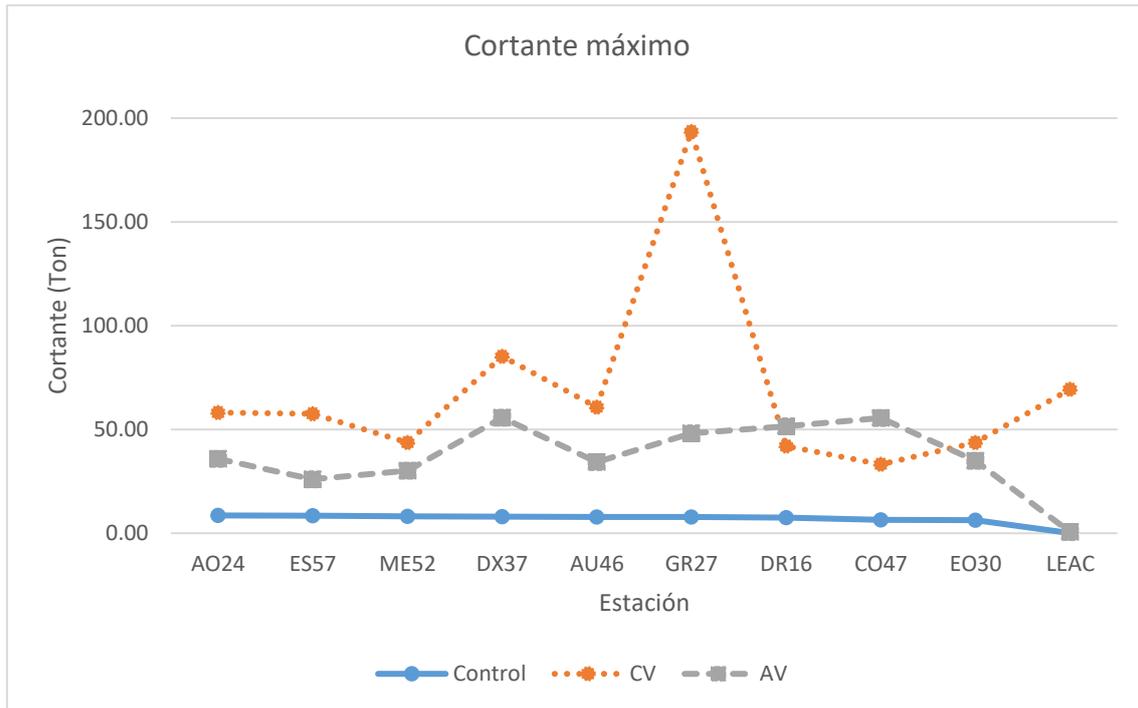


Figura 5.355. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

La figura Figura 5.356 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control confinadas y la tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.356.

Tabla 5.134. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	8.58	25.73	8.56	8.50
Mínimo	0.08	4.82	3.08	0.51
Promedio	6.93	9.04	5.63	1.81

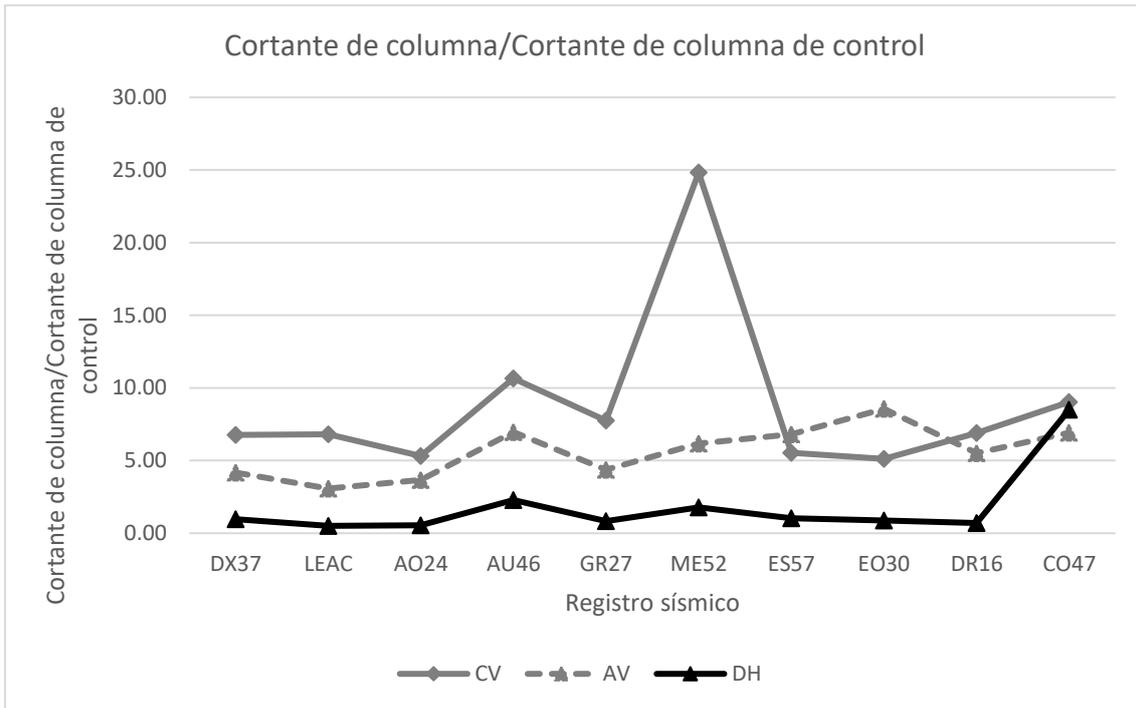


Figura 5.356. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

5.5.1.6 Cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.357 y Figura 5.358 muestran el cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos la tabla Tabla 5.135 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.357 y Figura 5.358.

Tabla 5.135. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	8.58	25.73	8.56	8.50
Mínimo	0.08	4.82	3.08	0.51
Promedio	6.93	9.04	5.63	1.81

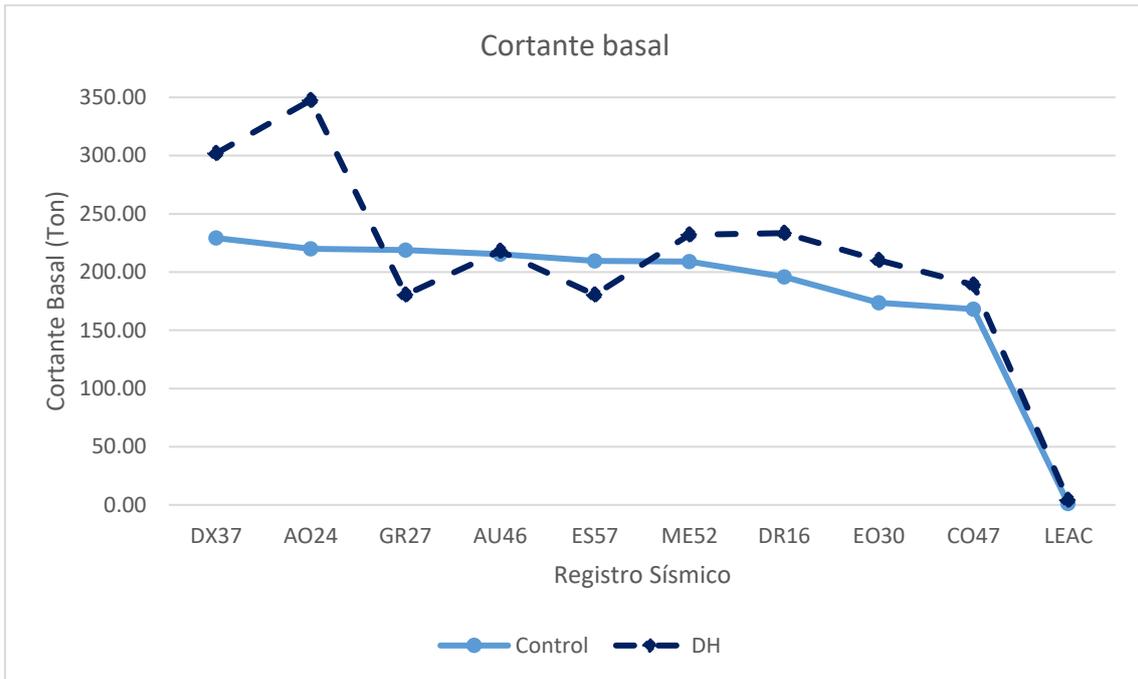


Figura 5.357. Cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

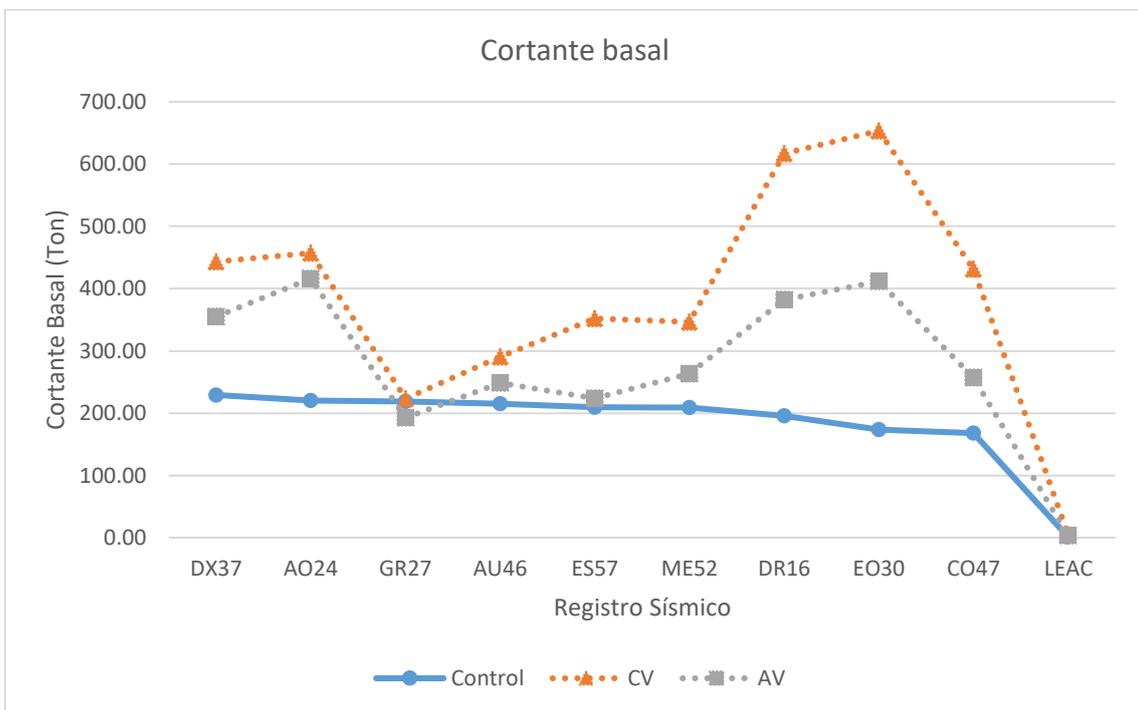


Figura 5.358. Cortante basal del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

5.5.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el que esta ubicado entre los ejes uno, *D*, y *E* (figura 4.42, capítulo 4). La figura Figura 5.359 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla Tabla 5.136 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.359.

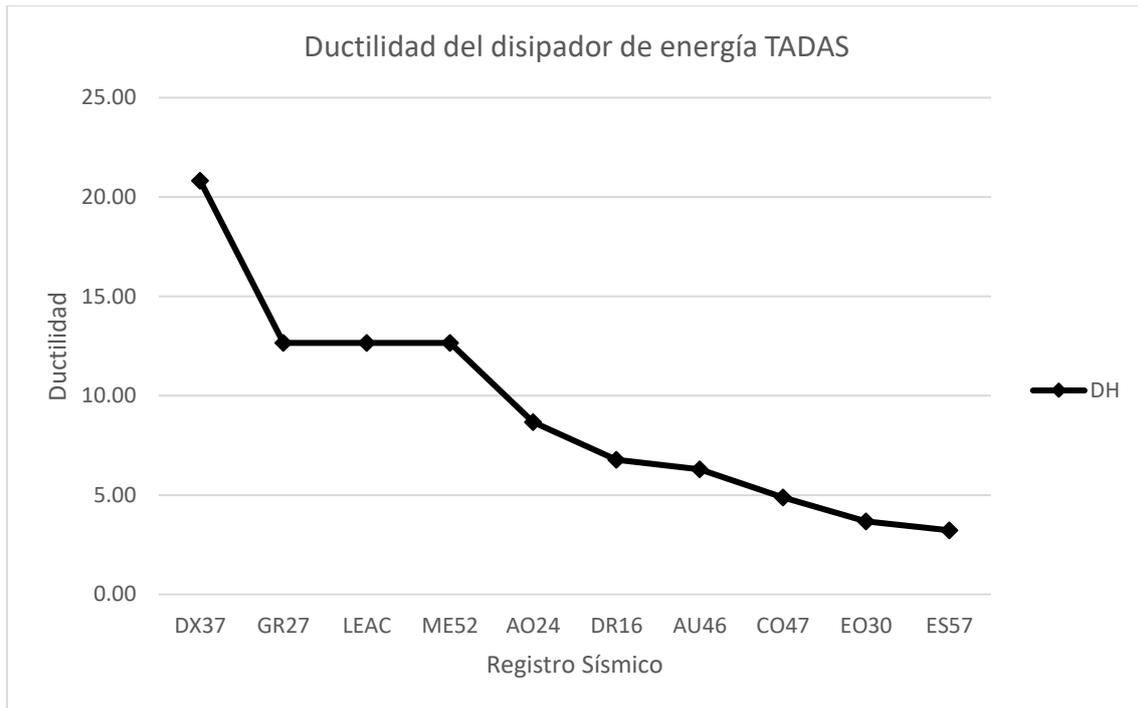


Figura 5.359. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.136. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	20.81
Mínimo	3.23
Promedio	9.23

5.5.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos

5.5.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.360 a Figura 5.363 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel.

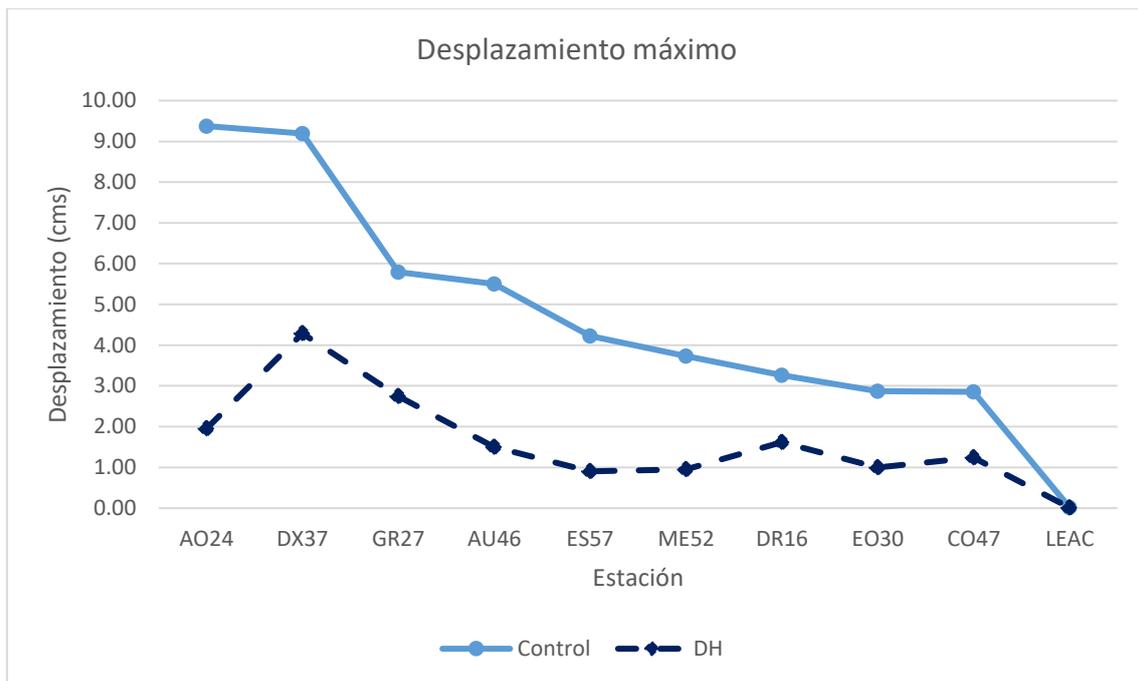


Figura 5.360. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

Tabla 5.137. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	9.37	0.027	1.61	0.005
Mínimo	0.02	5.85E-05	0.23	0.001
Promedio	4.68	0.013	0.63	0.002
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	1.05	0.003	4.29	0.012
Mínimo	0.02	4.33E-05	0.01	3.80E-05
Promedio	0.68	0.002	1.62	0.005

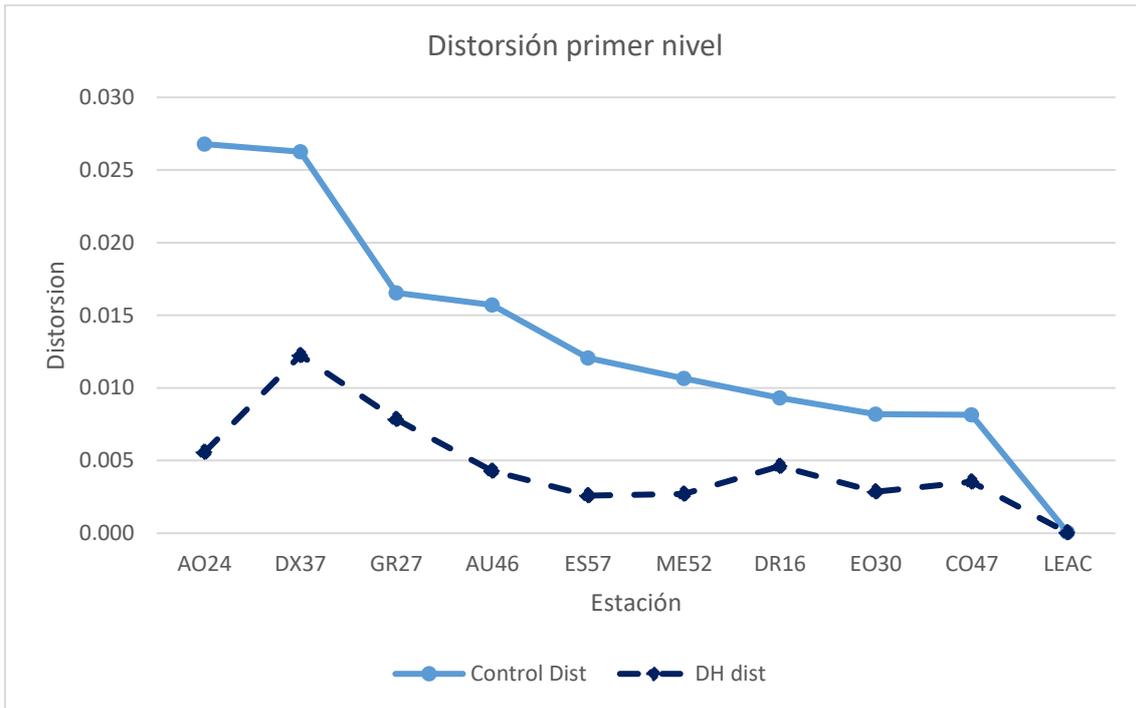


Figura 5.361. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

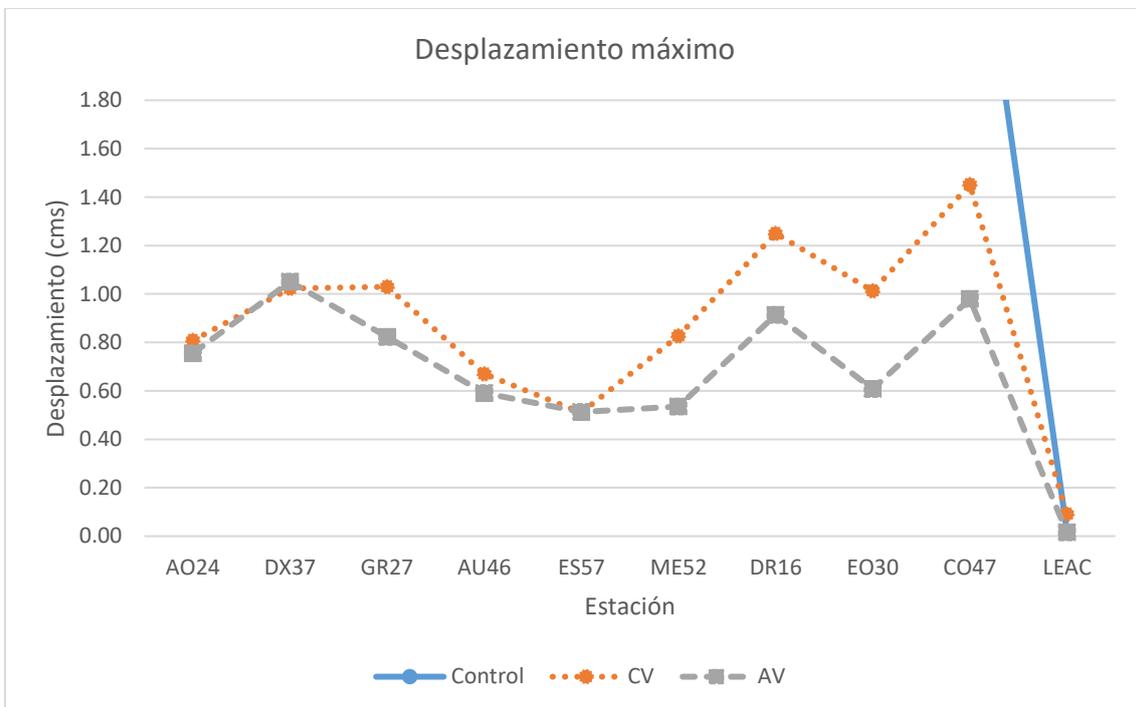


Figura 5.362. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

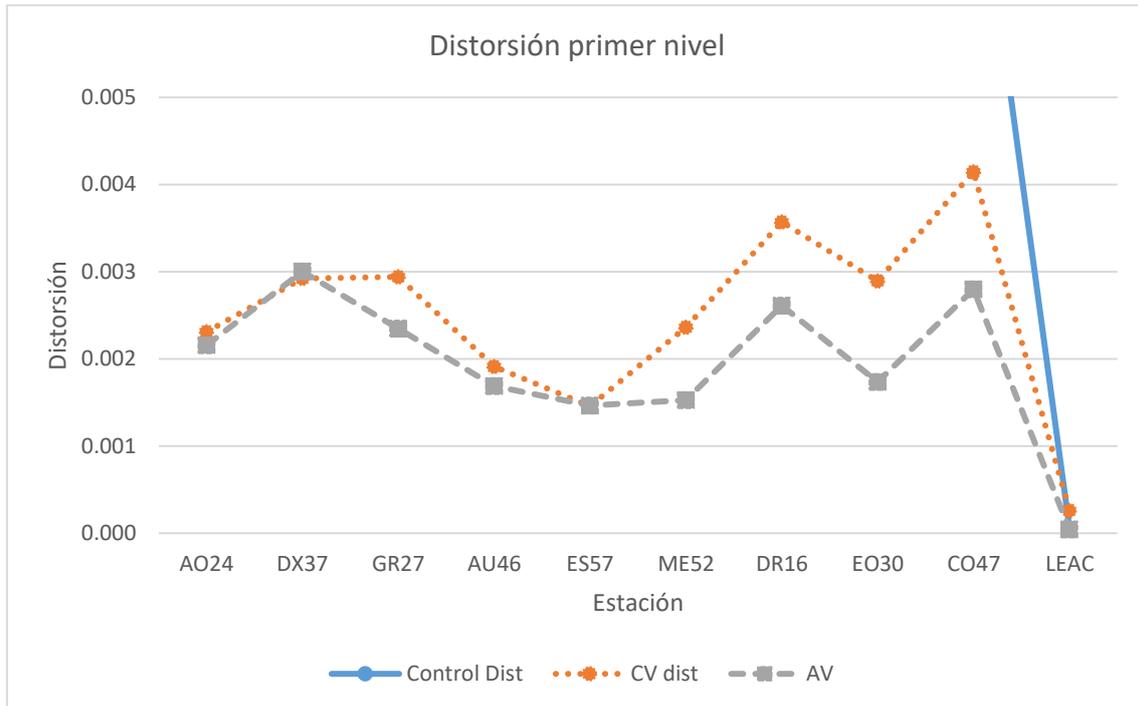


Figura 5.363. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

La figura Figura 5.361 para el modelo numérico de control los primeros nueve registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM, por lo tanto, se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. Se tiene que la utilización de disipadores de energía y contravientos cumplen con lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM, en cuanto a distorsión se refiere.

5.5.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.364 y Figura 5.365 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro anteriormente descrito que se obtiene de dividir el desplazamiento máximo entre el desplazamiento de fluencia del sistema de un grado de libertad sin dispositivo del edificio.

La tabla Tabla 5.138 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.364 y Figura 5.365 de la ductilidad relativa de entrepiso del primer del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

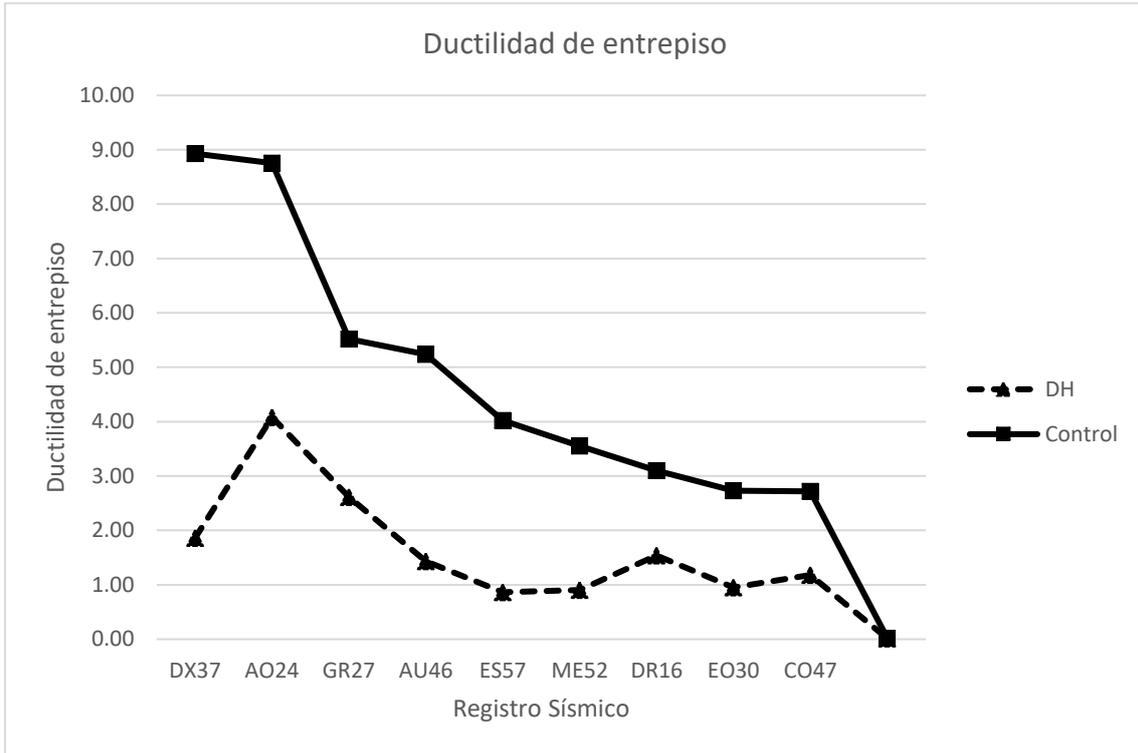


Figura 5.364. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

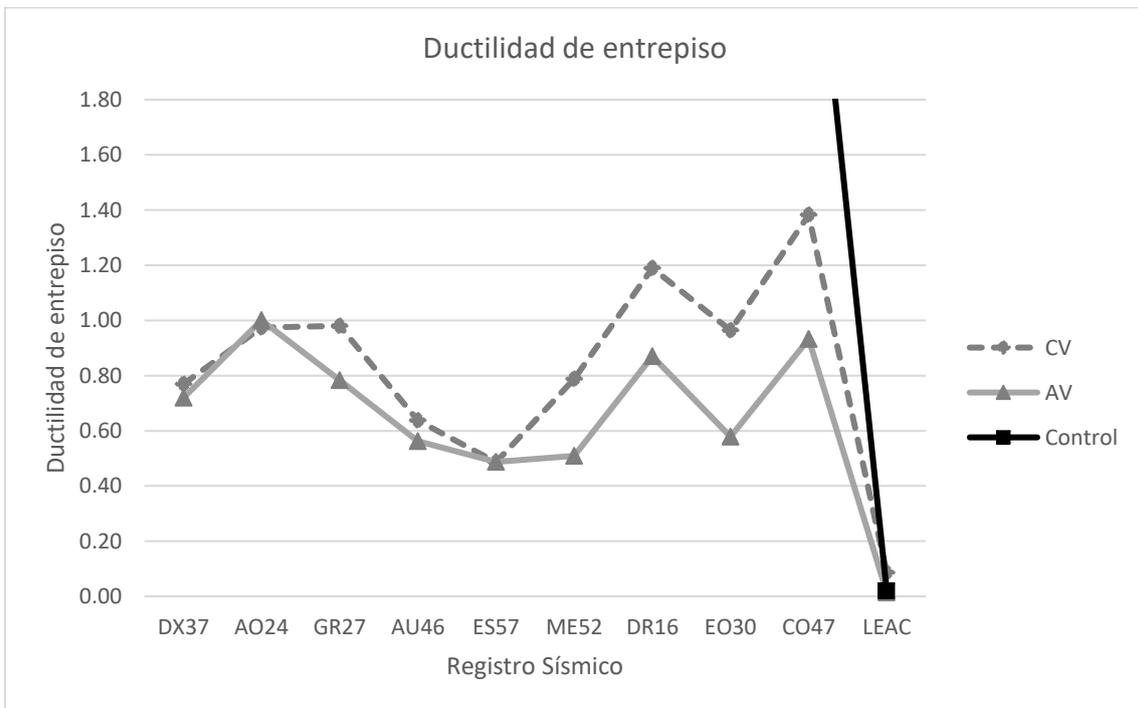


Figura 5.365. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.138. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	8.93	1.53	1.00	4.08
Mínimo	0.02	0.22	0.01	0.01
Promedio	4.46	0.60	0.65	1.54

5.5.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.366 y Figura 5.367 muestran la rotación máxima de la columna de control obtenida del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos. La tabla Tabla 5.139 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.366 y Figura 5.367.

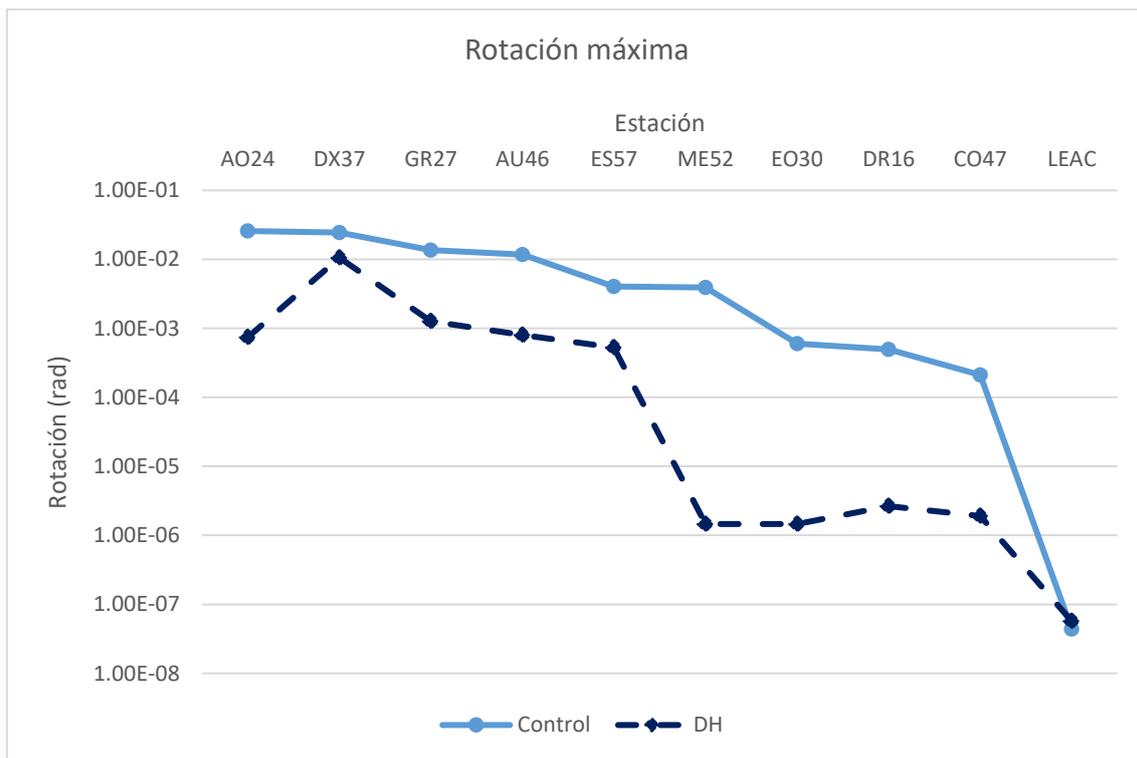


Figura 5.366. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

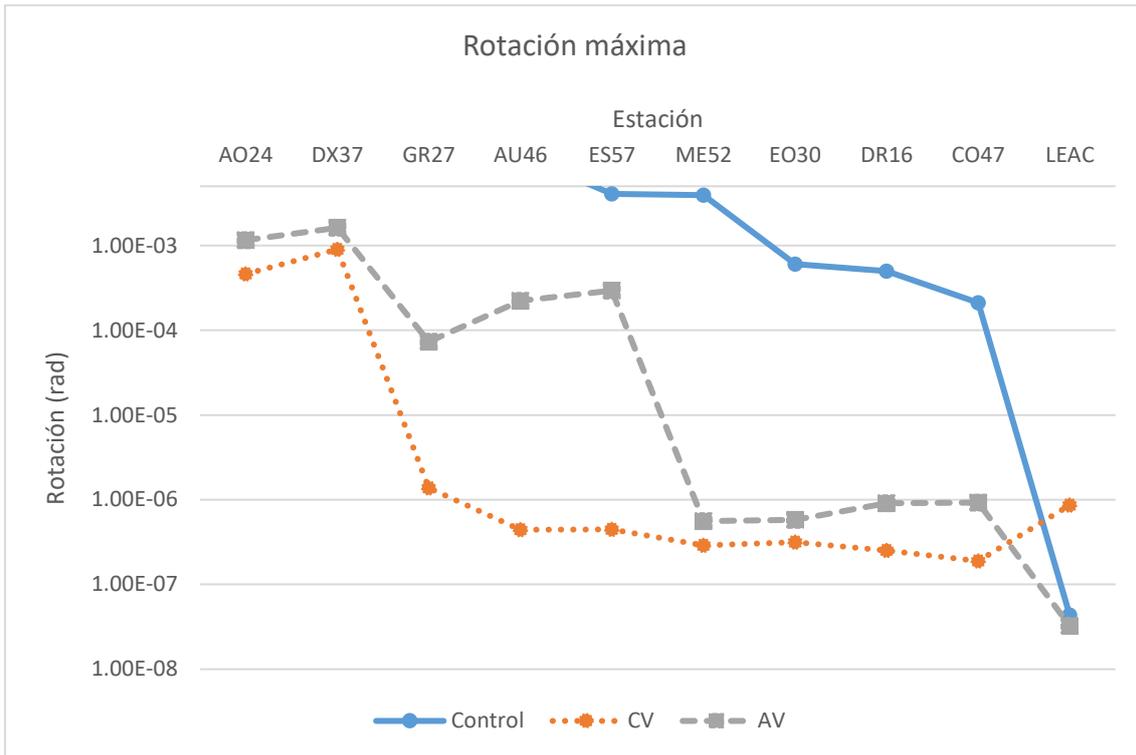


Figura 5.367. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.139. Valores máximos, mínimos, y promedio de la rotación máxima del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	2.58E-02	8.99E-04	1.62E-03	1.06E-02
Mínimo	4.37E-08	1.89E-07	3.25E-08	5.71E-08
Promedio	8.50E-03	1.37E-04	3.36E-04	1.39E-03

5.5.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.368 y Figura 5.369 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número tres anteriormente descrito. La tabla Figura 5.310 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.368 y Figura 5.369.

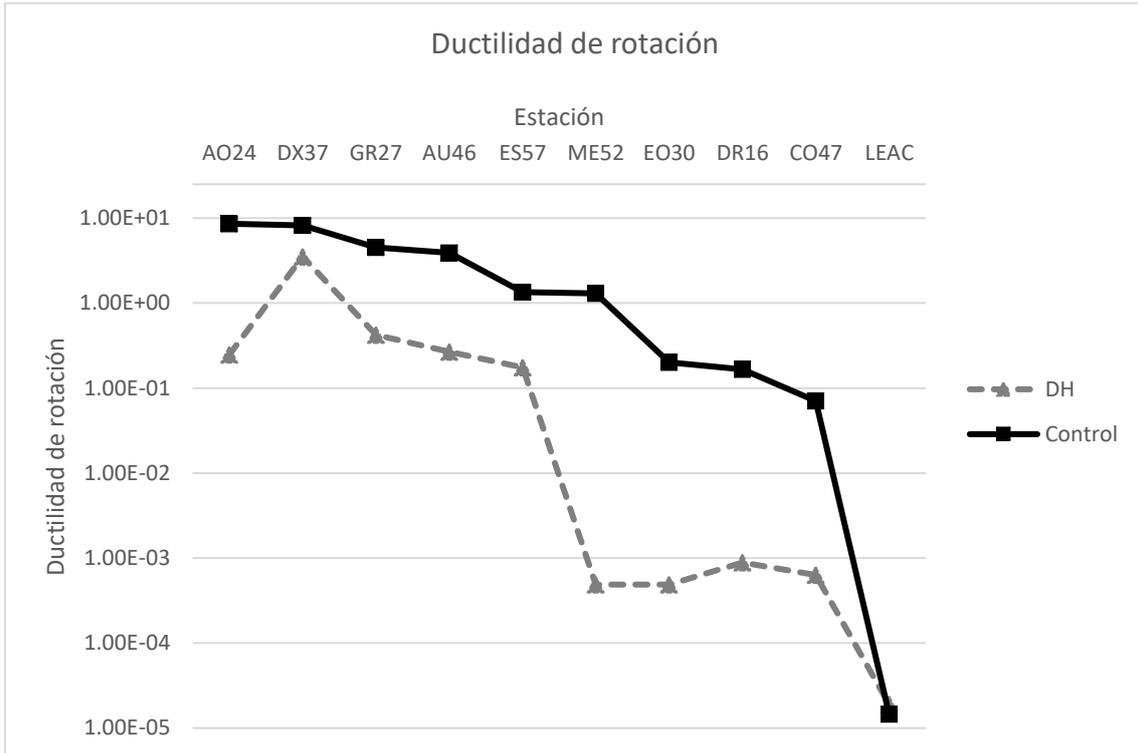


Figura 5.368. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

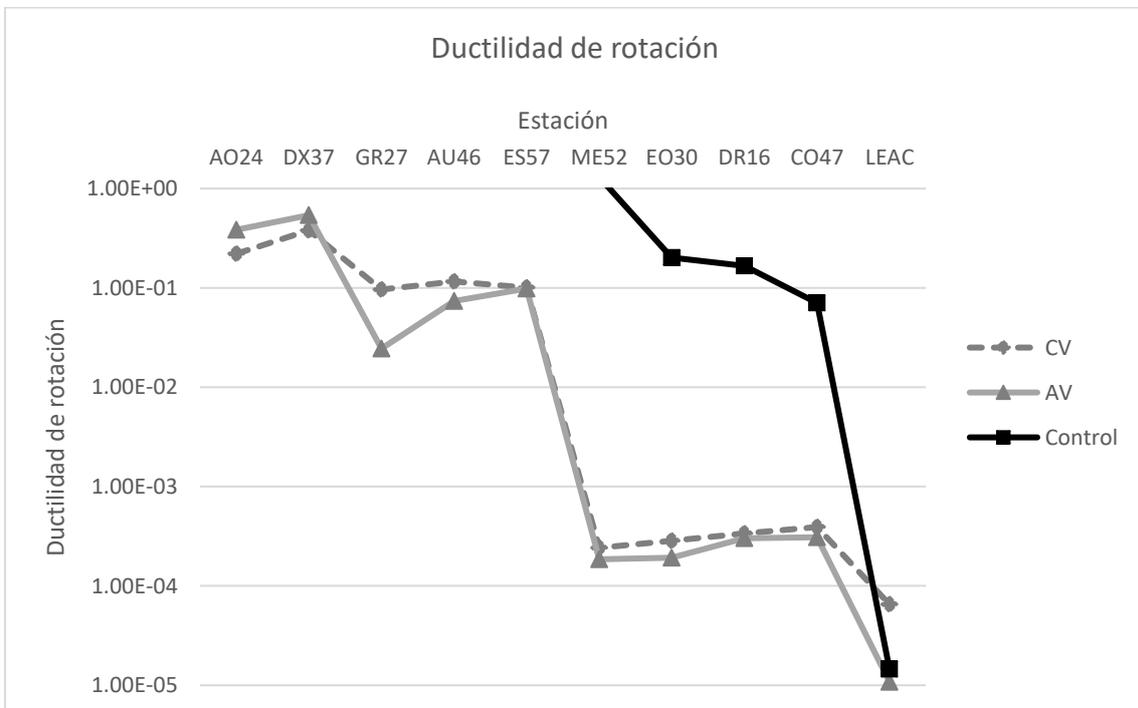


Figura 5.369. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.



Tabla 5.140. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	8.59E+00	3.00E-01	5.39E-01	3.53E+00
Mínimo	1.46E-05	6.30E-05	1.08E-05	1.90E-05
Promedio	2.83E+00	4.55E-02	1.12E-01	4.64E-01

5.5.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos

La figuras Figura 5.370 y Figura 5.371 muestran el cortante máximo en la columna de control del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

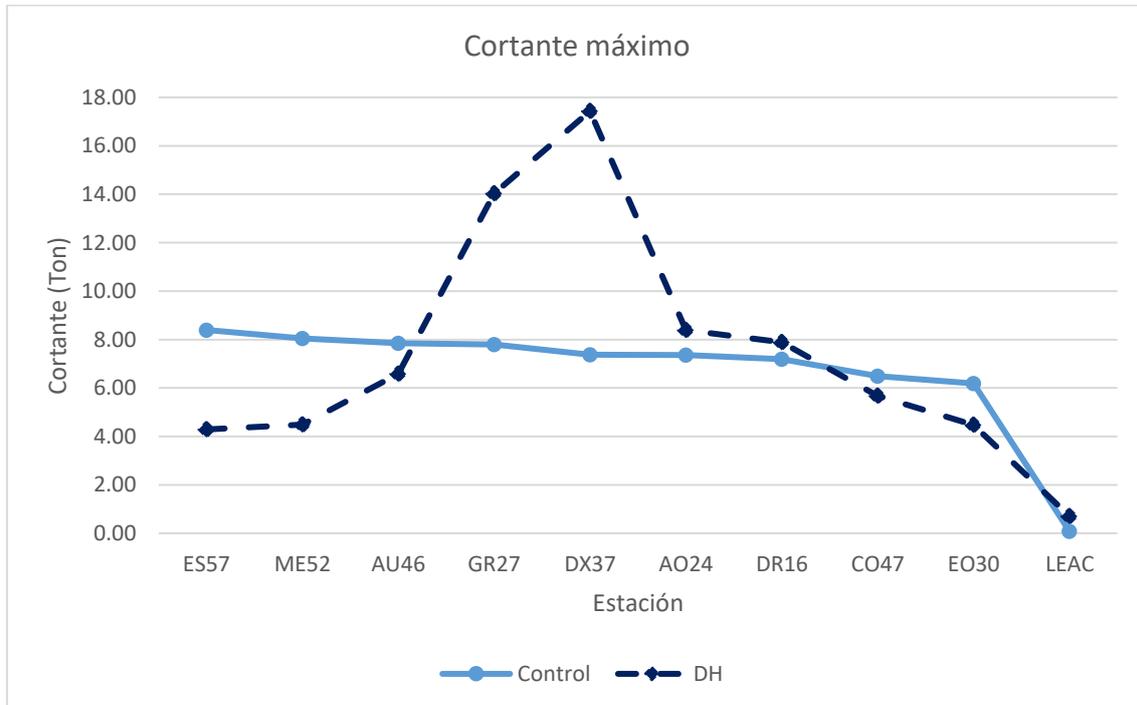


Figura 5.370. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.141. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	8.40	199.64	55.60	17.43
Mínimo	0.08	34.84	0.58	0.71
Promedio	6.68	70.86	37.25	7.40

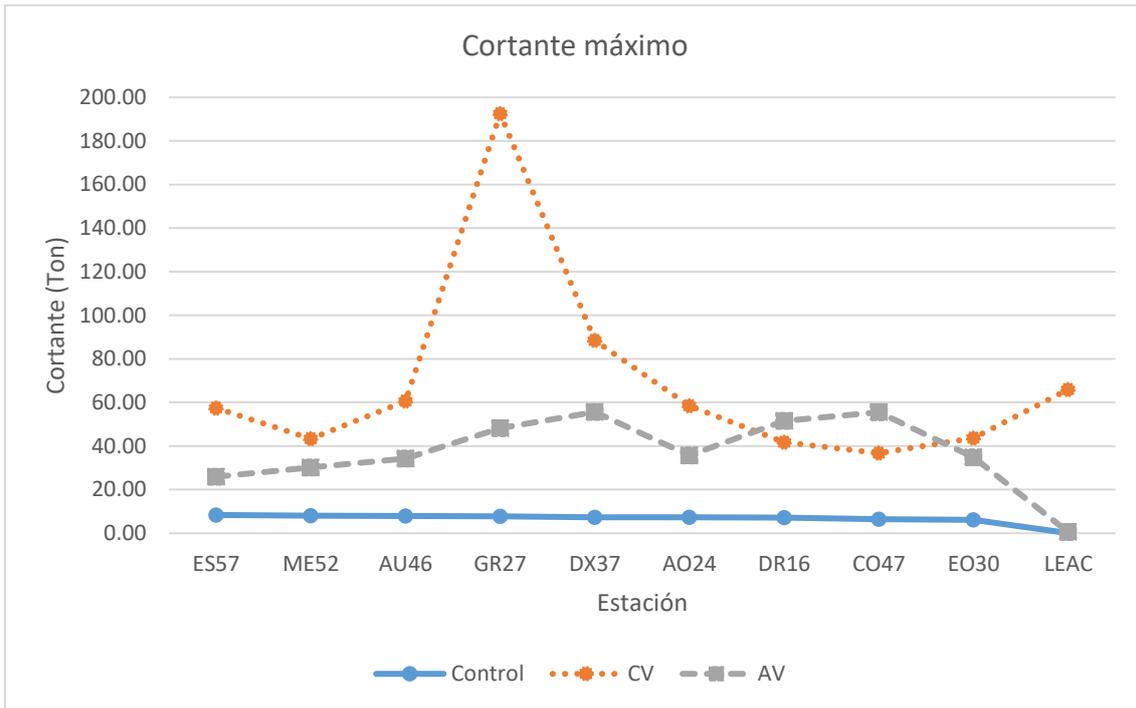


Figura 5.371. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

La figura Figura 5.372 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control, la tabla Tabla 5.142 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.372.

Tabla 5.142. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	8.40	26.87	8.55	8.50
Mínimo	0.08	5.37	3.09	0.51
Promedio	6.68	11.18	5.81	1.84

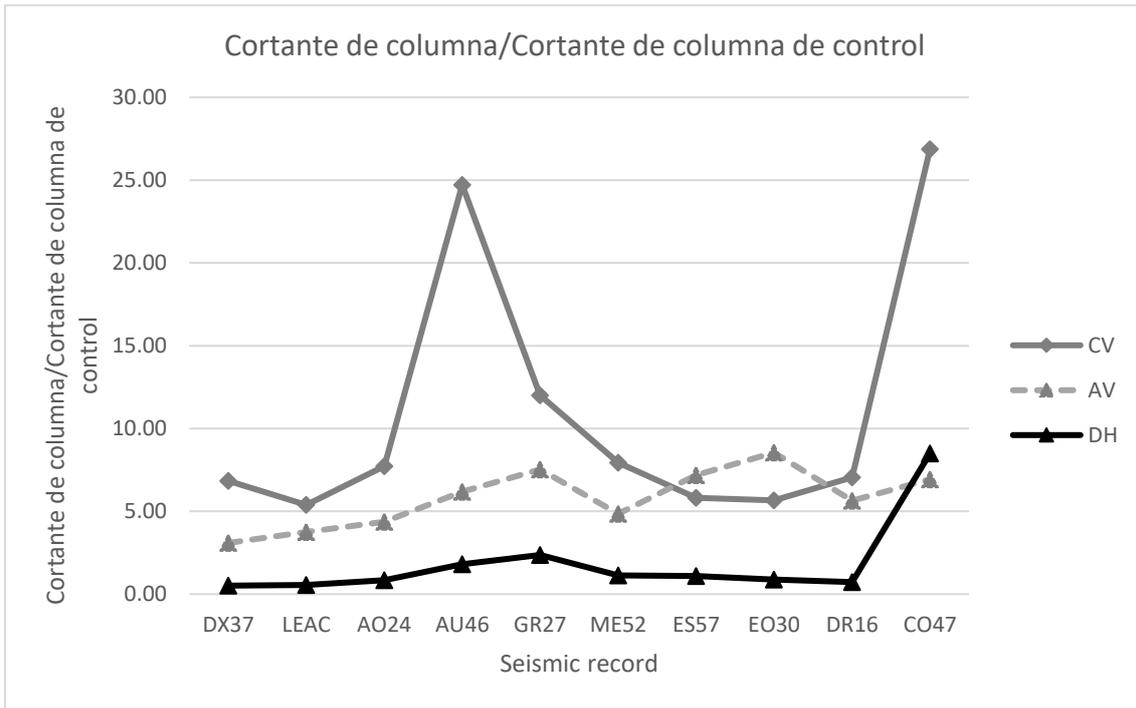


Figura 5.372. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

5.5.2.6 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el indicado en la sección 5.5.1.7. La figura Figura 5.373 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo, la tabla **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.373.

Tabla 5.143. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número tres con columnas no confinadas en los extremos.

Máximo	21.19
Mínimo	3.23
Promedio	9.26

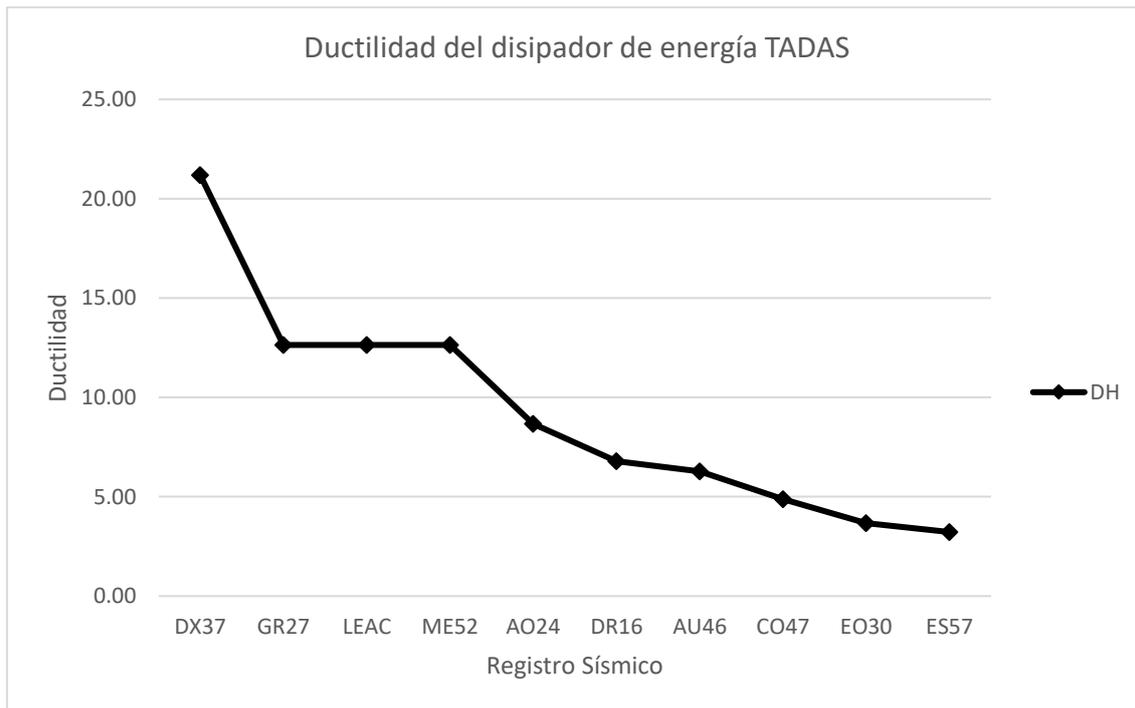


Figura 5.373. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cuatro con columnas no confinadas en los extremos.

5.6. Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

5.6.1. Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

Los resultados mostrados a continuación en donde se tomó como nodo de control el nodo de la parte superior de la columna de control que se ubica en el eje E-1 (figura 4.50, capítulo 4). Las figuras Figura 5.374 a Figura 5.377 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.

Tabla 5.144. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	18.47	0.053	1.02	0.003
Mínimo	2.51	0.007	0.37	0.001
Promedio	5.89	0.017	0.57	0.002
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	0.96	0.003	4.57	0.013
Mínimo	0.34	0.001	0.44	0.001
Promedio	0.56	0.002	1.73	0.005

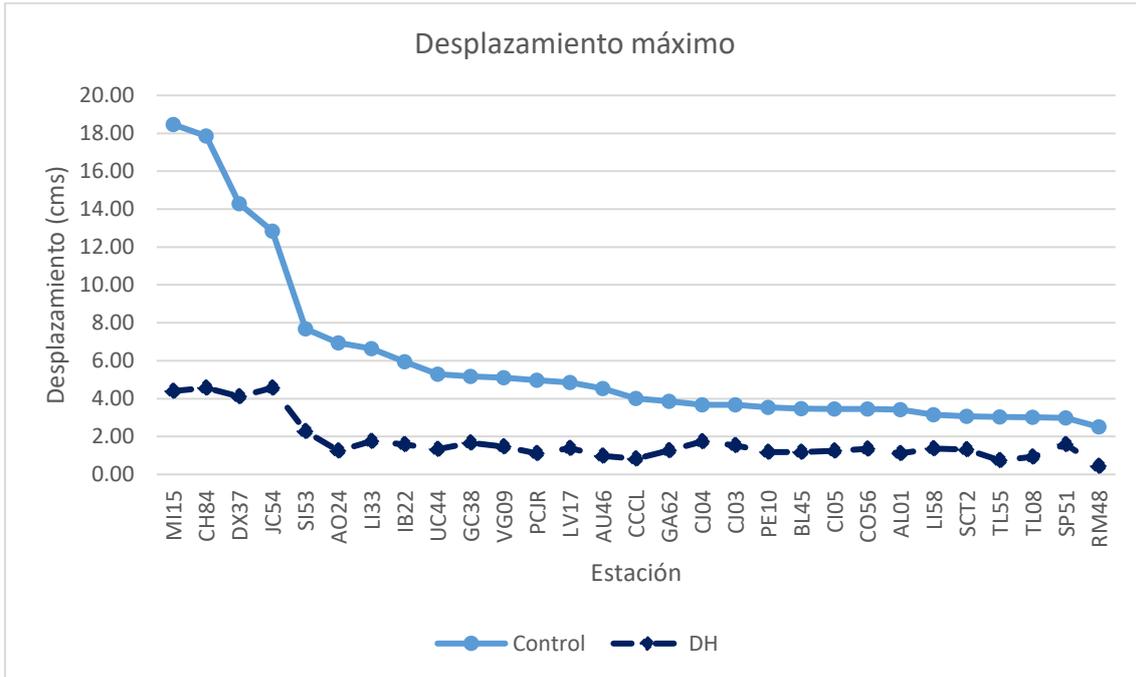


Figura 5.374. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.

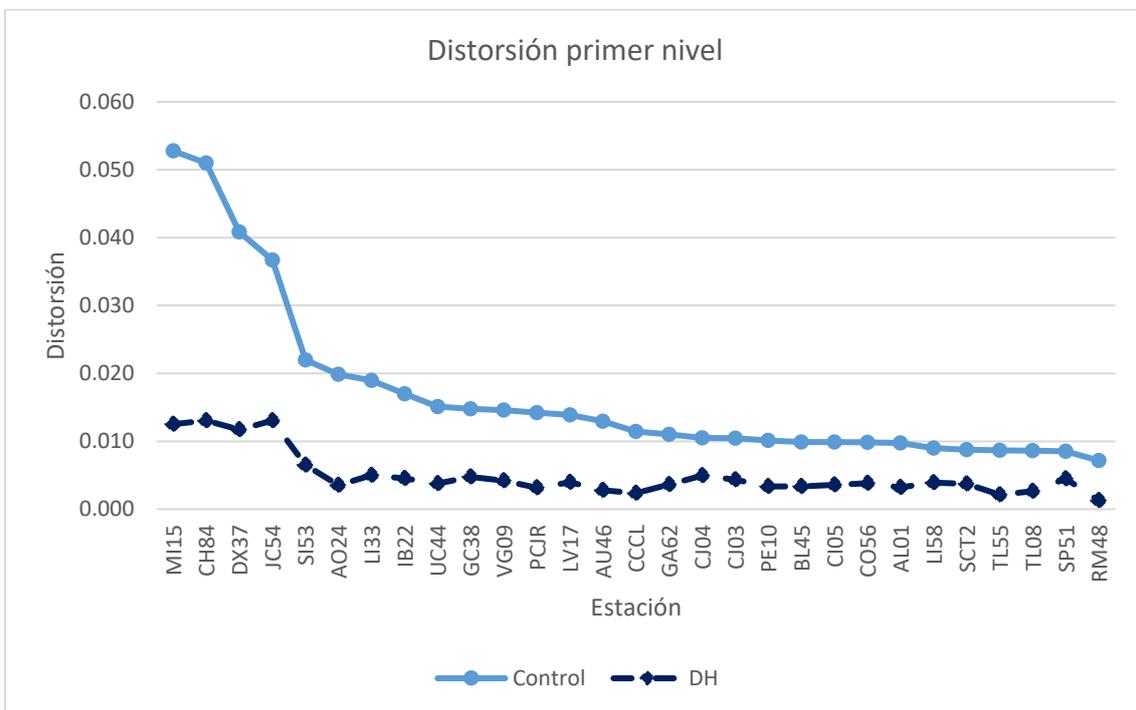


Figura 5.375. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.

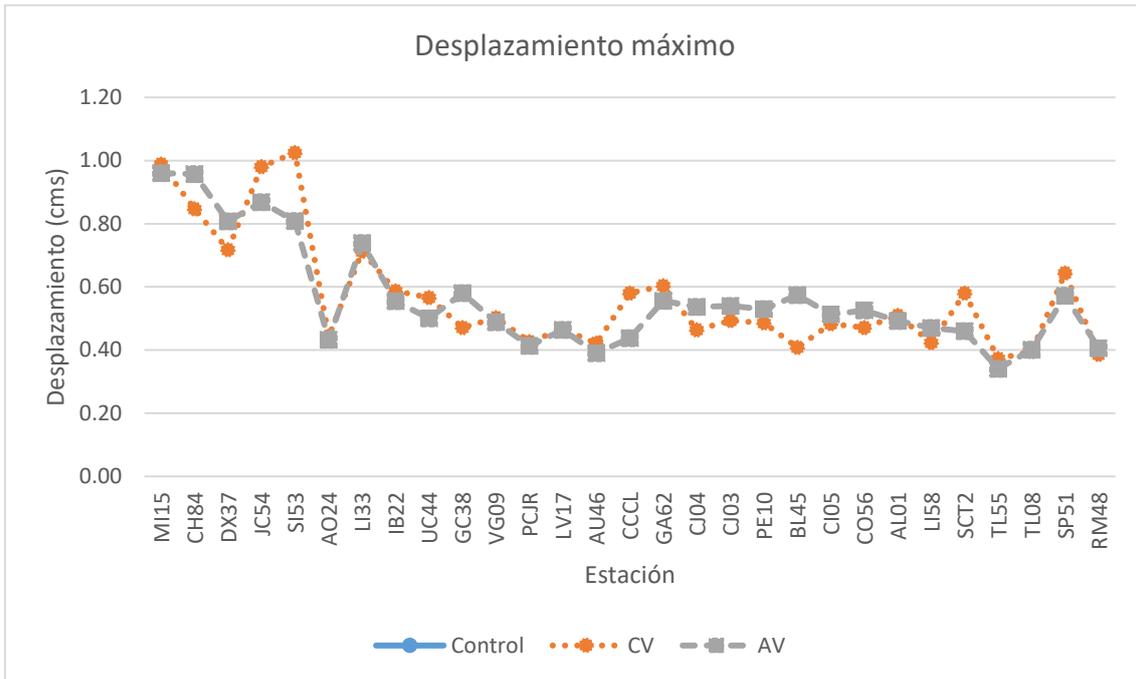


Figura 5.376. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.

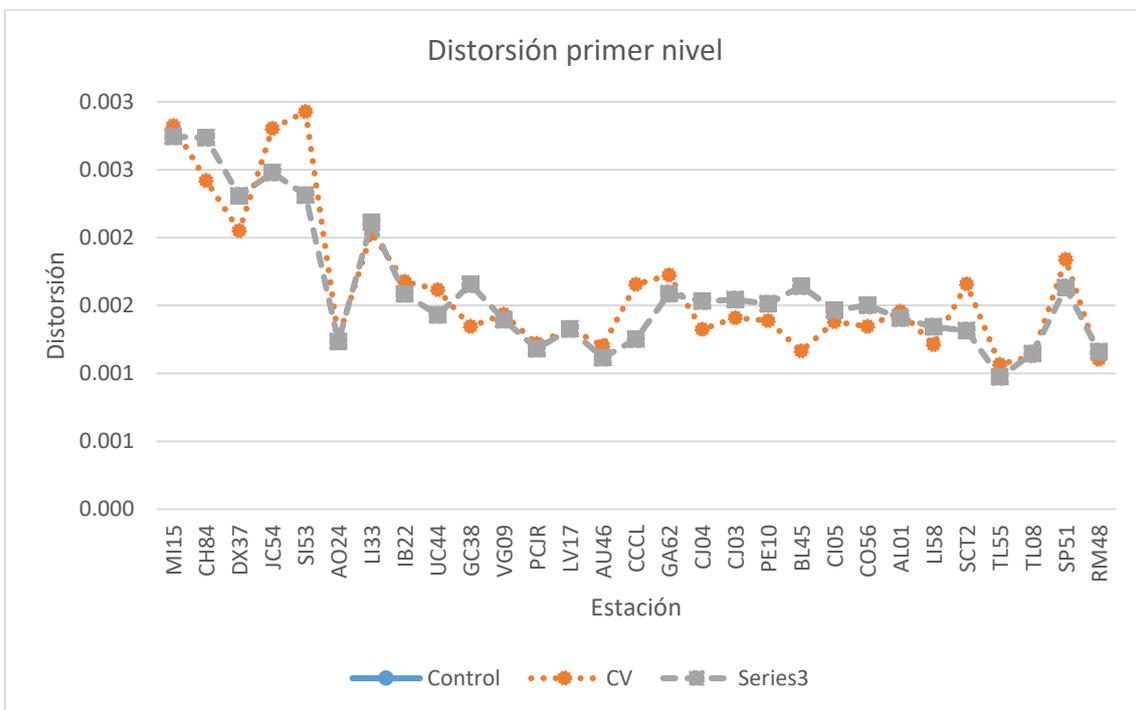


Figura 5.377. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos.

La figura Figura 5.375 para el modelo numérico de control para todos los registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas

Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5, por lo tanto, se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. En el caso del edificio con disipadores de energía tipo TADAS se tiene que el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es mayor al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17 (tabla Tabla 5.144). En los demás casos se tiene que la distorsión de entrepiso del primer nivel no sobrepasa lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM.

5.6.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.378 y Figura 5.379 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco. La tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.378 y Figura 5.379.

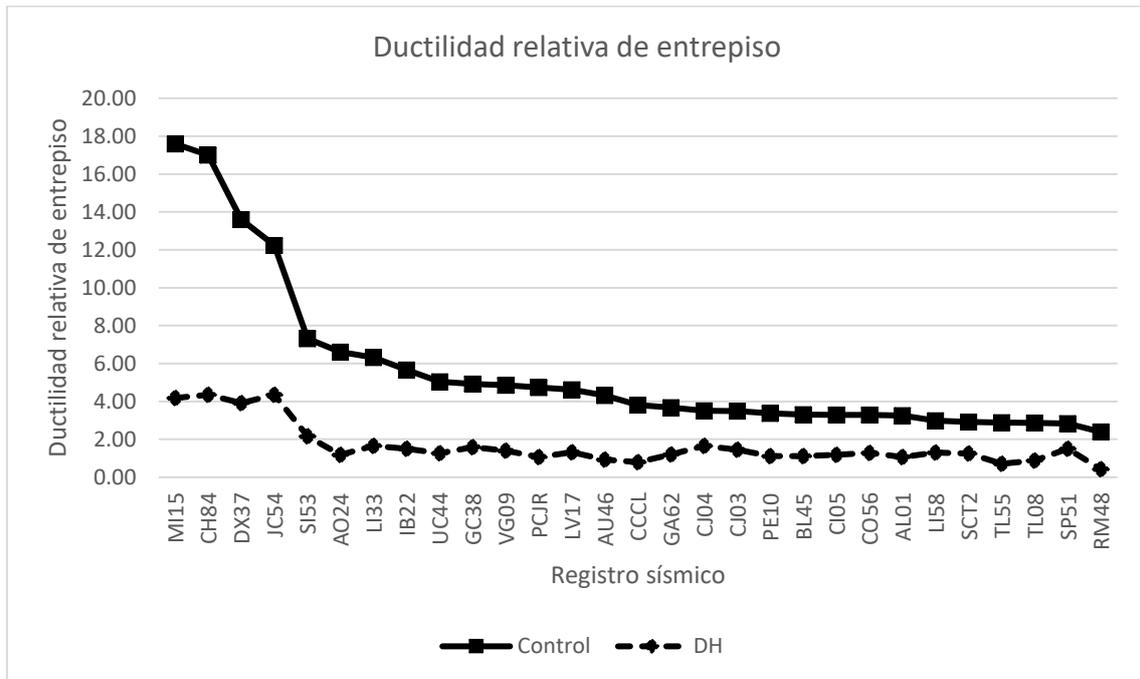


Figura 5.378. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

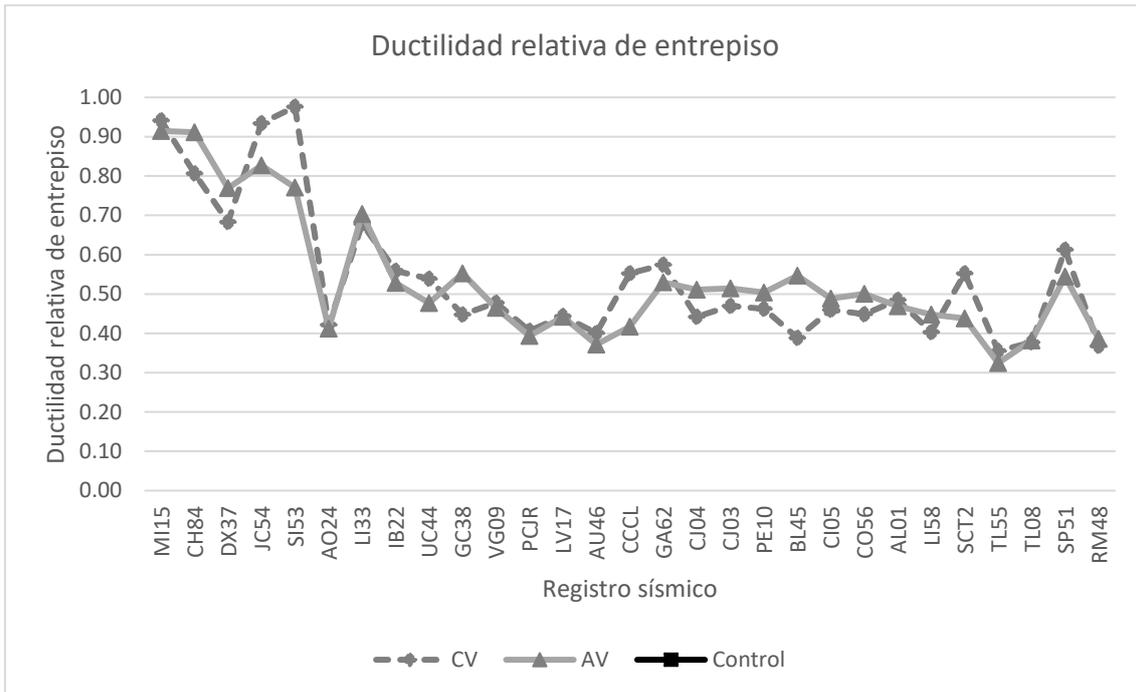


Figura 5.379. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.145. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	17.59	0.98	0.91	4.35
Mínimo	2.39	0.36	0.32	0.42
Promedio	5.61	0.54	0.54	1.65

5.6.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.380 y Figura 5.381 muestran la rotación máxima de la columna de control. La tabla Tabla 5.146 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.380 y Figura 5.381 de rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.146. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	4.68E-02	1.42E-03	1.54E-03	6.47E-03
Mínimo	4.22E-06	4.16E-07	4.59E-07	5.80E-07



Promedio	5.91E-03	7.14E-05	8.93E-05	3.72E-04
----------	----------	----------	----------	----------

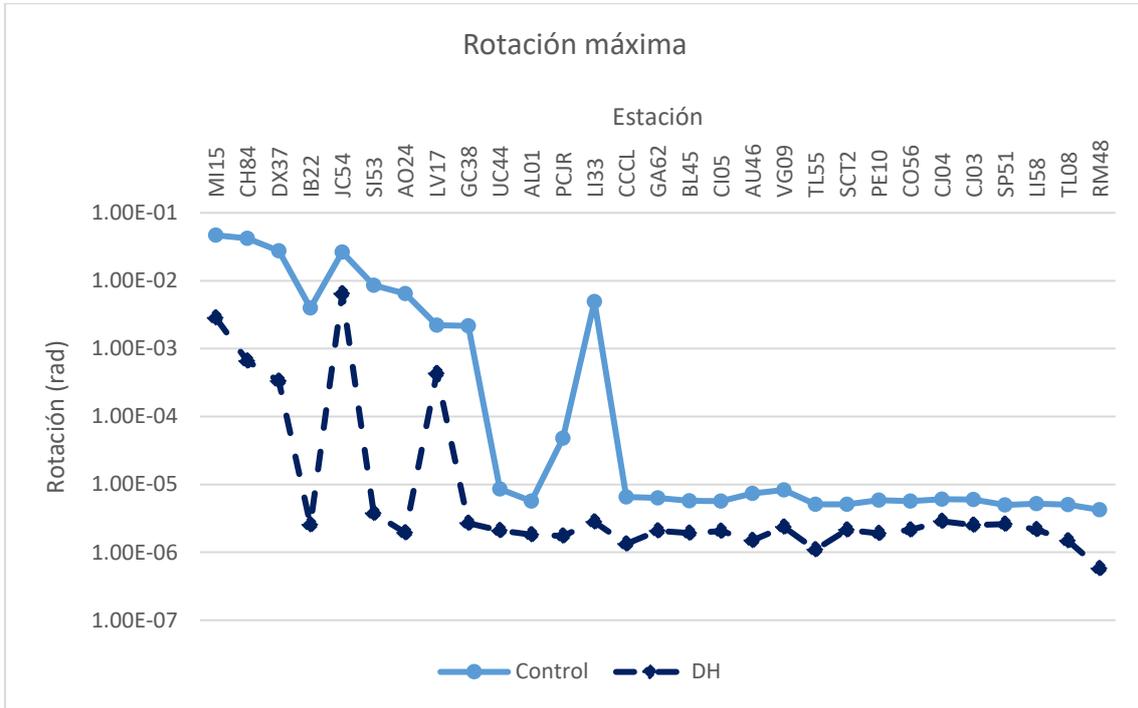


Figura 5.380. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

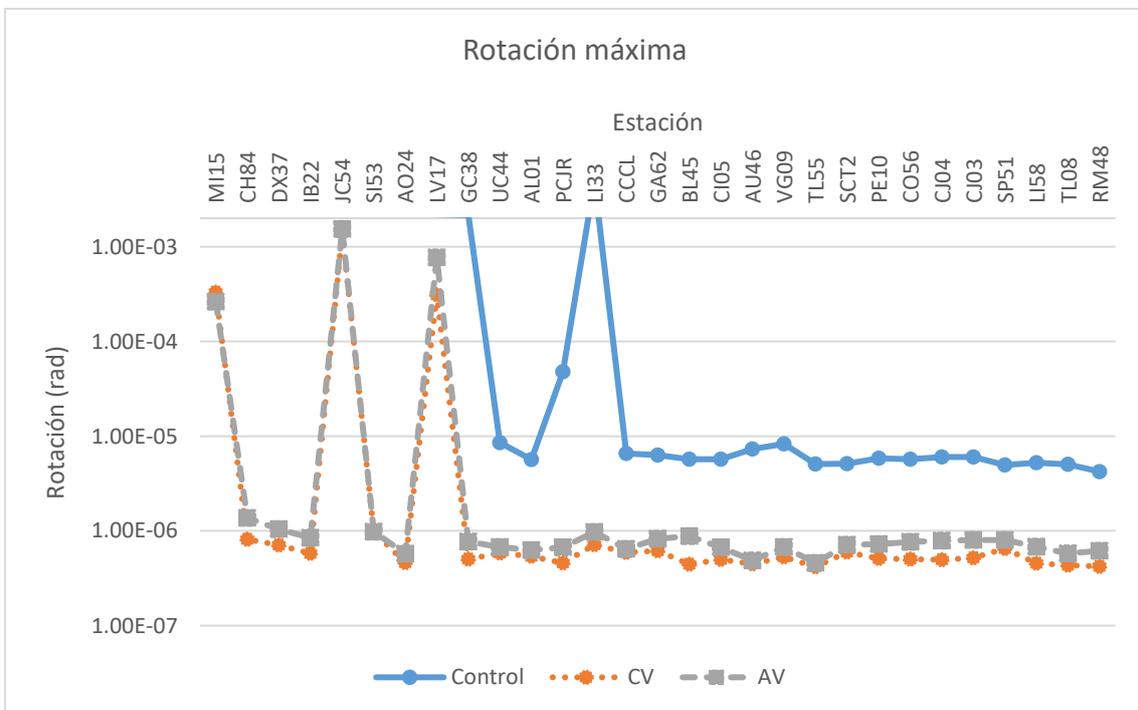


Figura 5.381. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

5.6.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.382 y Figura 5.383 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos. La tabla Tabla 5.147 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.382 y Figura 5.383.

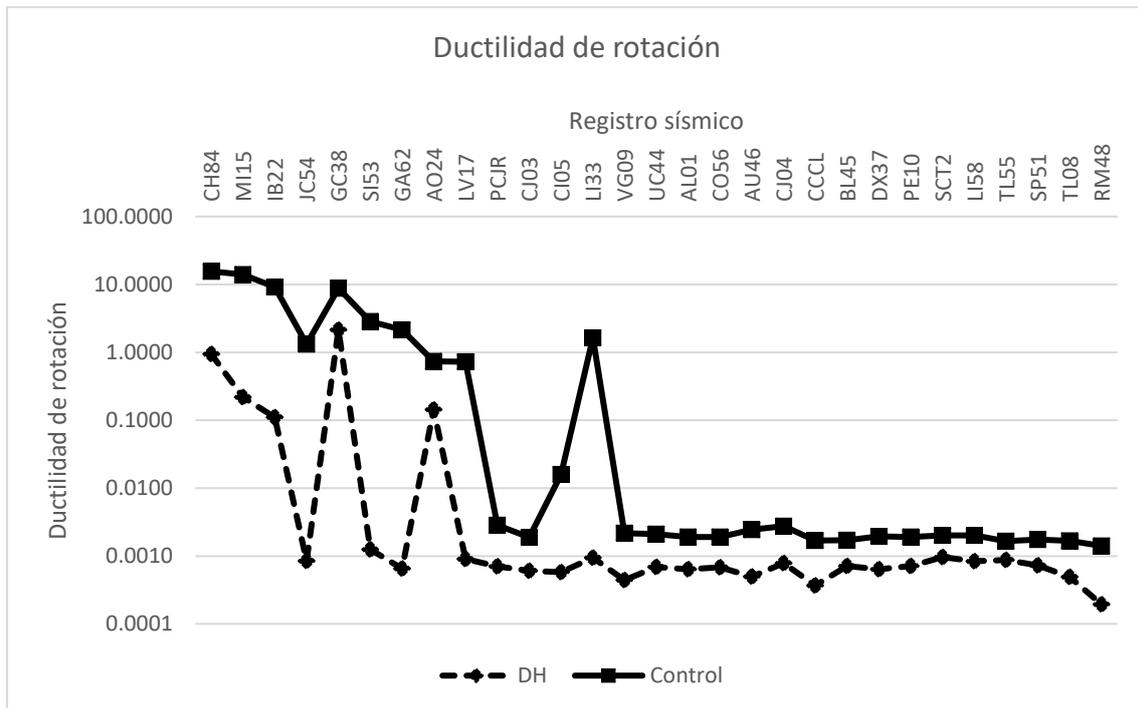


Figura 5.382. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.147. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	1.93E+01	2.28E-01	3.81E-01	1.86E-01
Mínimo	1.18E-03	4.87E-05	2.49E-04	2.59E-04
Promedio	2.77E+00	1.63E-02	5.12E-02	1.53E-02

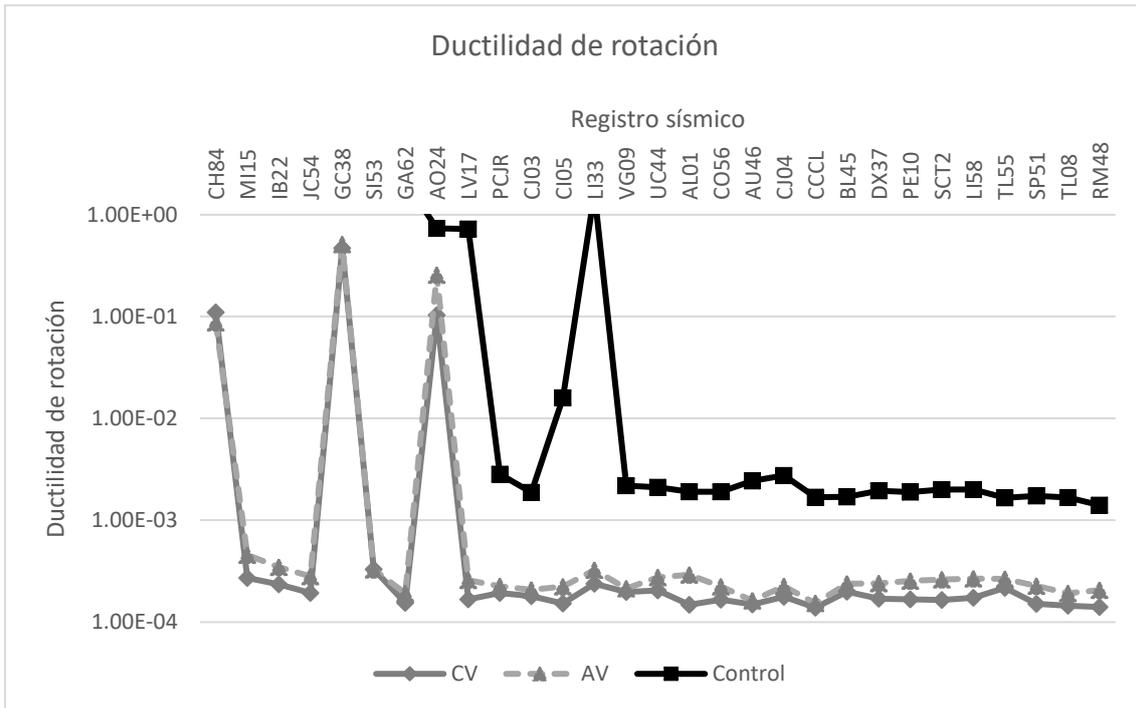


Figura 5.383. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

5.6.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.384 y Figura 5.385 muestran el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos se tomó como columna de control para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso la columna ubicada en el eje C-1 (figura 4.50 capítulo 4), para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.50 capítulo 4), la tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figuras Figura 5.384 y Figura 5.385.

Tabla 5.148. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	20.37	74.74	61.87	31.26
Mínimo	7.61	23.77	18.57	3.04
Promedio	12.70	39.80	34.06	12.30

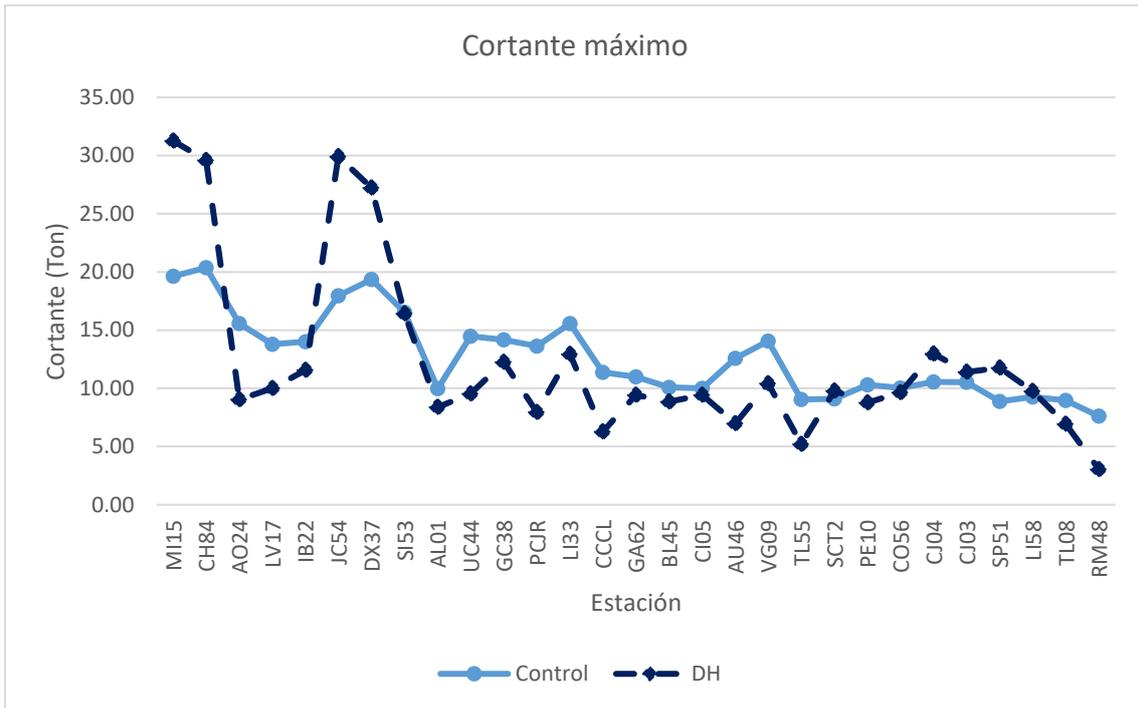


Figura 5.384. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

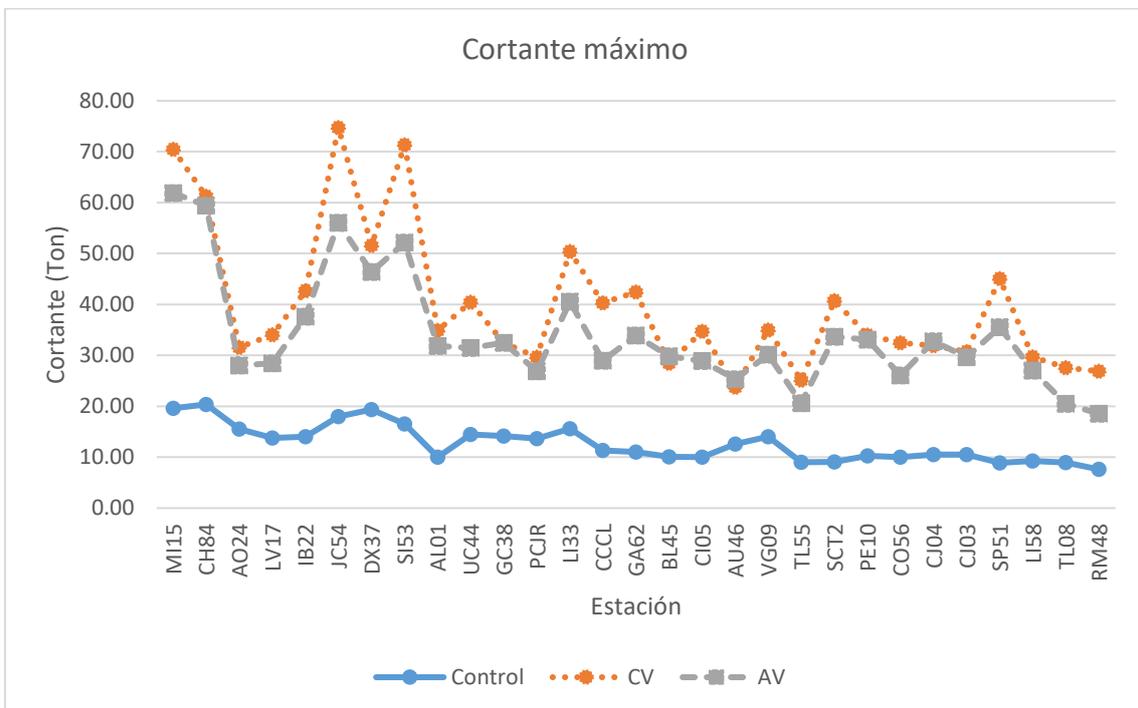


Figura 5.385. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

La figura Figura 5.386 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control y la tabla Tabla 5.149 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.386.

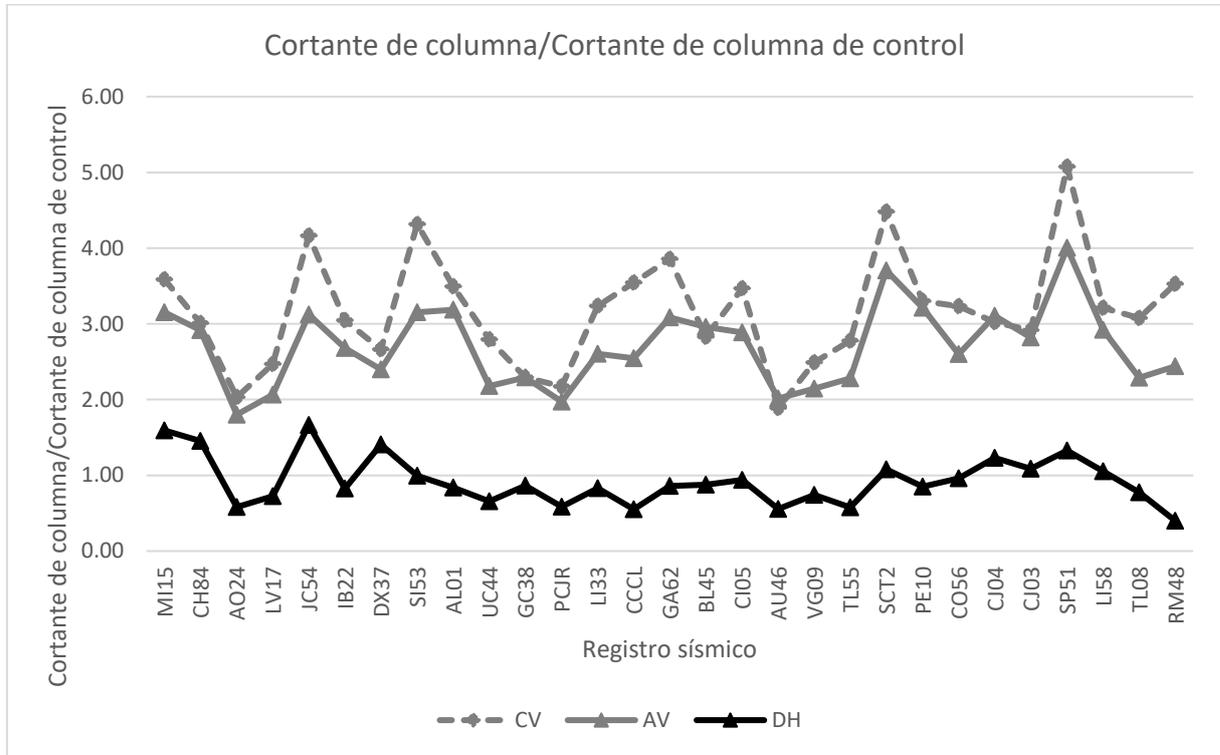


Figura 5.386. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.149. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH
Máximo	5.08	4.00	1.67
Mínimo	1.89	1.80	0.40
Promedio	3.17	2.71	0.93

5.6.6 Cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.387 y Figura 5.388 muestran el cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas se muestra en la tabla Tabla 5.150 los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.387 y Figura 5.388.

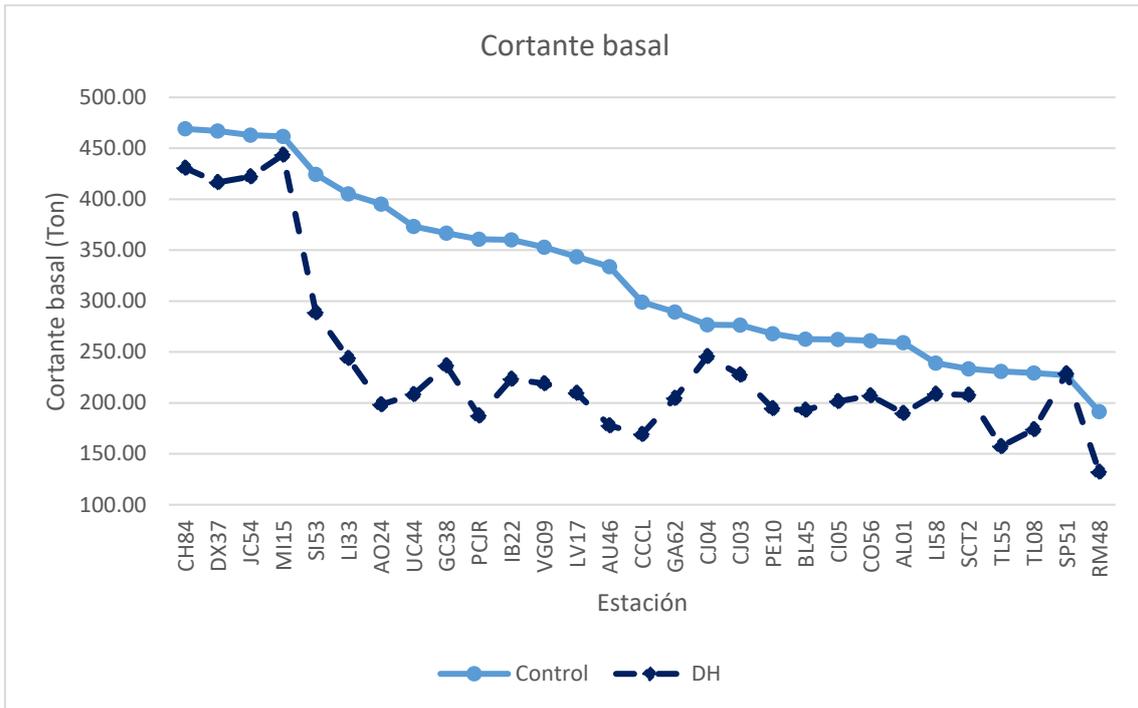


Figura 5.387. Cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

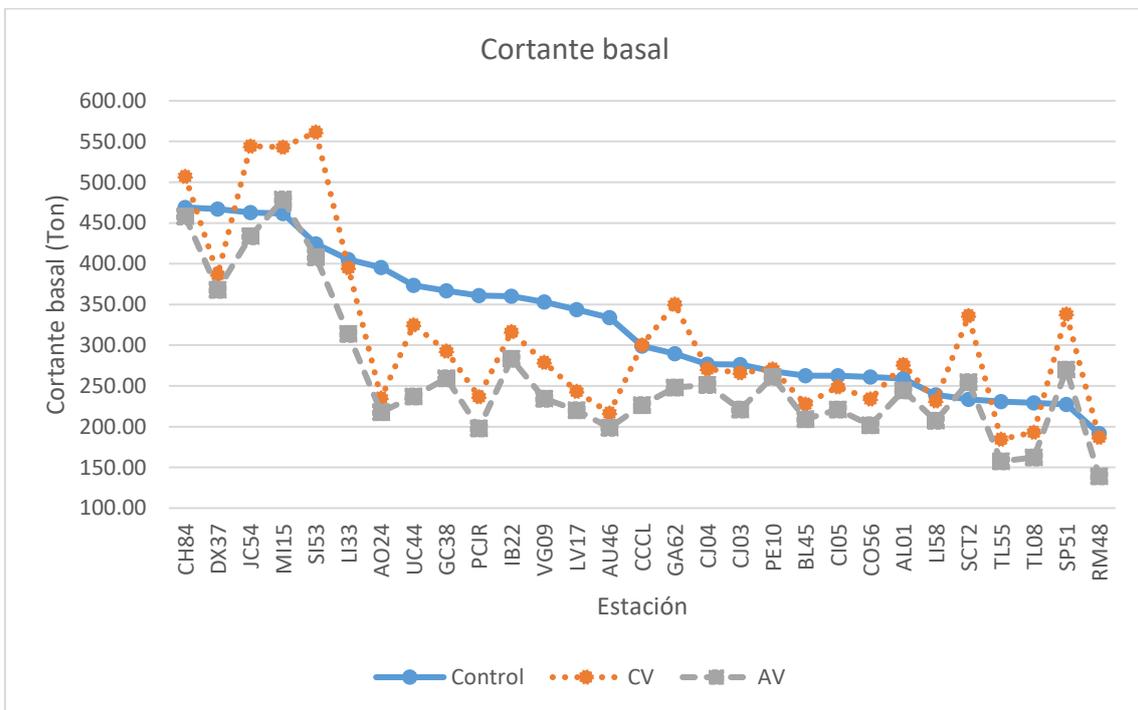


Figura 5.388. Cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.



Tabla 5.150. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	469.07	561.44	478.83	443.66
Mínimo	191.61	184.47	139.17	132.17
Promedio	323.57	310.27	261.56	236.15

5.6.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el que esta ubicado entre los ejes uno, D, y E (figura 4.50, capítulo 4). La figura Figura 5.389 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo, la tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.389.

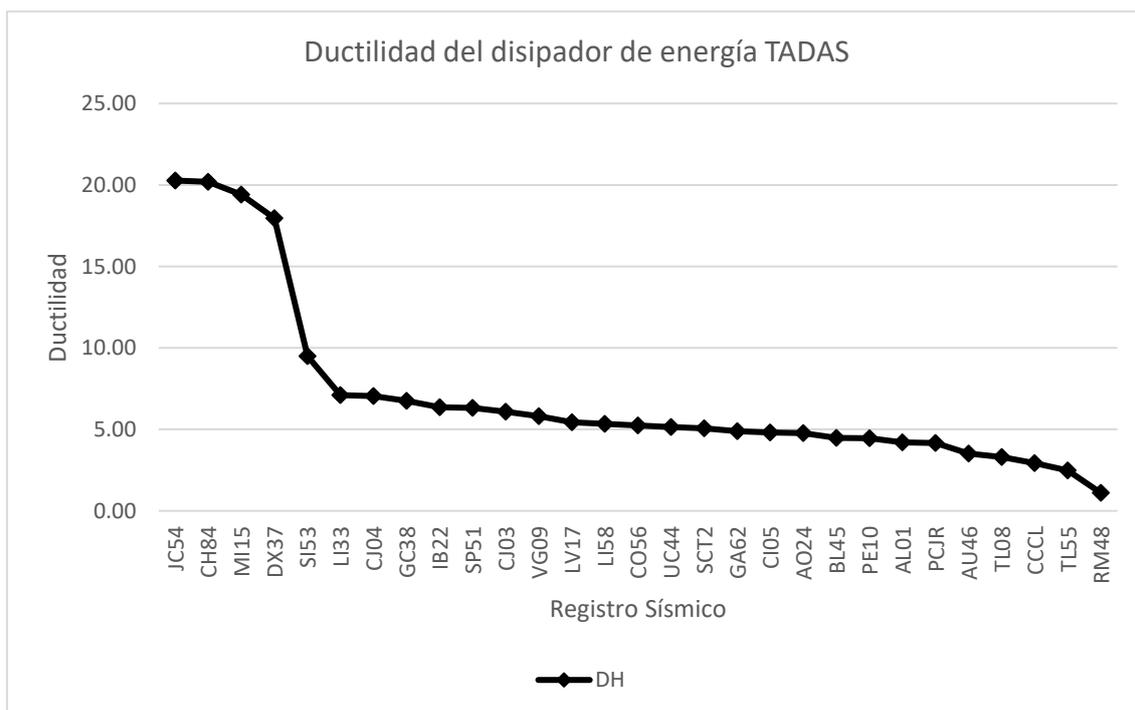


Figura 5.389. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.151. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	20.27
Mínimo	1.10

Promedio	7.04
----------	------

5.6.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

5.6.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Los resultados mostrados a continuación en donde se tomó como nodo de control igual al señalado en la sección 5.6.1.1. Las figuras Figura 5.390 a Figura 5.393 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número cinco.

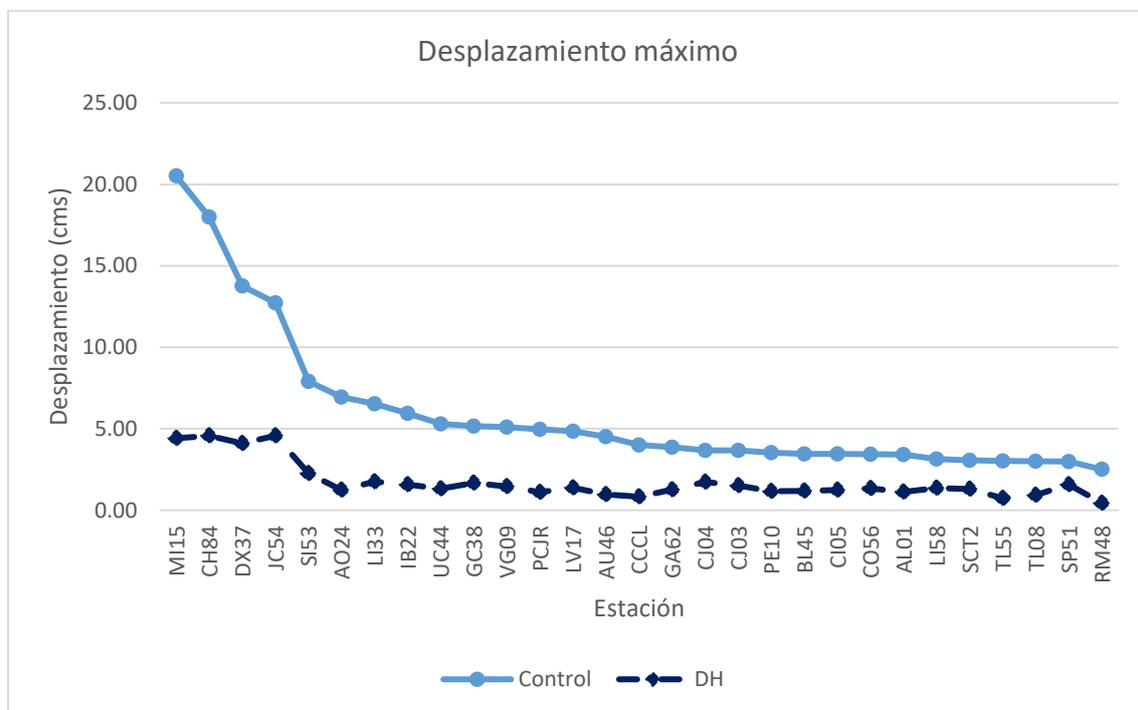


Figura 5.390. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

Tabla 5.152. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	20.52	0.059	1.02	0.003
Mínimo	2.51	0.007	0.37	0.001
Promedio	5.95	0.017	0.57	0.002
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	0.96	0.003	4.57	0.013
Mínimo	0.34	0.001	0.44	0.001



Promedio	0.56	0.002	1.73	0.005
----------	------	-------	------	-------

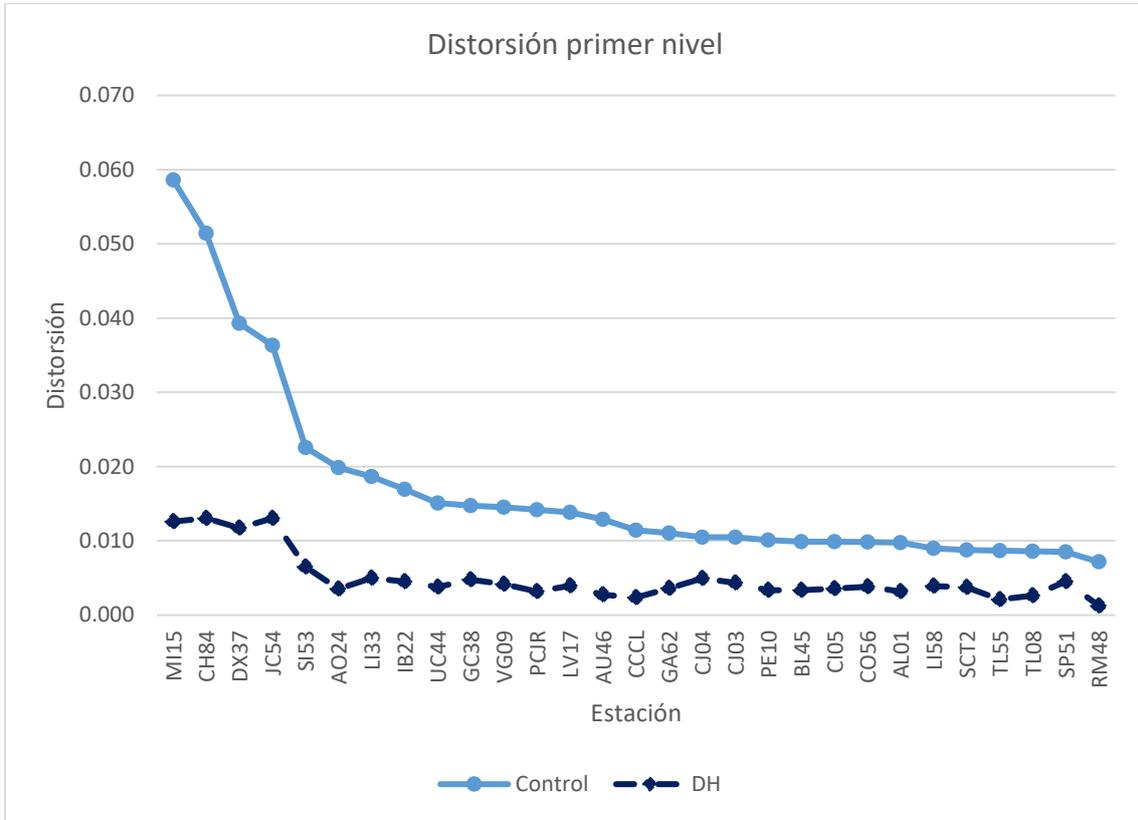


Figura 5.391. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

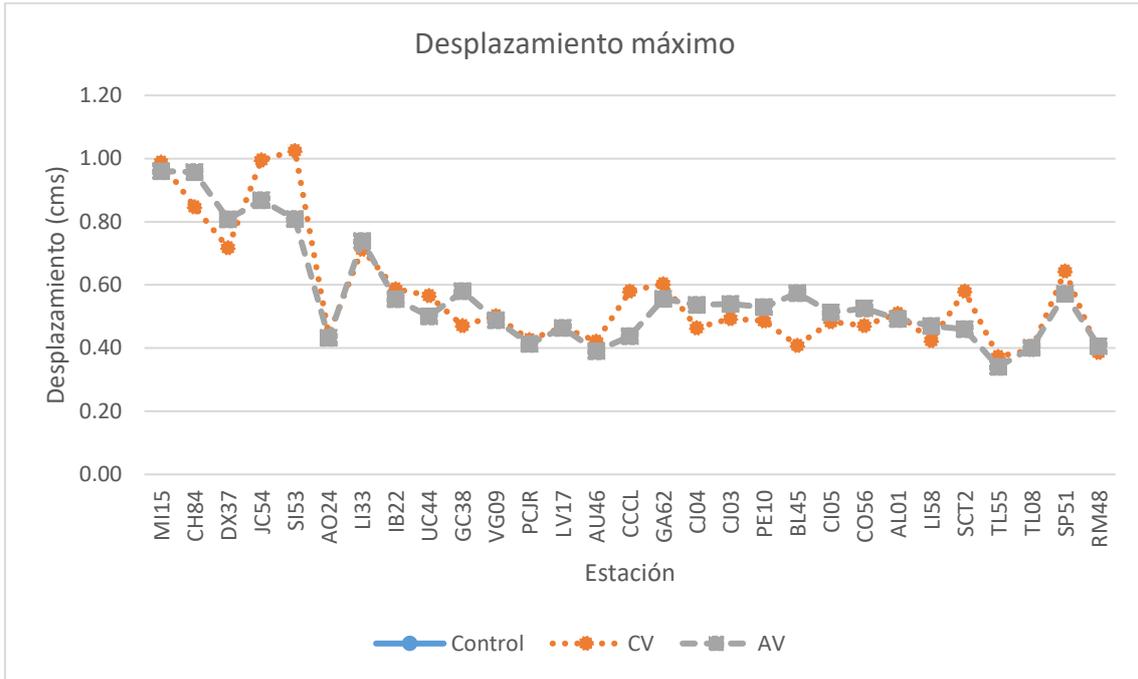


Figura 5.392. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

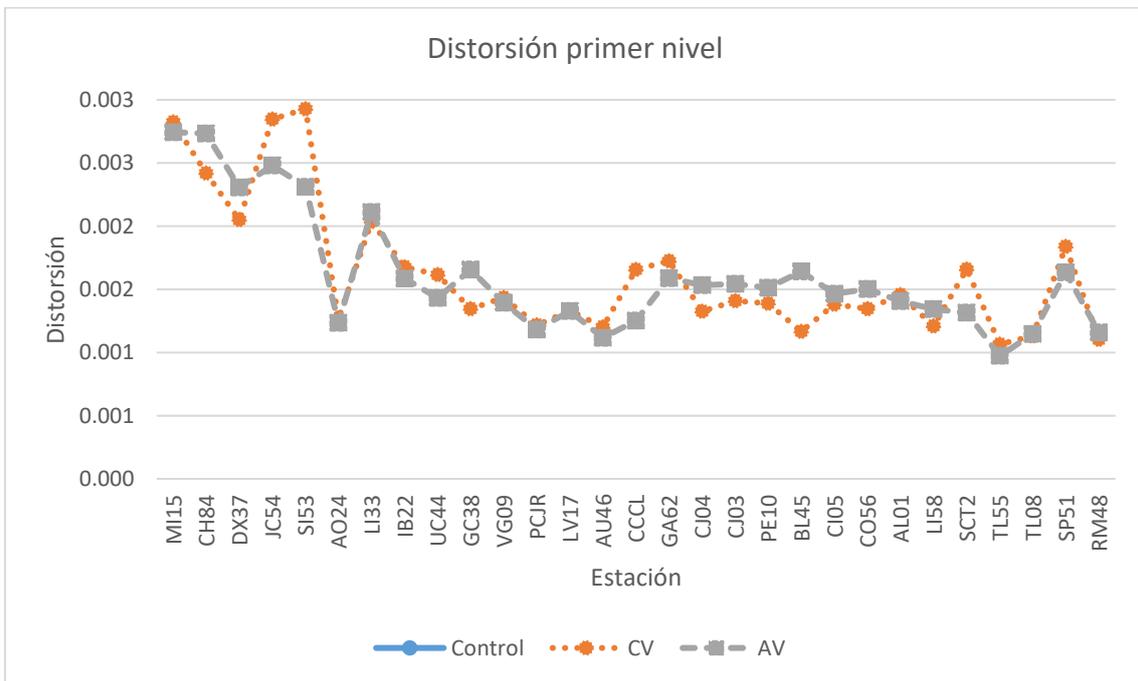


Figura 5.393. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

La figura Figura 5.391 para el modelo numérico de control para todos los registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5, debido a estas distorsiones de entrepiso del primer nivel se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. En los casos del edificio con dispositivos de comportamiento viscoso y contravientos se tiene que la distorsión de entrepiso del primer nivel no sobrepasa lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. El edificio con disipadores de energía tipo TADAS se tiene que el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17 (tabla Tabla 5.152).

5.6.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.394 y Figura 5.395 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco anteriormente descrito. La tabla Tabla 5.153 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.394 y Figura 5.395.

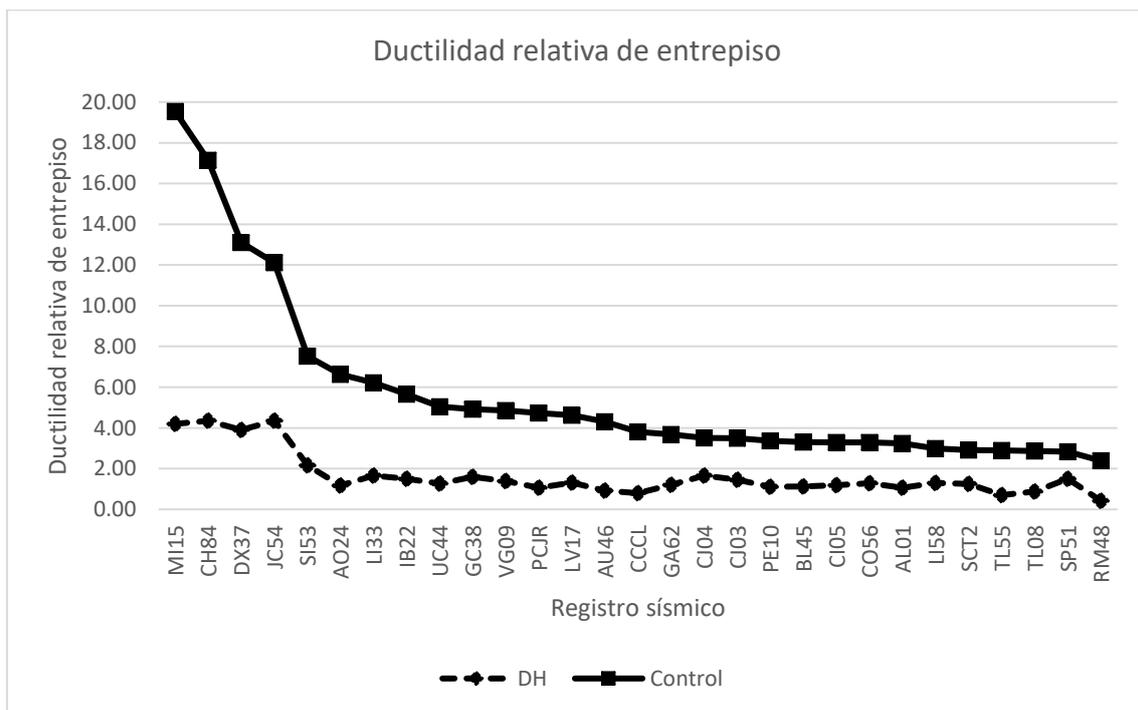


Figura 5.394. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

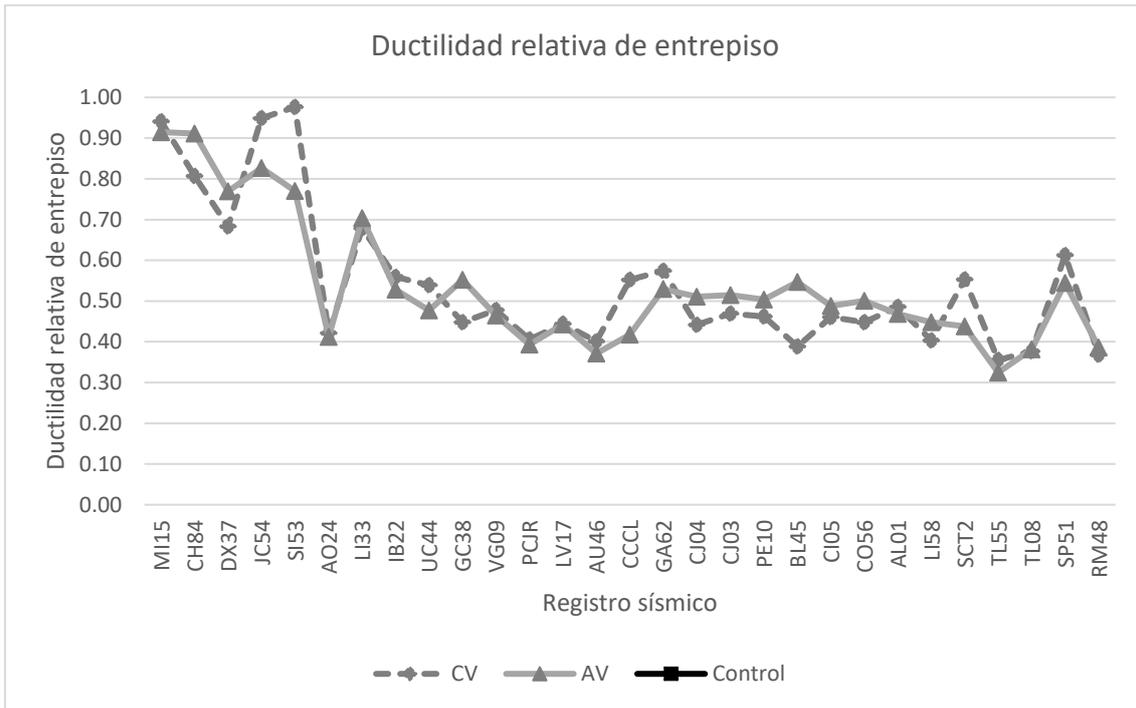


Figura 5.395. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.153. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	19.54	0.98	0.91	4.35
Mínimo	2.39	0.36	0.32	0.42
Promedio	5.66	0.54	0.54	1.65

5.6.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.396 y Figura 5.397 muestran la rotación máxima de la columna de control obtenida del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos. La tabla Tabla 5.154 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.396 y Figura 5.397.

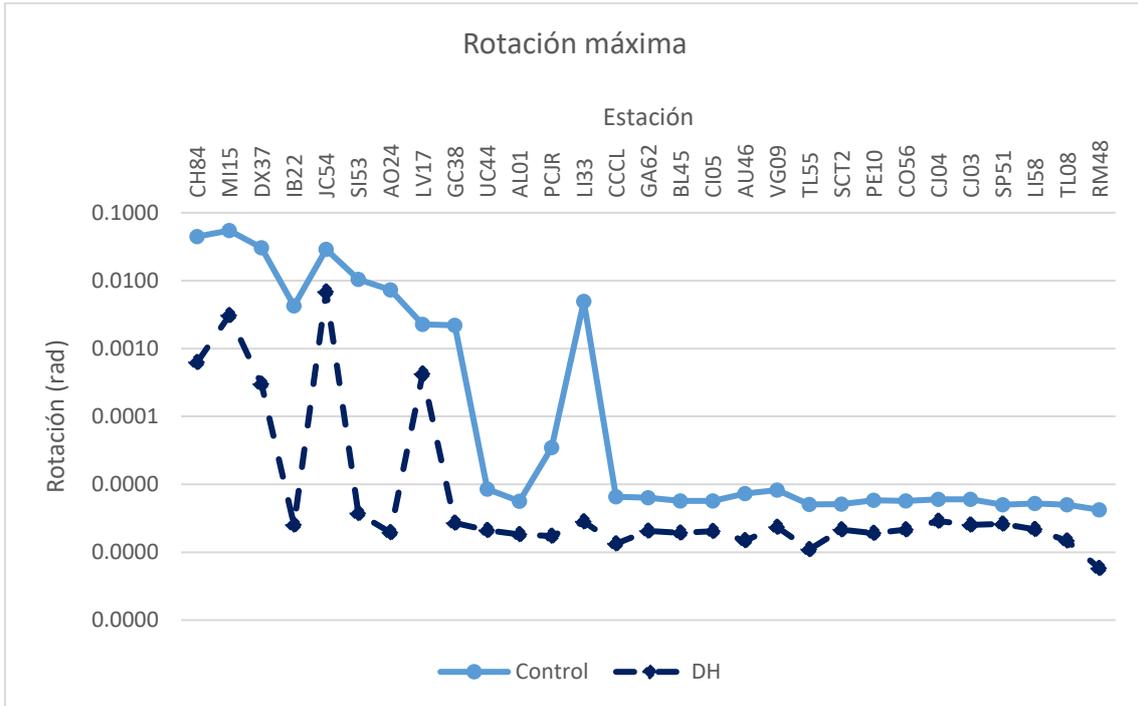


Figura 5.396. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

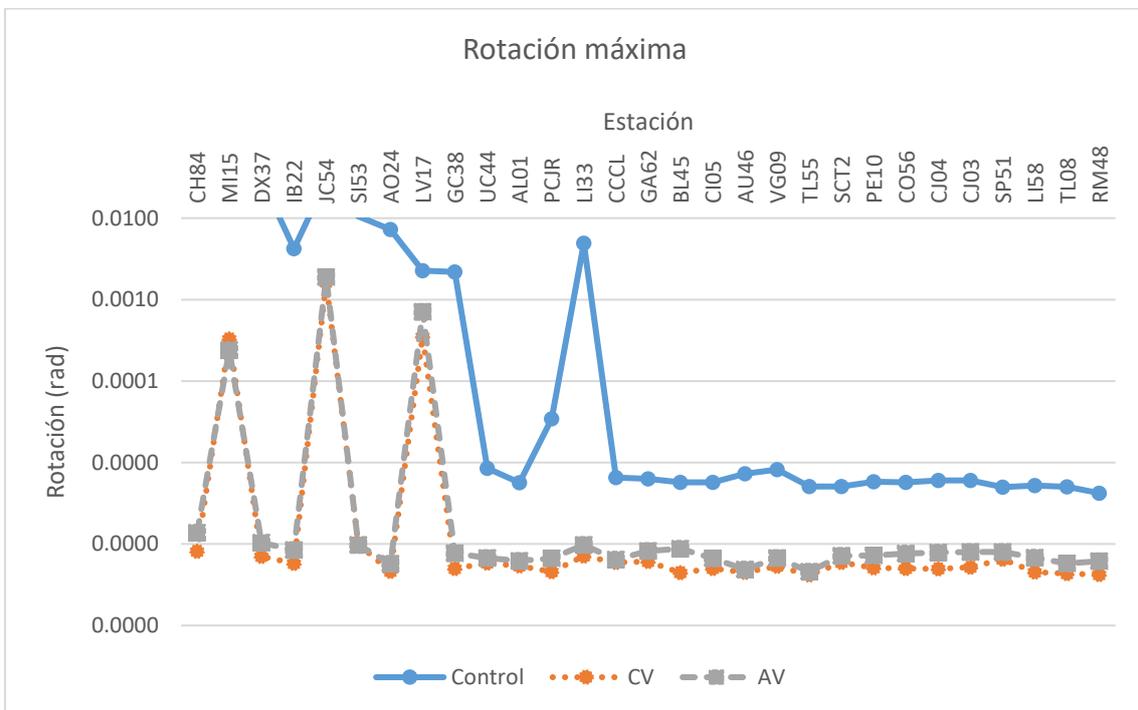


Figura 5.397. Rotación máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.



Tabla 5.154. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	5.48E-02	1.63E-03	1.89E-03	6.87E-03
Mínimo	4.22E-06	4.16E-07	4.59E-07	5.80E-07
Promedio	6.56E-03	8.05E-05	9.86E-05	3.92E-04

5.6.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.398 y Figura 5.399 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número cinco. La tabla Tabla 5.155 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.398 y Figura 5.399.

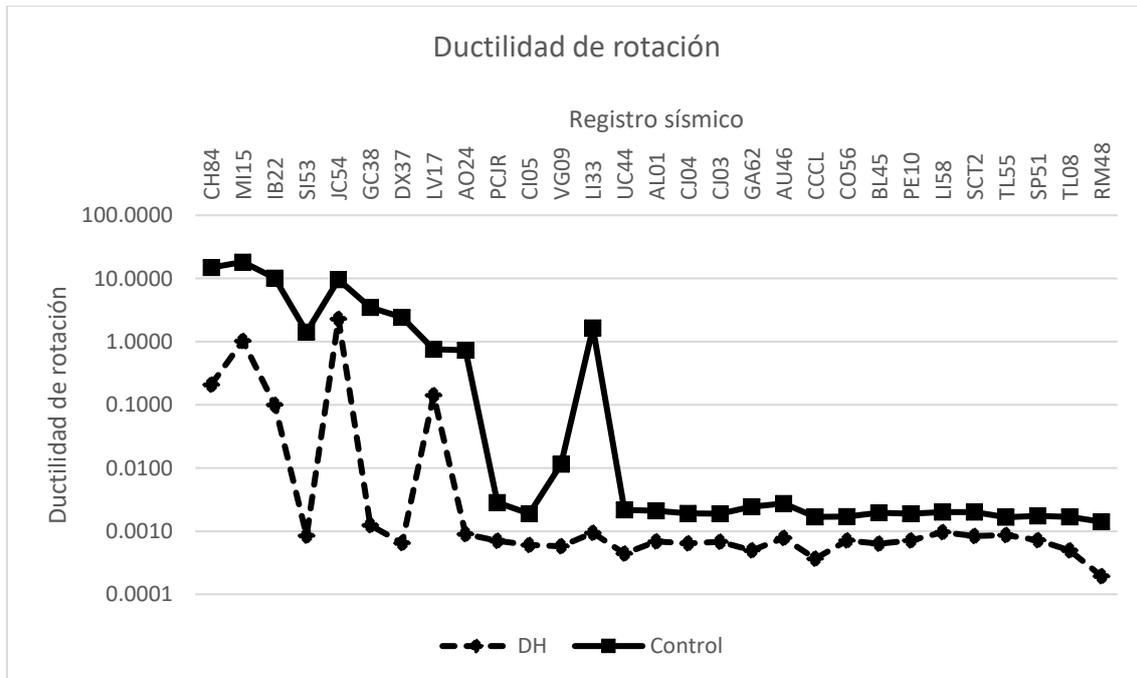


Figura 5.398. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.155. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	1.83E+01	6.54E-01	7.56E-01	2.29E+00
Mínimo	1.41E-03	1.67E-04	1.84E-04	1.93E-04
Promedio	2.19E+00	3.22E-02	3.94E-02	1.31E-01

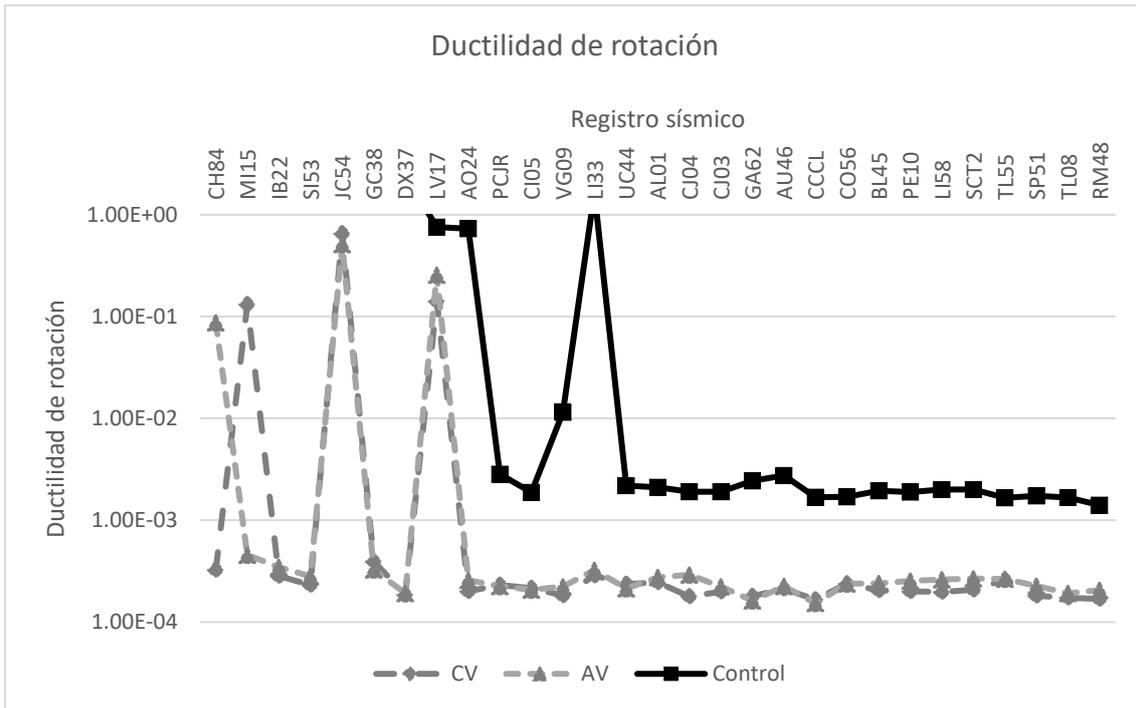


Figura 5.399. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

5.6.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.400 y Figura 5.401 muestran el cortante máximo en la columna de control, la tabla Tabla 5.156 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figuras Figura 5.400 y Figura 5.401.

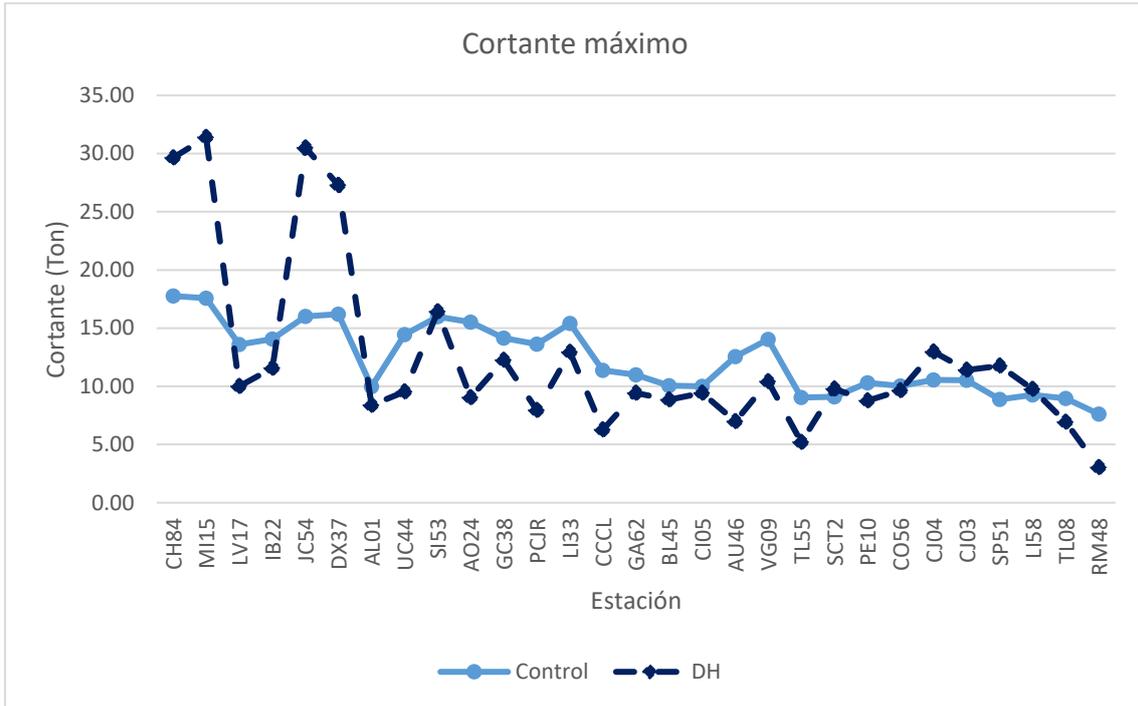


Figura 5.400. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

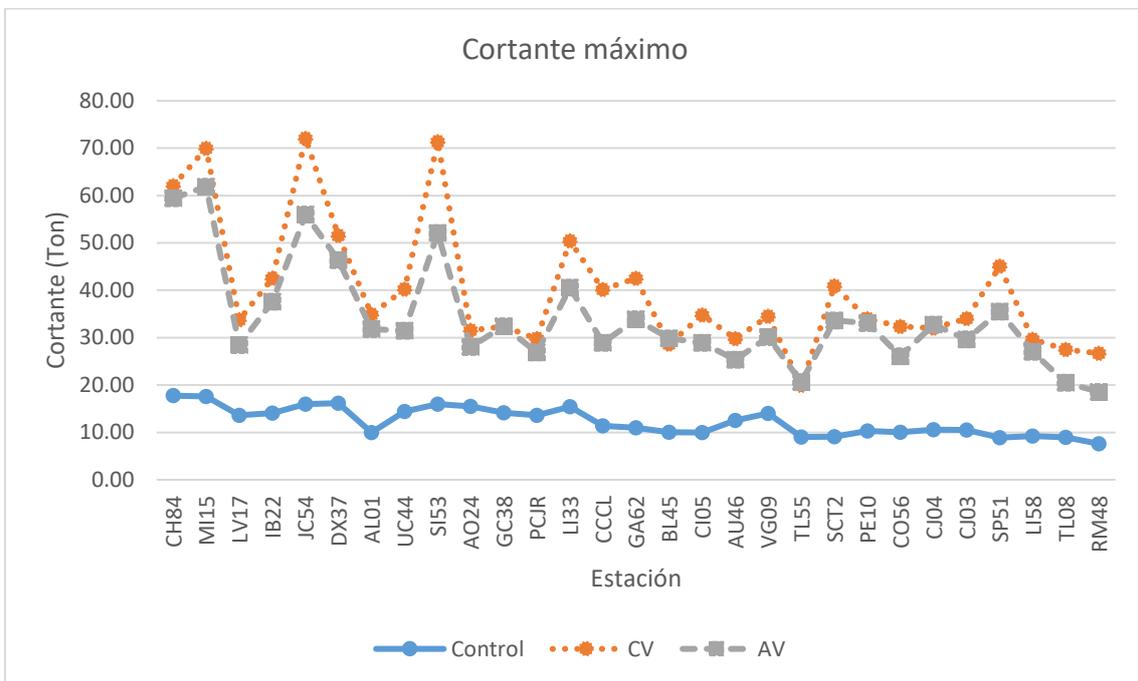


Figura 5.401. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.156. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	17.76	72.06	61.87	31.40
Mínimo	7.61	19.94	18.57	3.04
Promedio	12.33	39.83	34.06	12.33

La figura Figura 5.402 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal, la tabla Tabla 5.157 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.402.

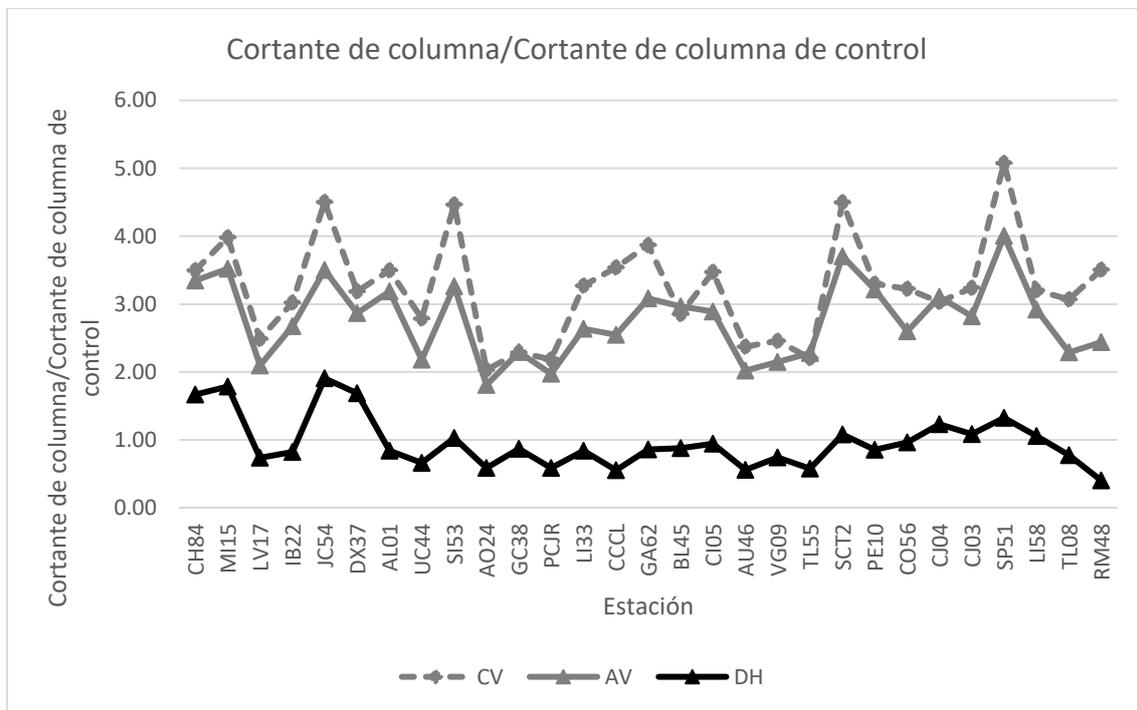


Figura 5.402. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.157. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH
Máximo	5.08	4.00	1.91
Mínimo	2.03	1.81	0.40
Promedio	3.24	2.77	0.96

5.6.2.6 Cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.403 y Figura 5.404 muestran el cortante basal del edificio número cinco, la tabla Tabla 5.158 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.403 y Figura 5.404.

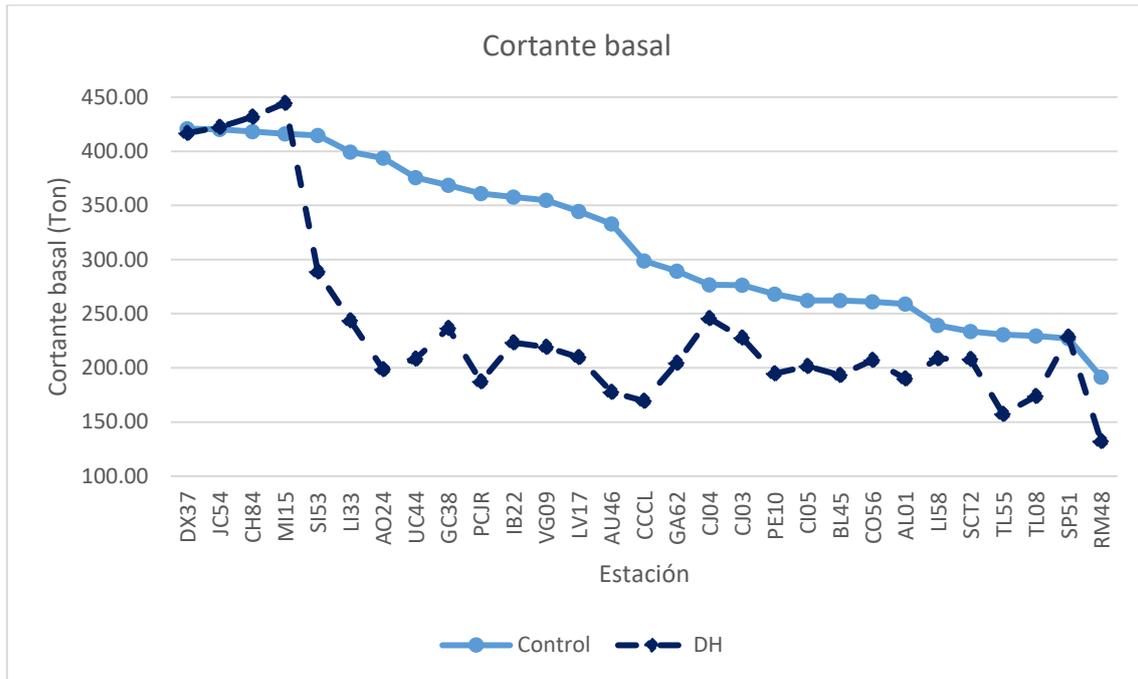


Figura 5.403. Cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.158. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	420.80	561.45	478.83	444.41
Mínimo	191.61	184.47	139.17	132.17
Promedio	316.71	310.52	261.56	236.22

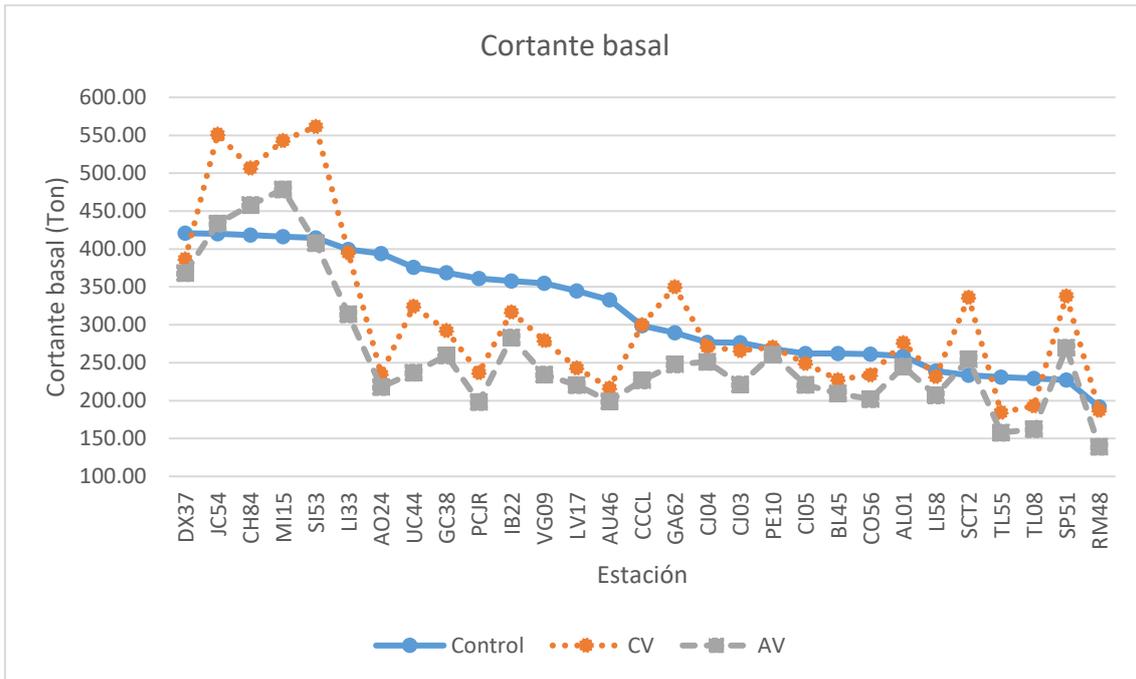


Figura 5.404. Cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

5.6.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control igual que en la sección 5.6.1.7. La figura Figura 5.405 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo la tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.405.

Tabla 5.159. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

Máximo	20.30
Mínimo	1.10
Promedio	7.04

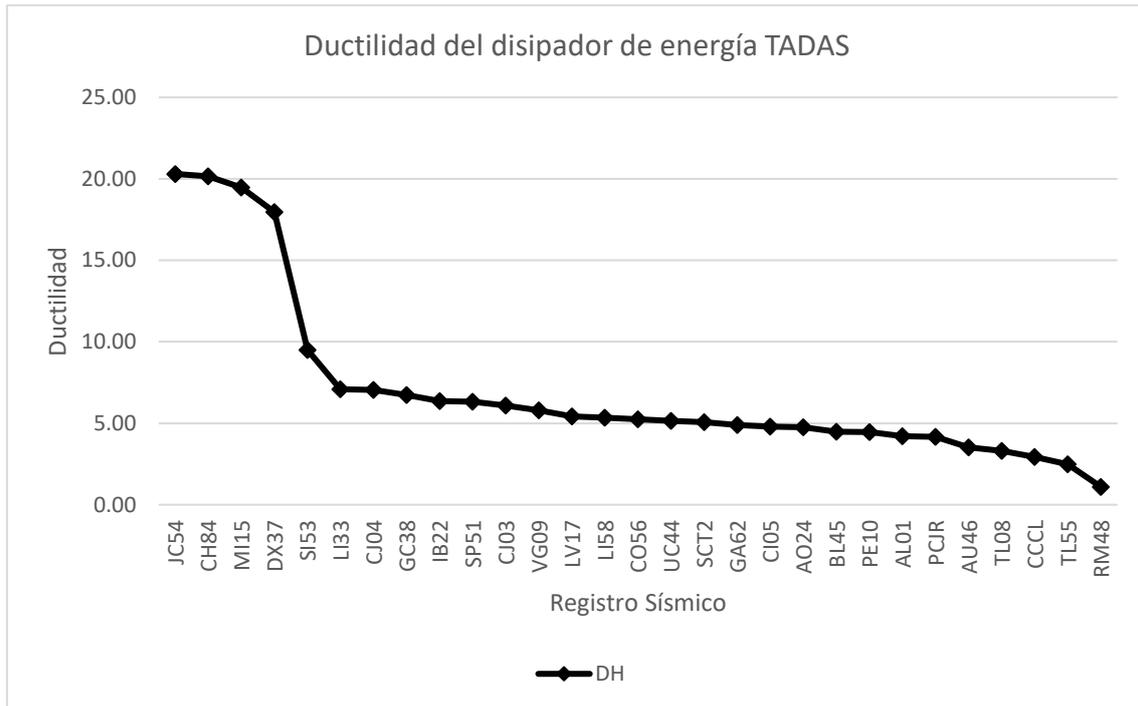


Figura 5.405. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos.

5.7.1 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

5.7.1.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

Los resultados mostrados a continuación en donde se tomó como nodo de control el nodo de la parte superior de la columna de control que se ubica en el eje D-1 (figura 4.62, capítulo 4). Las figuras Figura 5.406 y Figura 5.407 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control y del modelo numérico con dispositivos disipadores de energía tipo TADAS (DH).

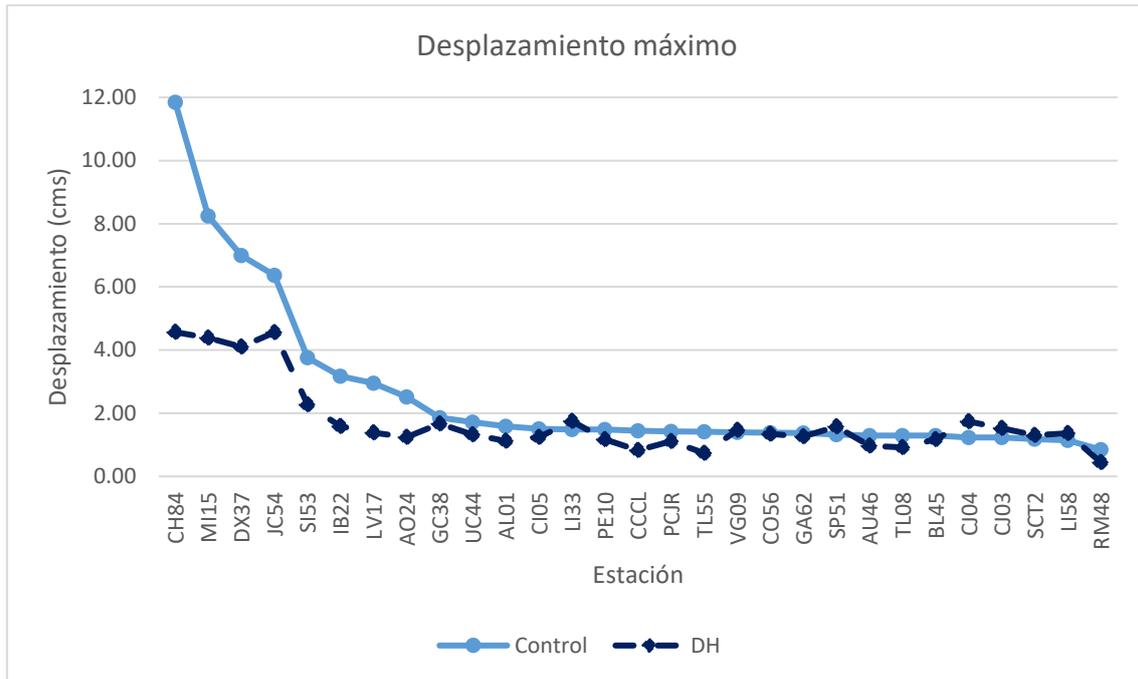


Figura 5.406. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.

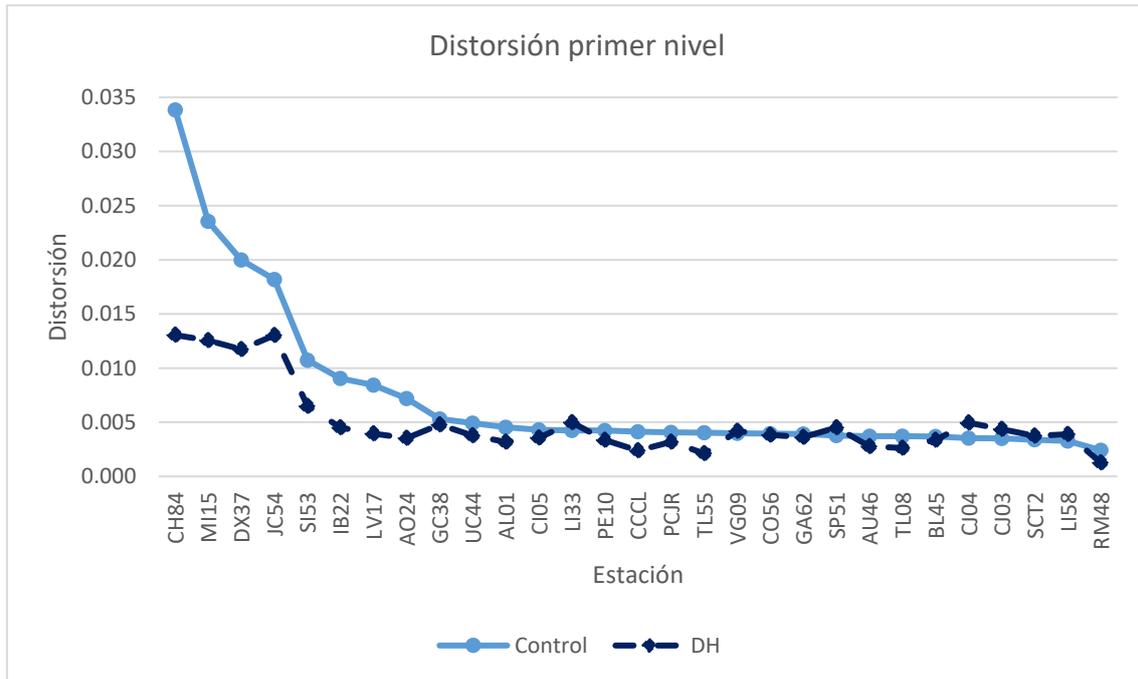


Figura 5.407. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.

Las figuras Figura 5.408 y Figura 5.409 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos del modelo numérico de control, modelo numérico con contravientos (CV), y el modelo numérico de dispositivos disipadores de energía tipo comportamiento viscoso (AV).

Tabla 5.160. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	11.85	0.034	1.43	0.004
Mínimo	0.85	0.002	0.25	0.001
Promedio	2.58	0.007	0.48	0.001
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	1.91	0.005	4.57	0.013
Mínimo	0.40	0.001	0.44	0.001
Promedio	0.75	0.002	1.73	0.005

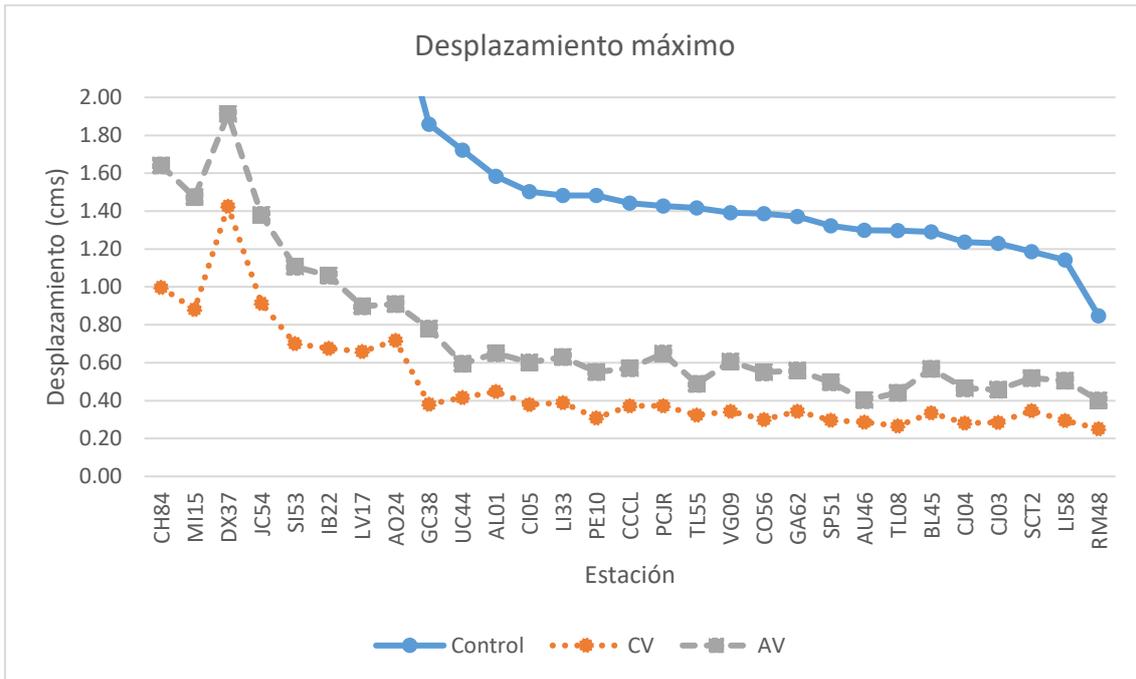


Figura 5.408. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.

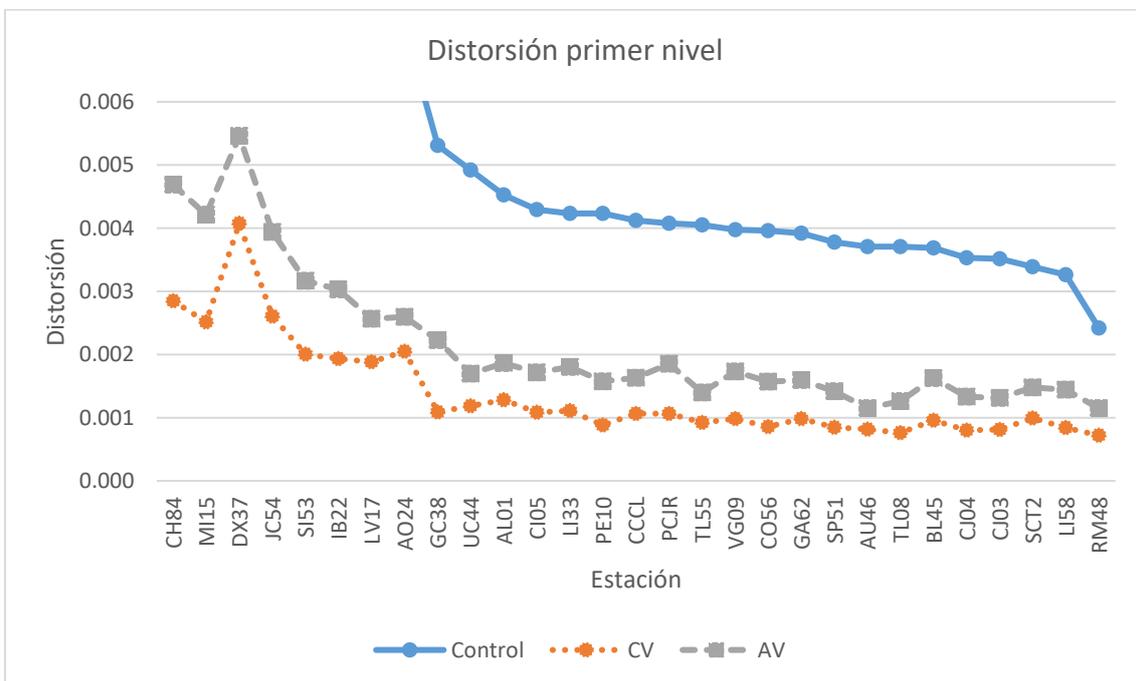


Figura 5.409. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos.

Se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos ya que en la figura Figura 5.407 para el modelo numérico de control para los primeros ocho registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5. Para el caso de este mismo edificio con contraviento se tiene que para todos los registros sísmicos su distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17 (tabla Tabla 5.160). Para el caso de este mismo edificio con disipadores de energía de tipo viscoso de tiene que el valor máximo de distorsión de entrepiso del primer nivel es inferior al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17 (tabla Tabla 5.160). En el caso del edificio con disipadores de energía tipo TADAS se tiene que el valor promedio de distorsión de entrepiso del primer nivel es mayor al valor máximo permitido por las NTC-Sismo 17 (tabla Tabla 5.160).

5.7.1.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.410 y Figura 5.411 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos. La tabla Tabla 5.161 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.410 y Figura 5.411.

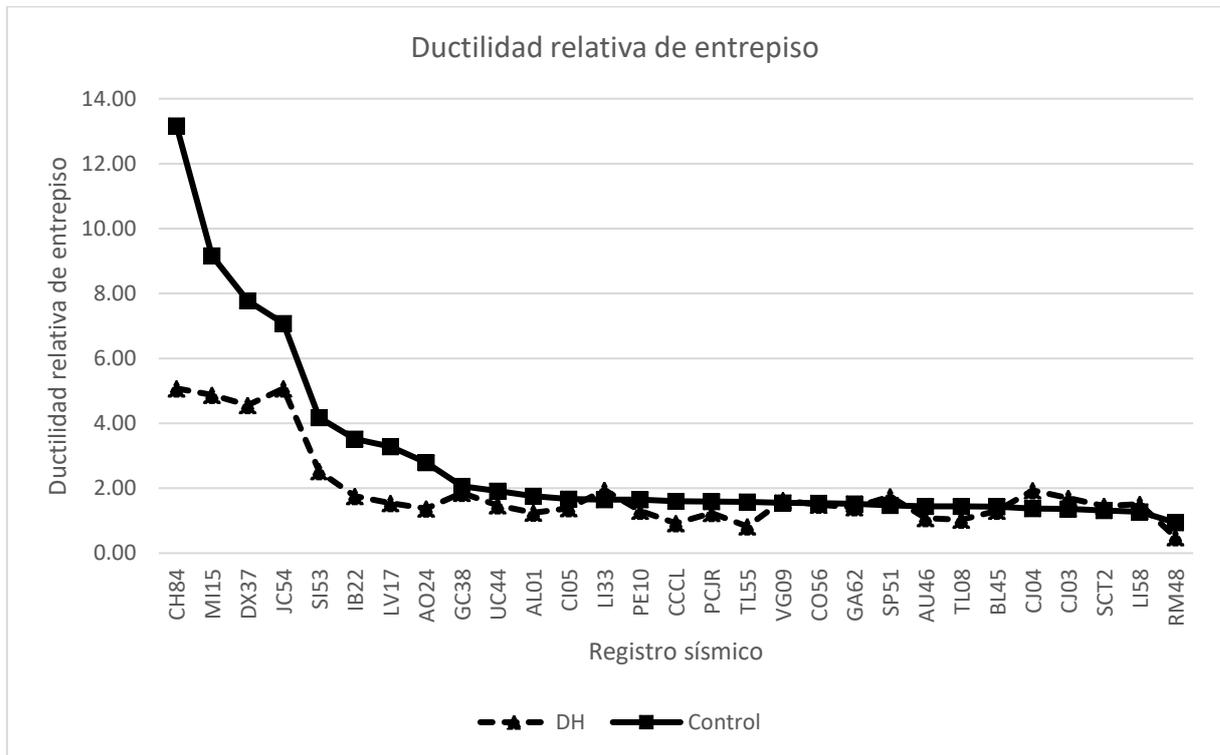


Figura 5.410. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

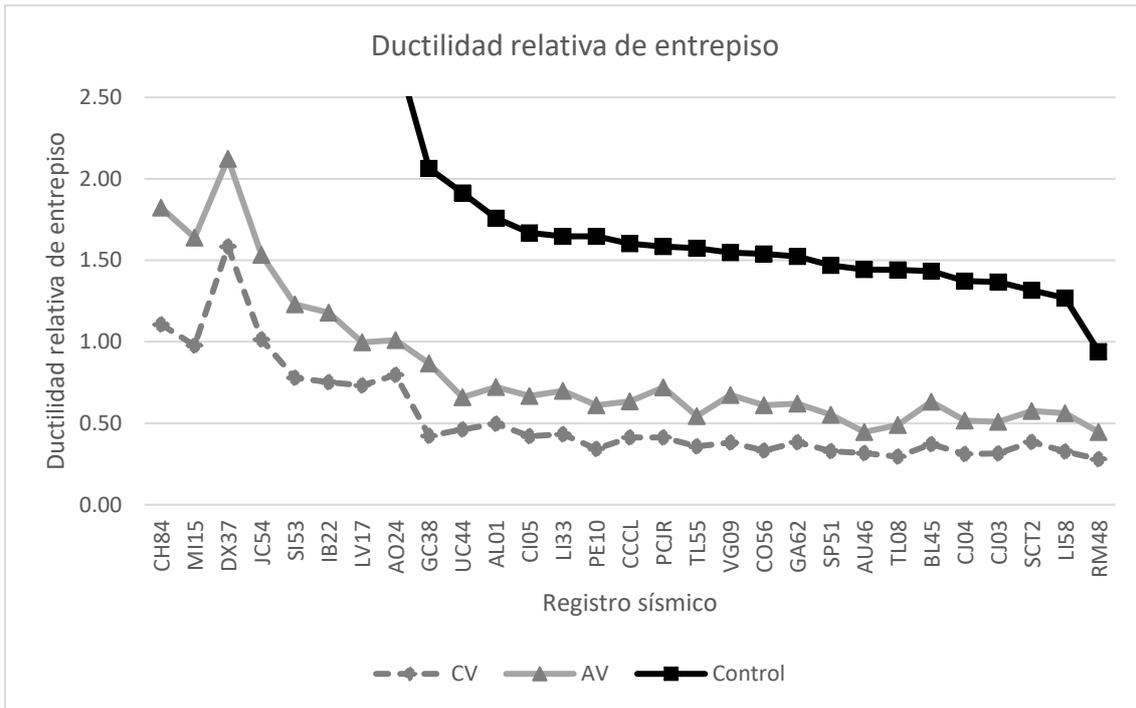


Figura 5.411. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.161. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	13.16	1.58	2.12	5.08
Mínimo	0.94	0.28	0.45	0.49
Promedio	2.87	0.54	0.84	1.92

5.7.1.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.412 y Figura 5.413 muestran la rotación máxima de la columna de control del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos. La tabla Tabla 5.162 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.412 y Figura 5.413.

Tabla 5.162. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	3.45E-02	1.22E-03	2.43E-03	6.47E-03
Mínimo	1.19E-06	1.43E-07	4.69E-07	5.80E-07



Promedio	3.25E-03	5.37E-05	1.19E-04	3.72E-04
----------	----------	----------	----------	----------

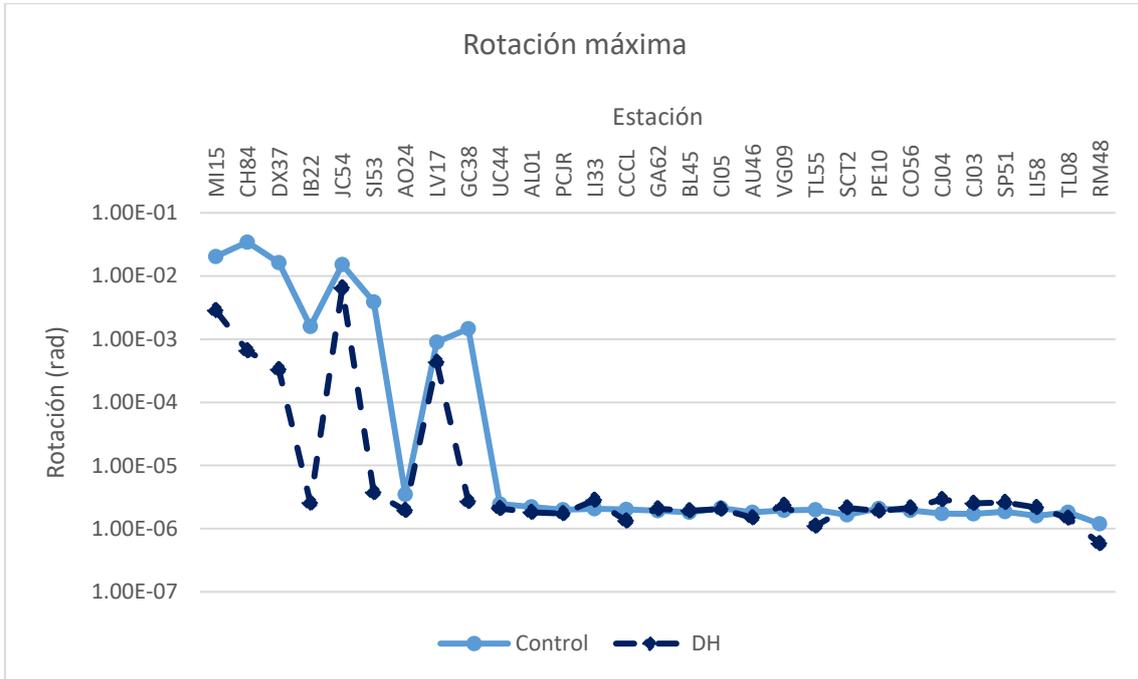


Figura 5.412. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

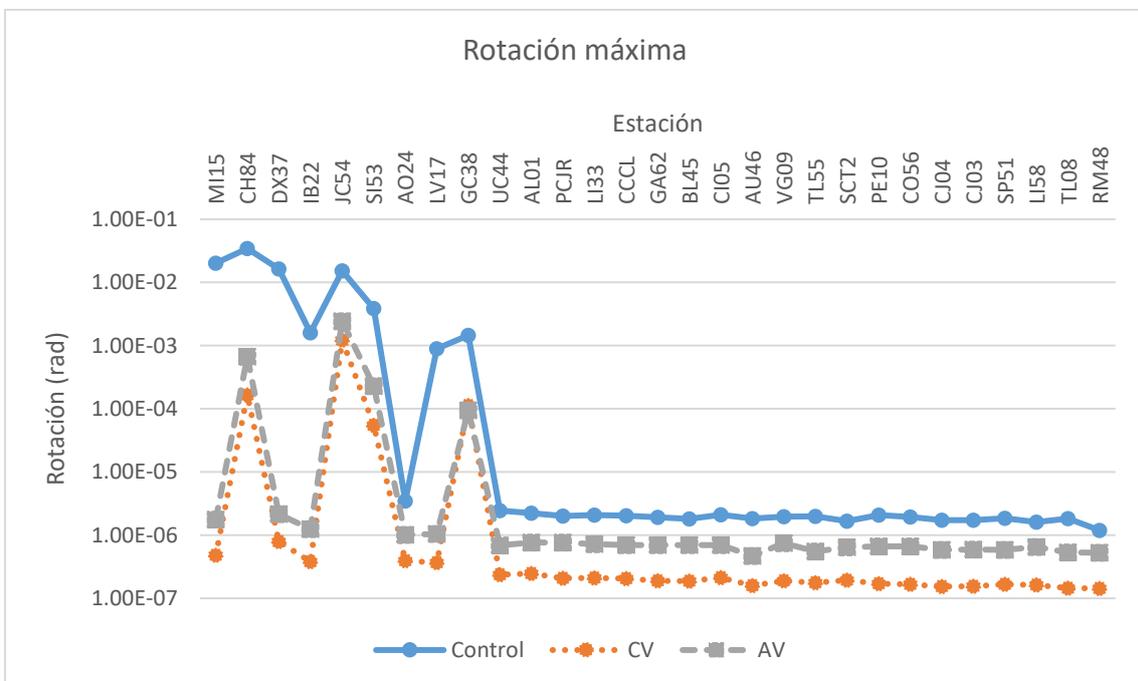


Figura 5.413. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

5.7.1.4 Ductilidad de rotación de entrespiso de la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.414 y Figura 5.415 muestran la ductilidad de rotación de entrespiso de la columna de control del primer nivel del edificio número seis anteriormente descrito. La tabla Tabla 5.163 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.414 y Figura 5.415.

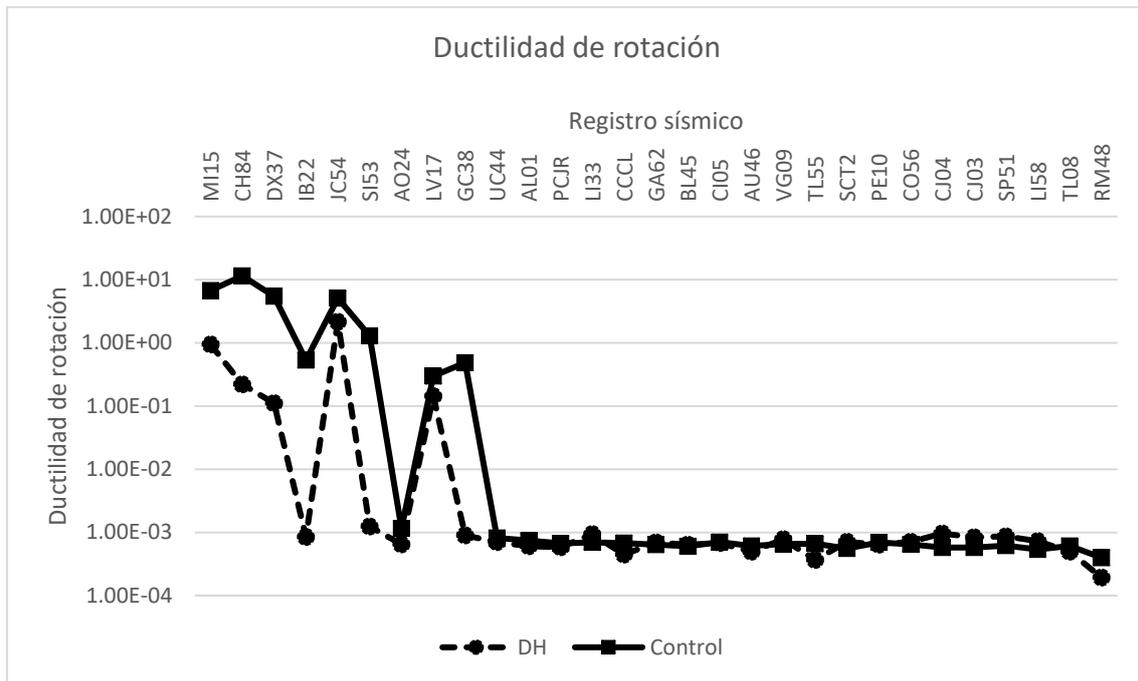


Figura 5.414. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.163. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	11.49	0.41	0.81	2.16
Mínimo	3.98E-04	4.78E-05	1.56E-04	1.93E-04
Promedio	1.08	0.02	0.04	0.12

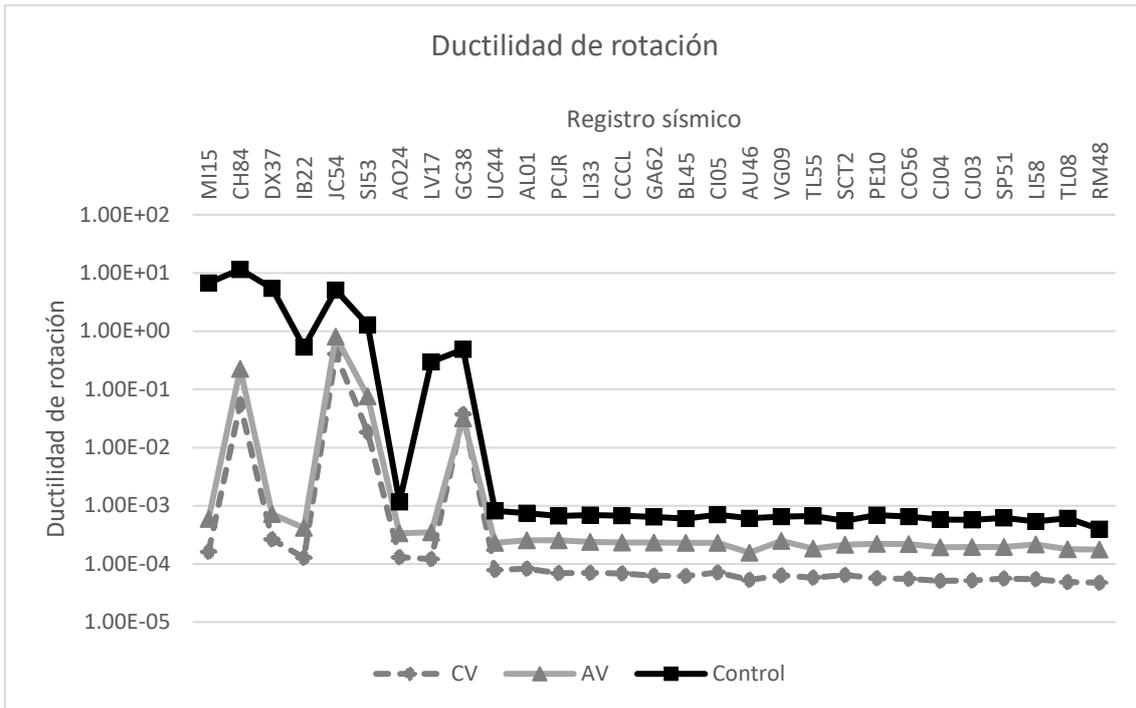


Figura 5.415. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

5.7.1.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.416 y Figura 5.417 muestran el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos se tomó como columna de control para el modelo numérico con contravientos y para el modelo numérico con dispositivos de comportamiento viscoso la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.62, capítulo 4), para el modelo numérico con dispositivos tipo TADAS la columna ubicada en el eje D-1 (figura 4.62, capítulo 4), la tabla Tabla 5.164 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figuras Figura 5.416 y Figura 5.417.

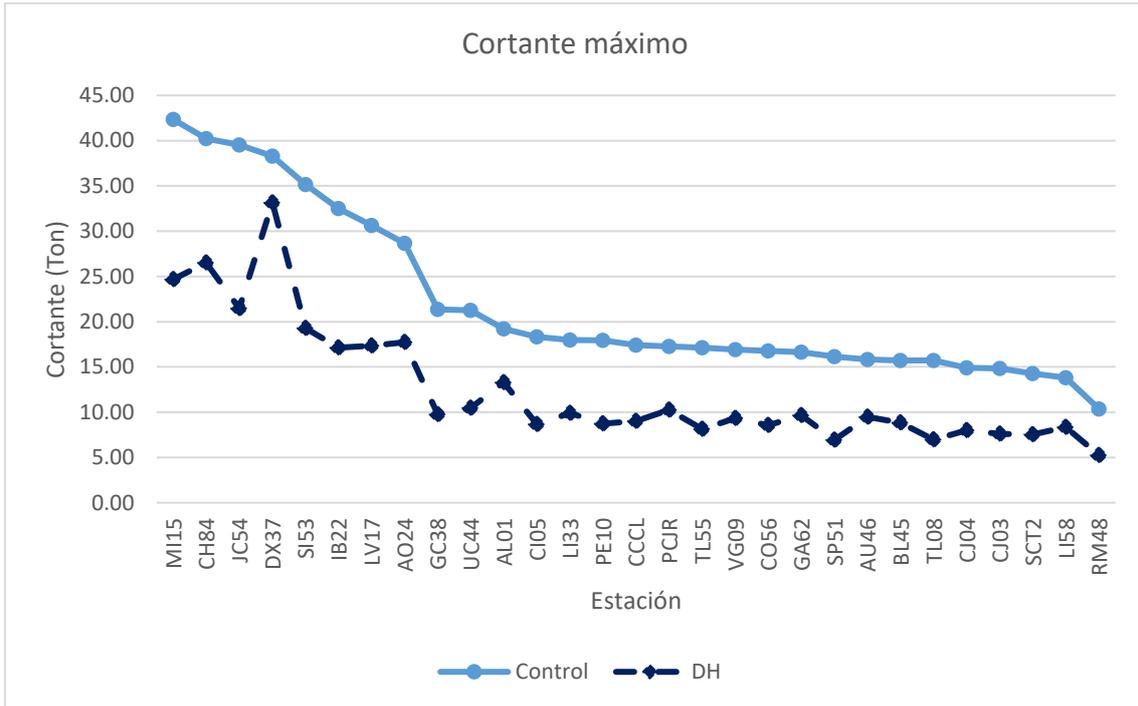


Figura 5.416. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

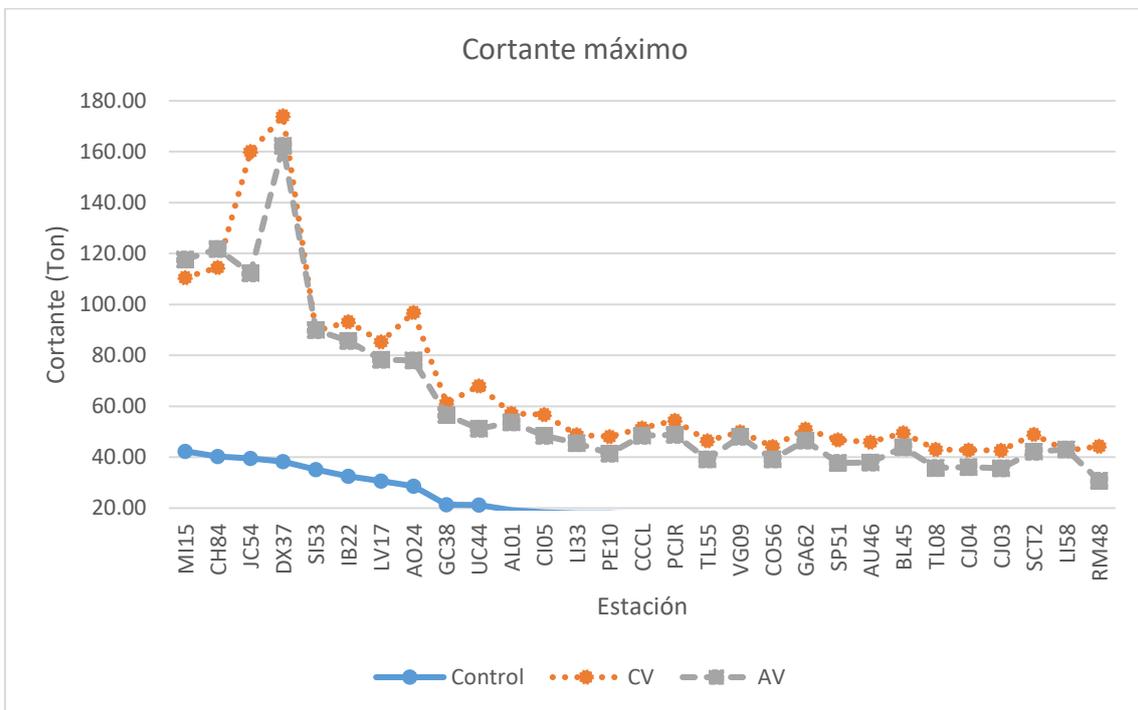


Figura 5.417. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.



Tabla 5.164. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	42.35	174.03	162.24	33.15
Mínimo	10.37	42.59	30.82	5.26
Promedio	21.97	67.87	60.56	12.48

La figura Figura 5.418 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos y la tabla Tabla 5.165 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.418.

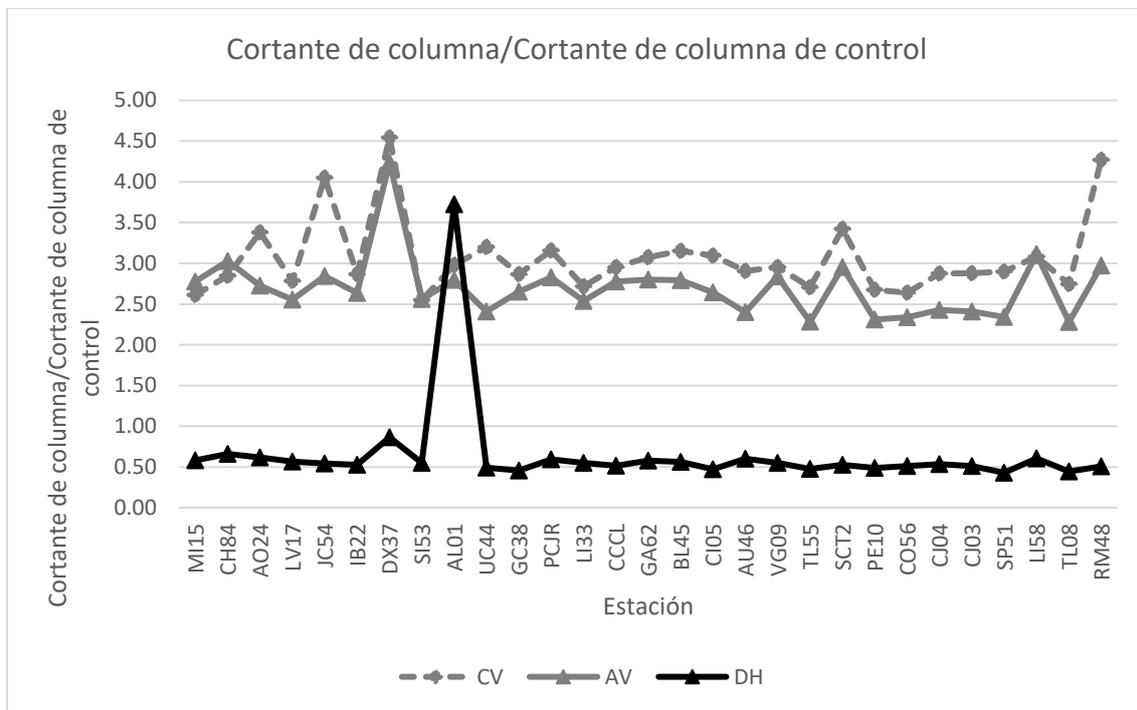


Figura 5.418. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.165. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

	CV	AV	DH
Máximo	4.54	4.24	3.72
Mínimo	2.55	2.28	0.43
Promedio	3.06	2.70	0.66

5.7.1.6 Cortante basal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.419 y Figura 5.420 muestran el cortante basal del edificio número cinco con columnas no confinadas la tabla Tabla 5.166 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.419 y Figura 5.420.

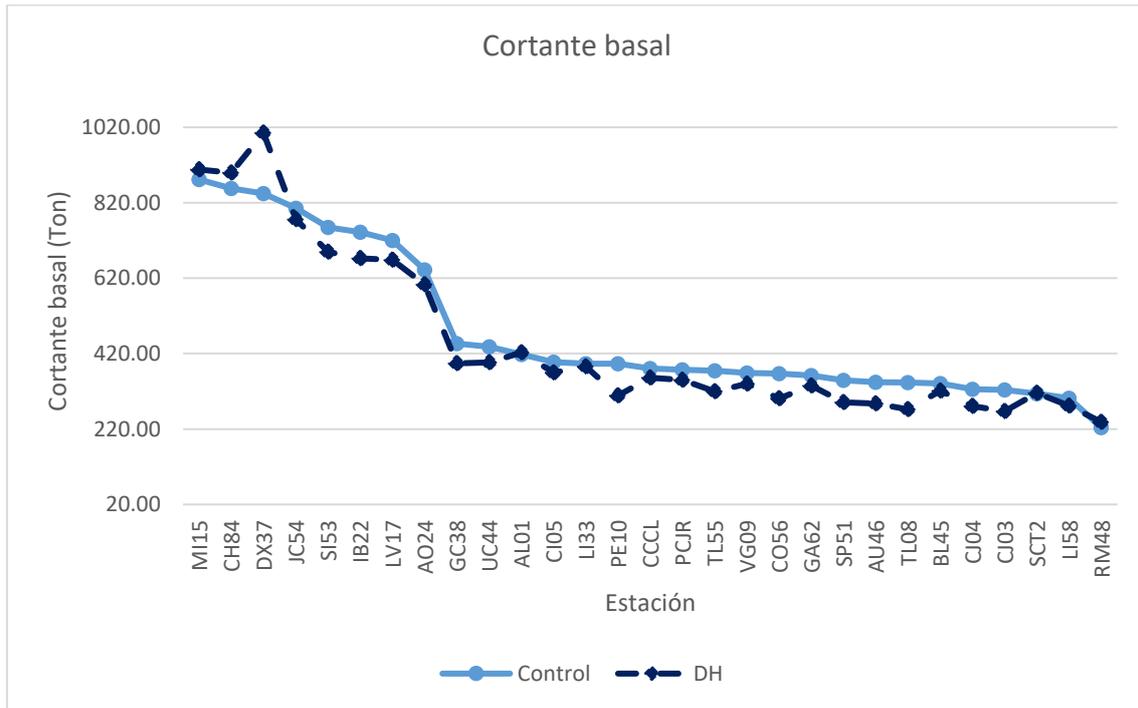


Figura 5.419. Cortante basal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.166. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número cinco con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	881.45	1341.00	1178.60	1005.20
Mínimo	223.82	236.04	221.29	238.59
Promedio	476.97	450.84	423.65	450.27

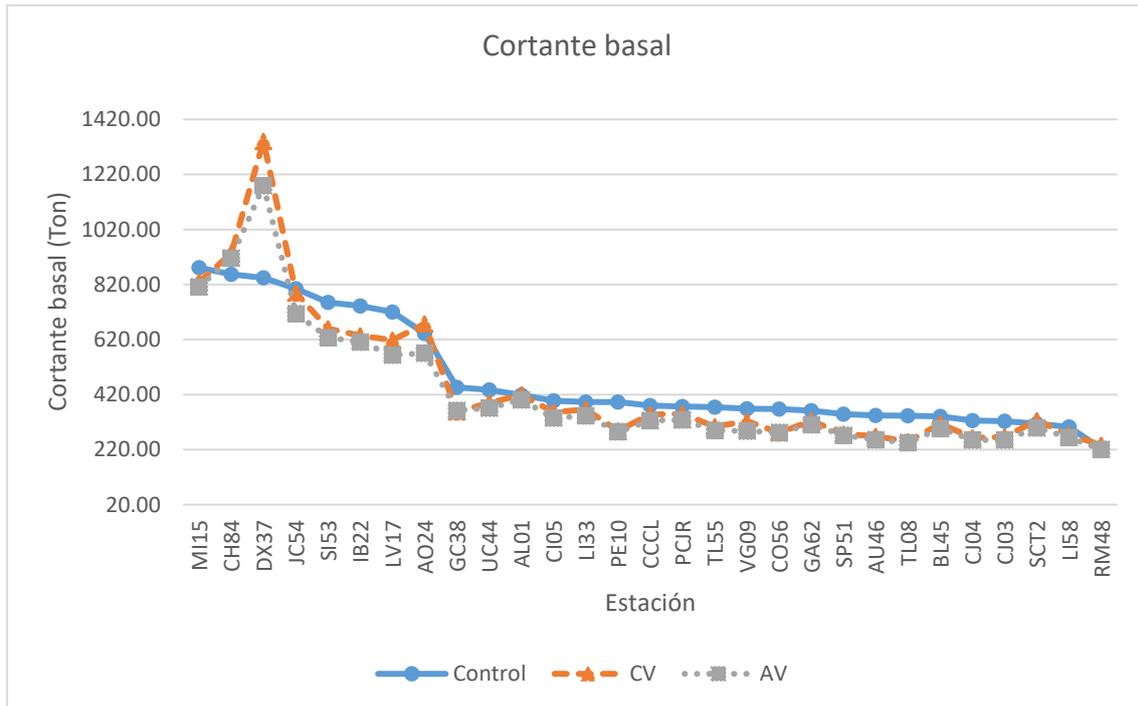


Figura 5.420. Cortante basal del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

5.7.1.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control el que está ubicado entre los ejes uno, D, y E (figura 4.62, capítulo 4). La figura 5.421 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo obtenido del análisis dinámico no lineal y la tabla 5.167 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura 5.421.

5.7.2 Resultados del análisis dinámico no lineal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos

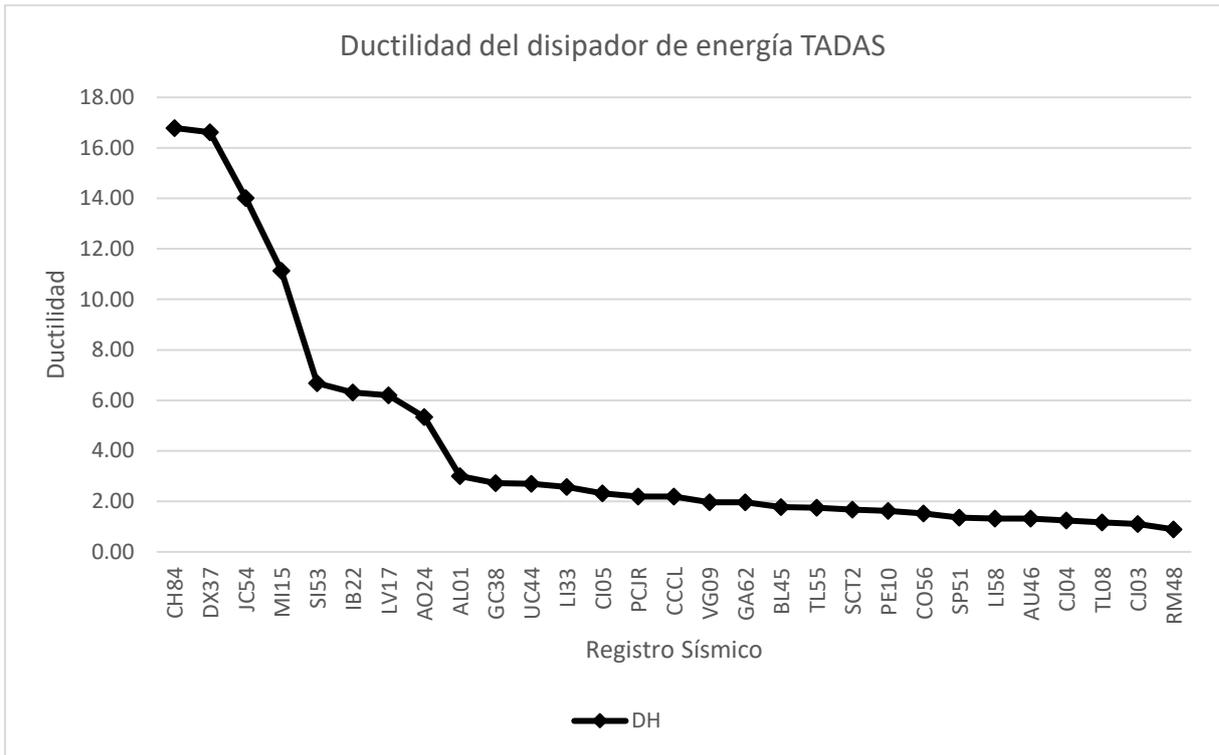


Figura 5.421. Ductilidad del dispositivo dissipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.167. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo dissipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	16.79
Mínimo	0.89
Promedio	4.19

5.7.2.1 Desplazamiento máximo y distorsión de entrepiso máxima del primer nivel del edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Los resultados mostrados a continuación en donde se tomó como nodo de control el nodo de la sección 5.7.1.1. Las figuras Figura 5.422 a Figura 5.425 muestran los resultados de desplazamiento y distorsión máximos de entrepiso del primer nivel obtenidos del análisis dinámico no lineal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

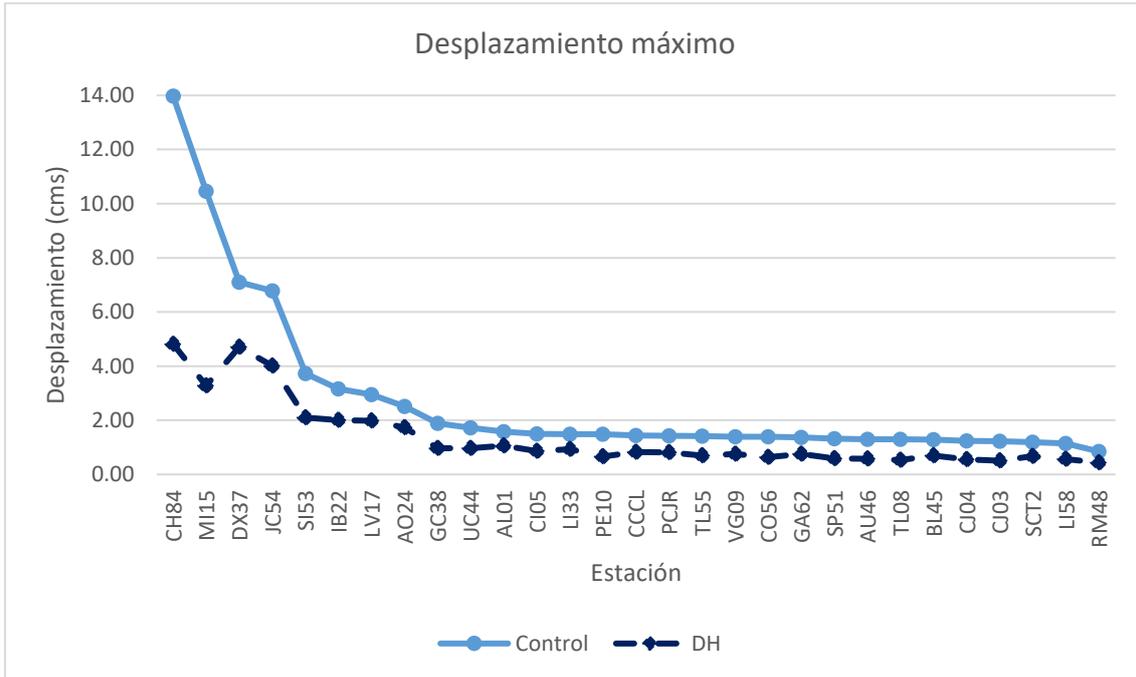


Figura 5.422. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

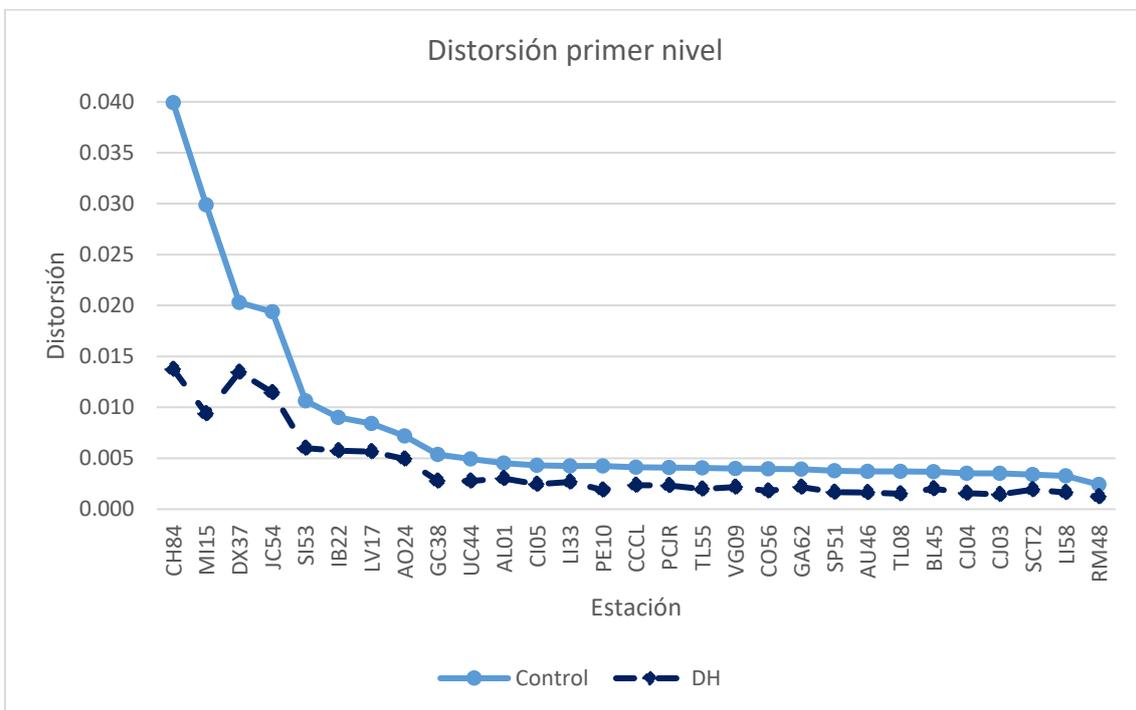


Figura 5.423. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

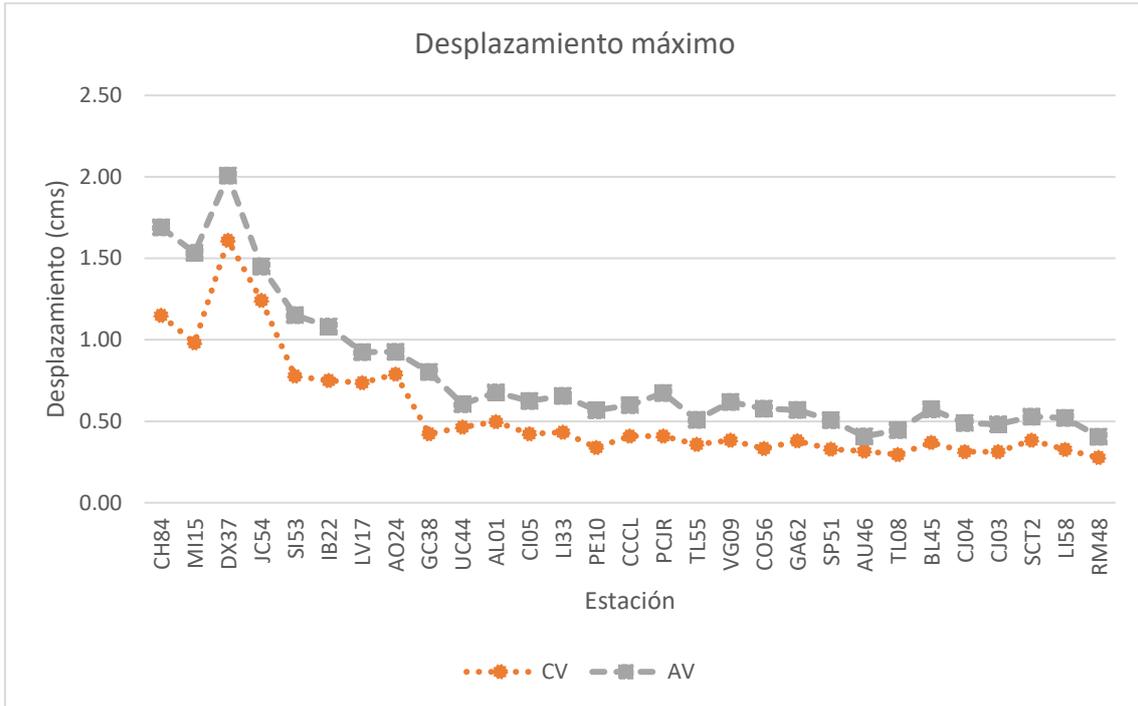


Figura 5.424. Desplazamiento máximo del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.

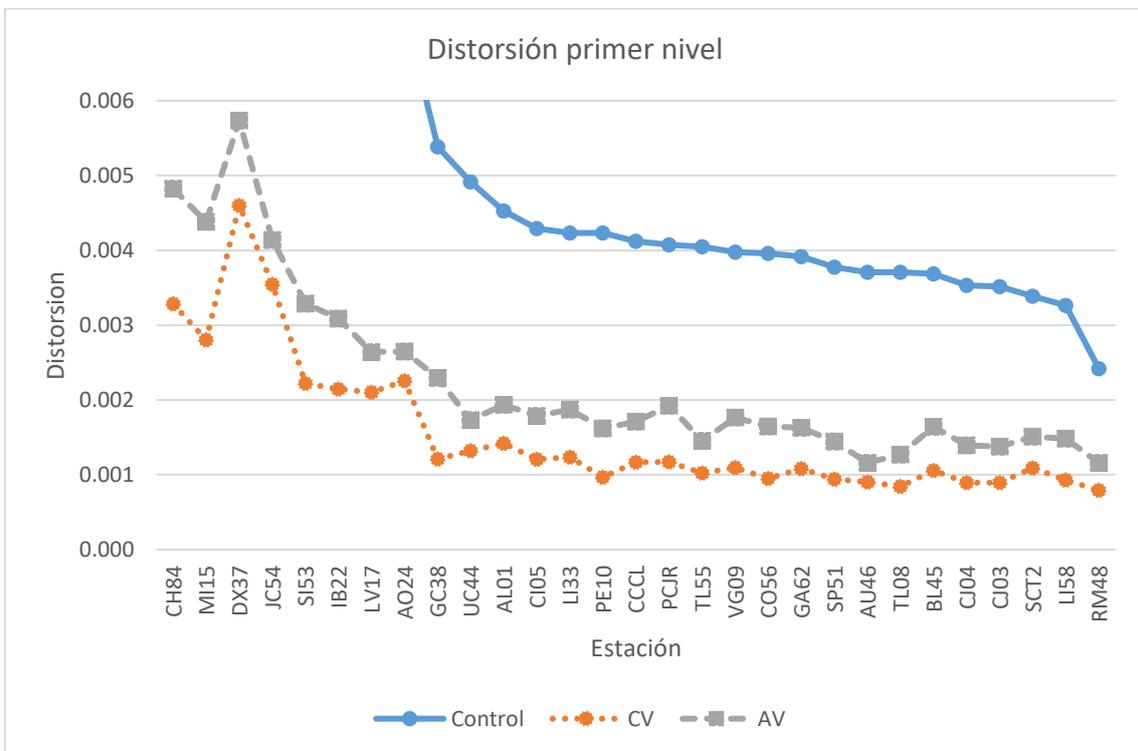


Figura 5.425. Distorsión máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos.



Tabla 5.168. Valores máximos, mínimos, y promedio de desplazamiento y distorsión del primer piso para el edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	Control dist	CV	CV dist
Máximo	13.97	0.040	1.61	0.005
Mínimo	0.85	0.002	0.28	0.001
Promedio	2.74	0.008	0.55	0.002
	AV	AV dist	DH	DH dist
Máximo	2.01	0.006	4.81	0.014
Mínimo	0.41	0.001	0.43	0.001
Promedio	0.78	0.002	1.37	0.004

La figura Figura 5.423 para el modelo numérico de control para los primeros ocho registros sísmicos se llegó a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5, donde no debe de ser superior a 0.006, por lo tanto, se justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. Las distorsiones de entrepiso del edificio con contravientos, con dispositivo del tipo viscoso se tiene que no exceden lo indicado por las normas. En el caso del edificio con dispositivo tipo TADAS el promedio de distorsión de entrepiso no excede lo máximo permitido indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM.

5.7.2.2 Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.426 y Figura 5.427 muestran la ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis. La tabla Tabla 5.169 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.426 y Figura 5.427.

Tabla 5.169. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	15.53	1.79	2.23	5.35
Mínimo	0.94	0.31	0.45	0.48
Promedio	3.05	0.61	0.87	1.52

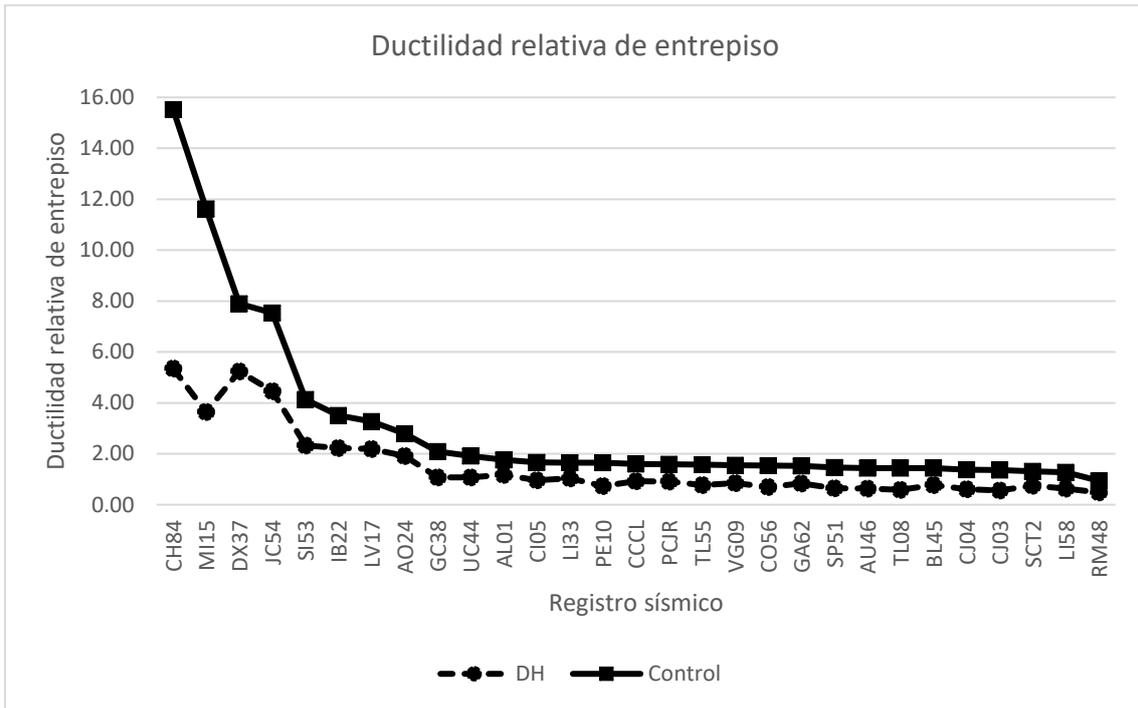


Figura 5.426. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

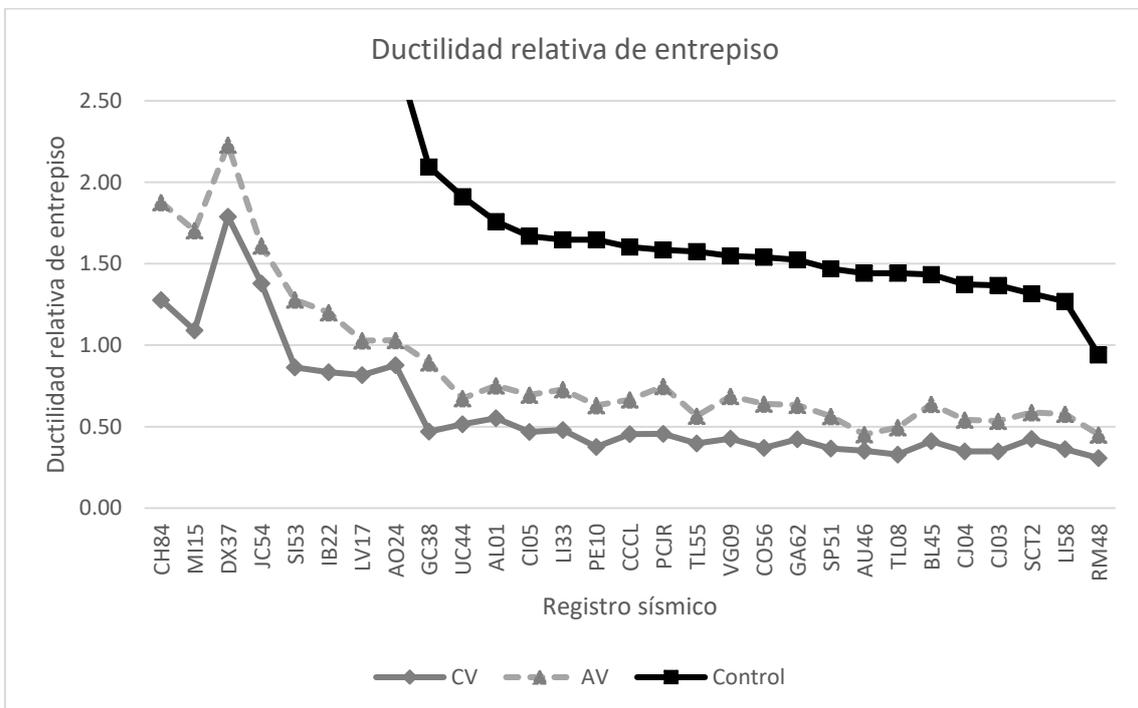


Figura 5.427. Ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.



5.7.2.3 Rotación máxima de la columna de control nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.428 y Figura 5.429 muestran la rotación máxima de la columna de control indicada en la sección 5.7.2.1. La tabla muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.428 y Figura 5.429.

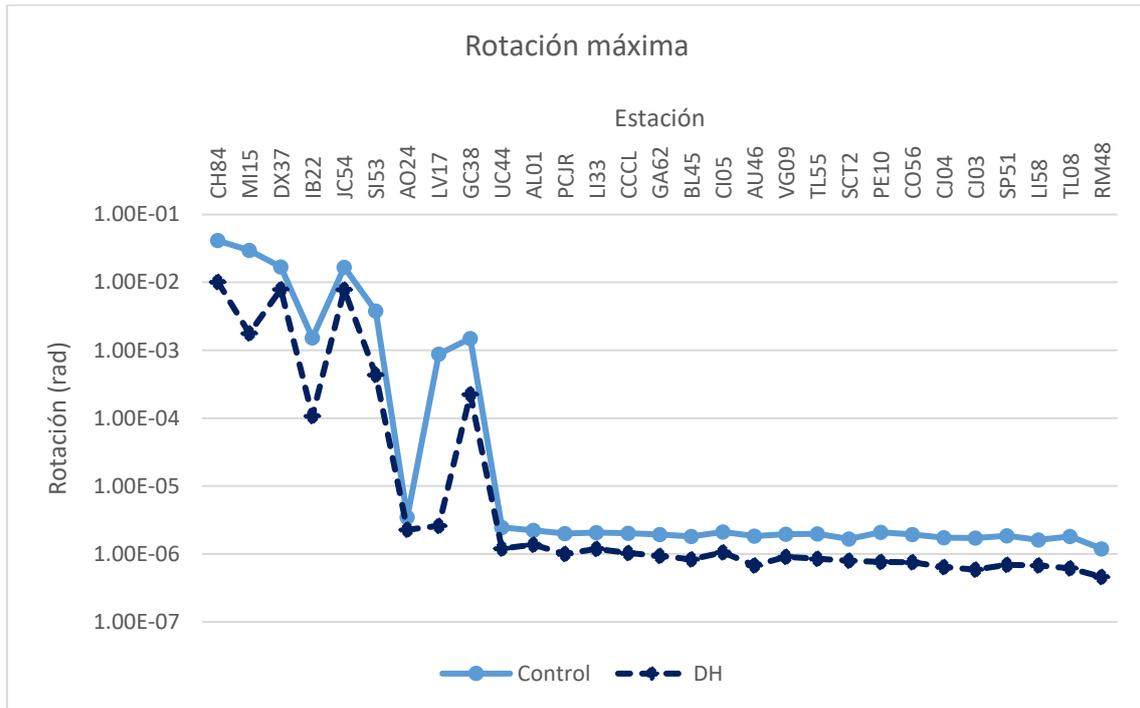


Figura 5.428. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.170. Valores máximos, mínimos, y promedio de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	4.13E-02	2.38E-03	2.43E-03	1.02E-02
Mínimo	1.19E-06	1.87E-07	4.69E-07	4.58E-07
Promedio	3.87E-03	9.19E-05	1.19E-04	9.81E-04

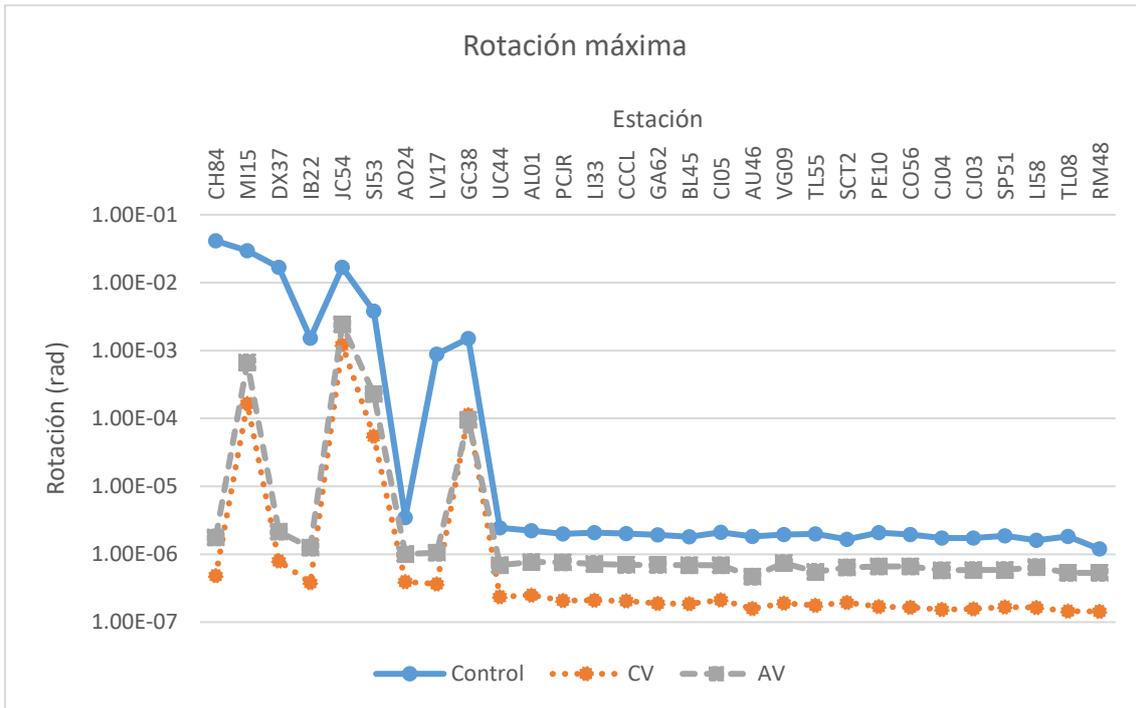


Figura 5.429. Rotación máxima del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

5.7.2.4 Ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.430 y Figura 5.431 muestran la ductilidad de rotación de entrepiso de la columna de control del primer nivel del edificio número seis. La tabla Tabla 5.171 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.430 y Figura 5.431.

Tabla 5.171. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	13.76	0.79	0.81	3.39
Mínimo	3.98E-04	6.25E-05	1.56E-04	1.53E-04
Promedio	1.29	0.03	0.04	0.33

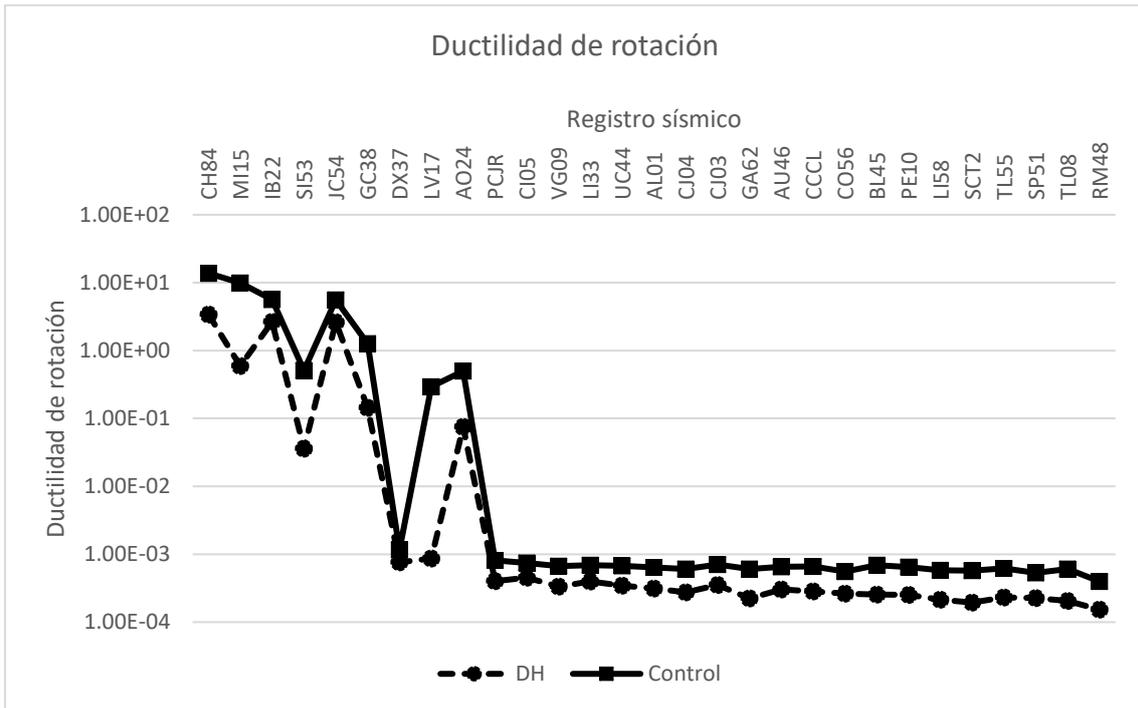


Figura 5.430. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

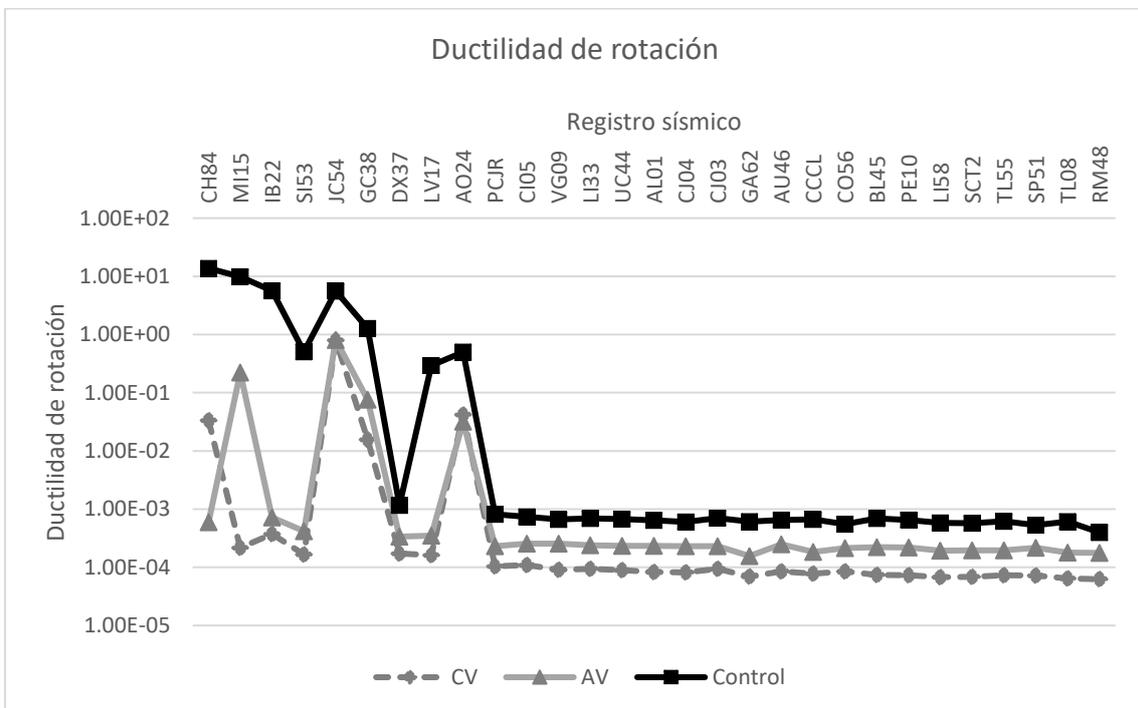


Figura 5.431. Ductilidad de rotación del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.



5.7.2.5 Cortante máximo en la columna de control del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.432 y Figura 5.433 muestran el cortante máximo en la columna de control obtenido del análisis dinámico no lineal del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos se tomó como columna de control como el indicado en la sección 5.7.1.5.

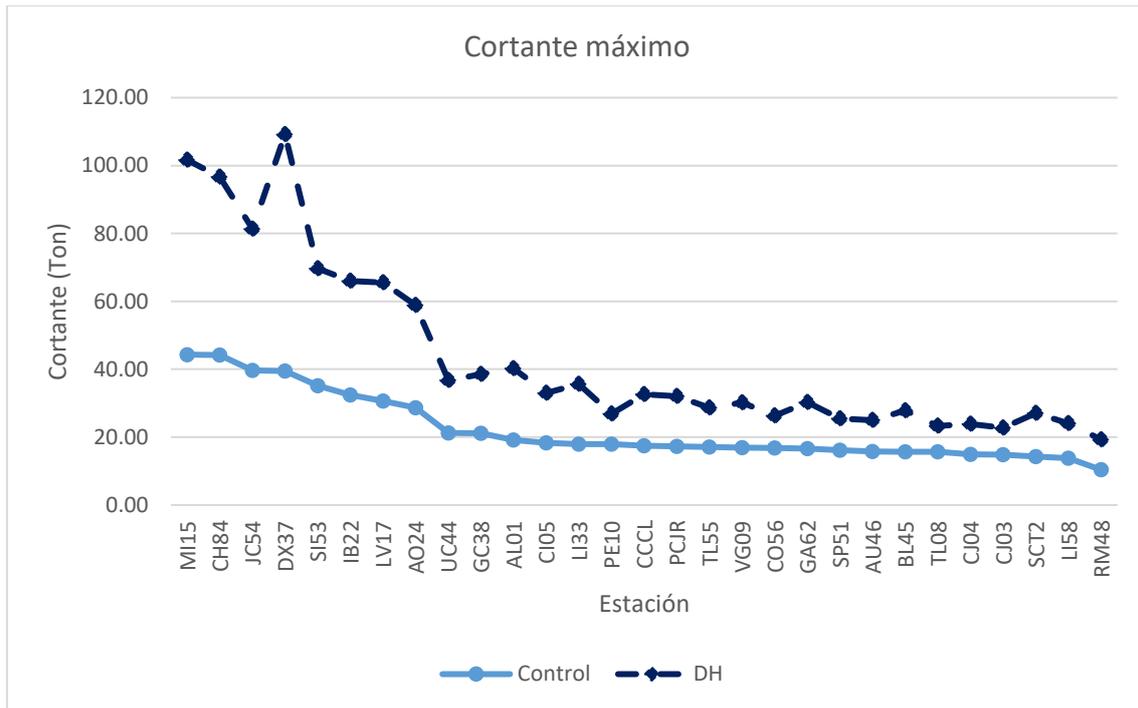


Figura 5.432. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.172. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	44.31	172.36	170.36	109.22
Mínimo	10.37	38.53	32.36	19.29
Promedio	22.21	64.55	62.51	43.40

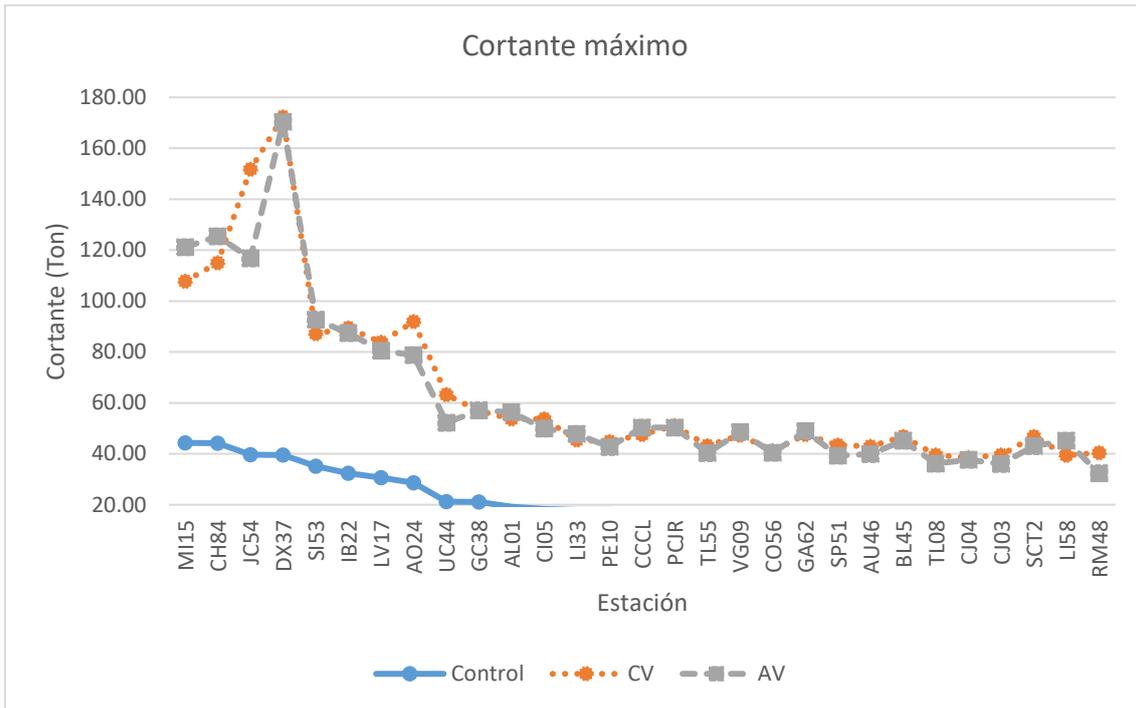


Figura 5.433. Cortante máximo en columna del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

La figura Figura 5.434 muestra el cortante máximo normalizado en la columna de control la tabla Tabla 5.173 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.434.

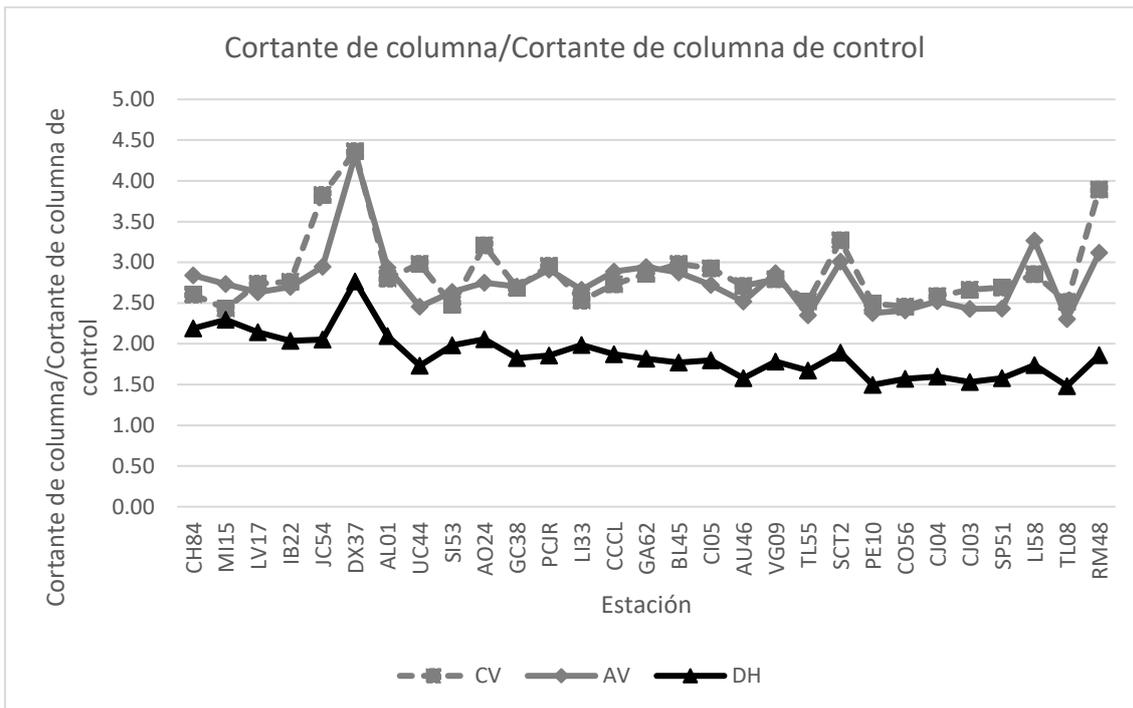


Figura 5.434. Cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

Tabla 5.173. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante normalizado del primer nivel del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	44.31	4.37	4.31	2.77
Mínimo	10.37	2.43	2.30	1.48
Promedio	22.21	2.87	2.77	1.86

5.7.2.6 Cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Las figuras Figura 5.435 y Figura 5.436 muestran el cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas la tabla Tabla 5.174 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de las figuras Figura 5.435 y Figura 5.436.

Tabla 5.174. Valores máximos, mínimos, y promedio del cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	837.21	1343.44	1178.60	999.42
Mínimo	223.82	236.59	221.29	238.59
Promedio	470.65	454.14	423.65	449.68

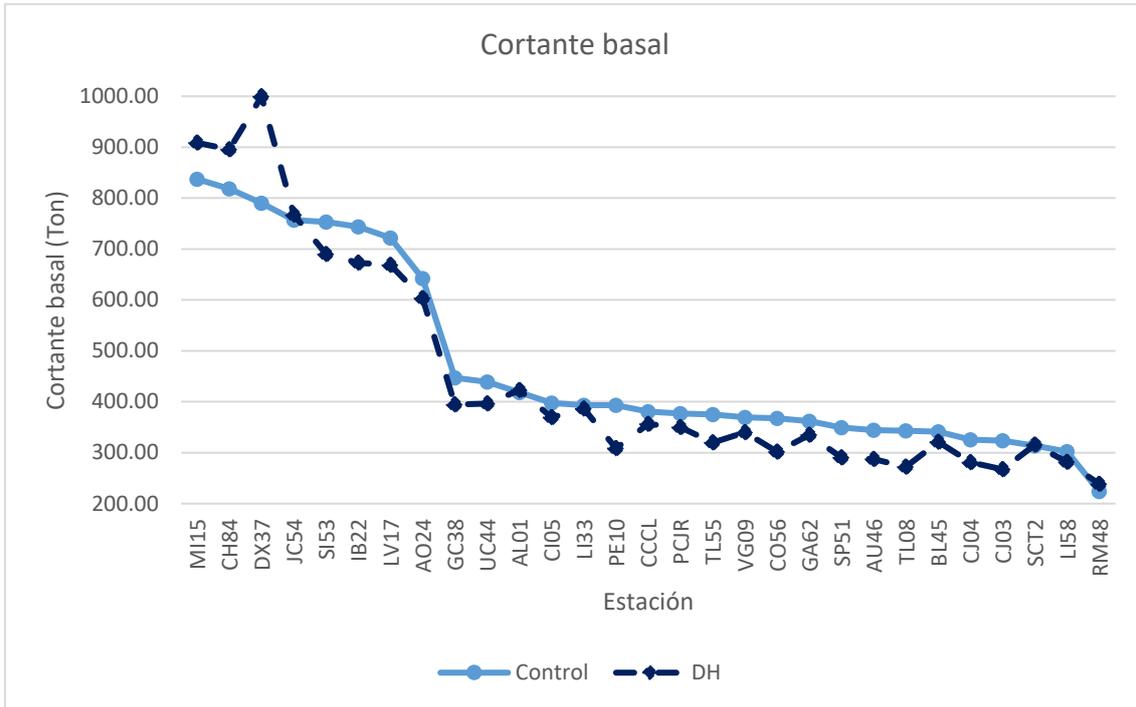


Figura 5.435. Cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.

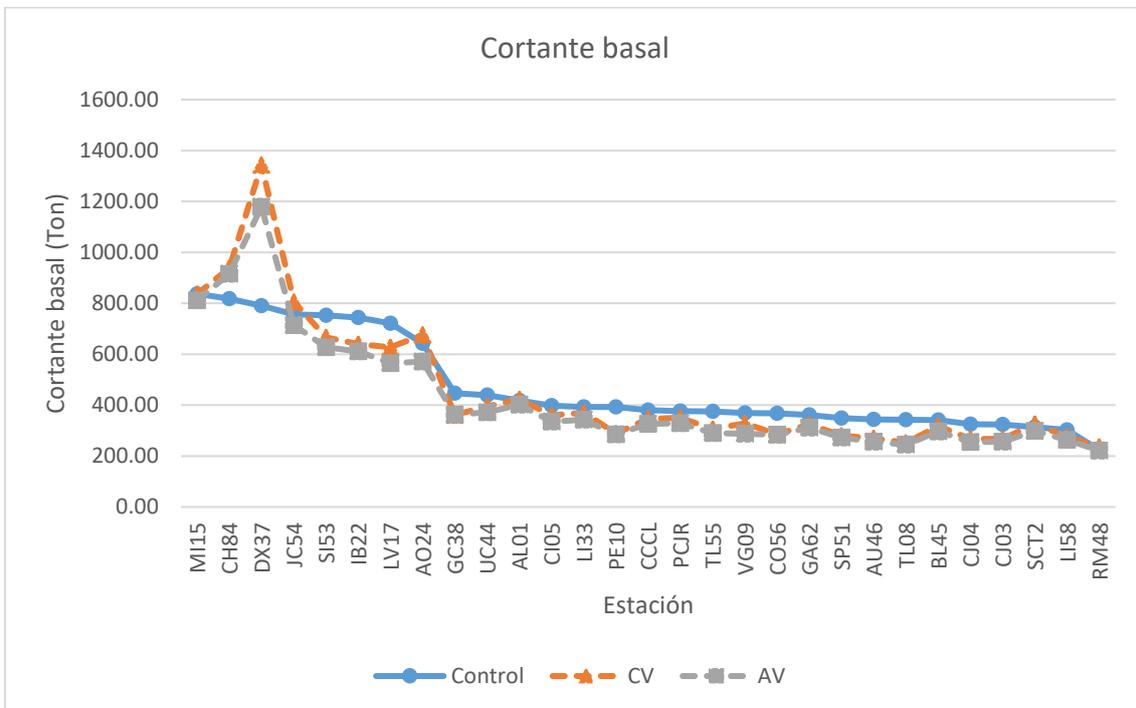


Figura 5.436. Cortante basal del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos.



5.7.2.7 Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS del edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Se tomó como el dispositivo disipador de energía TADAS de control como el indicado en la sección 5.7.2.7. La figura Figura 5.437 muestra la ductilidad de este tipo de dispositivo la tabla Tabla 5.175 muestra los valores máximos, mínimos, y promedio de la figura Figura 5.437.

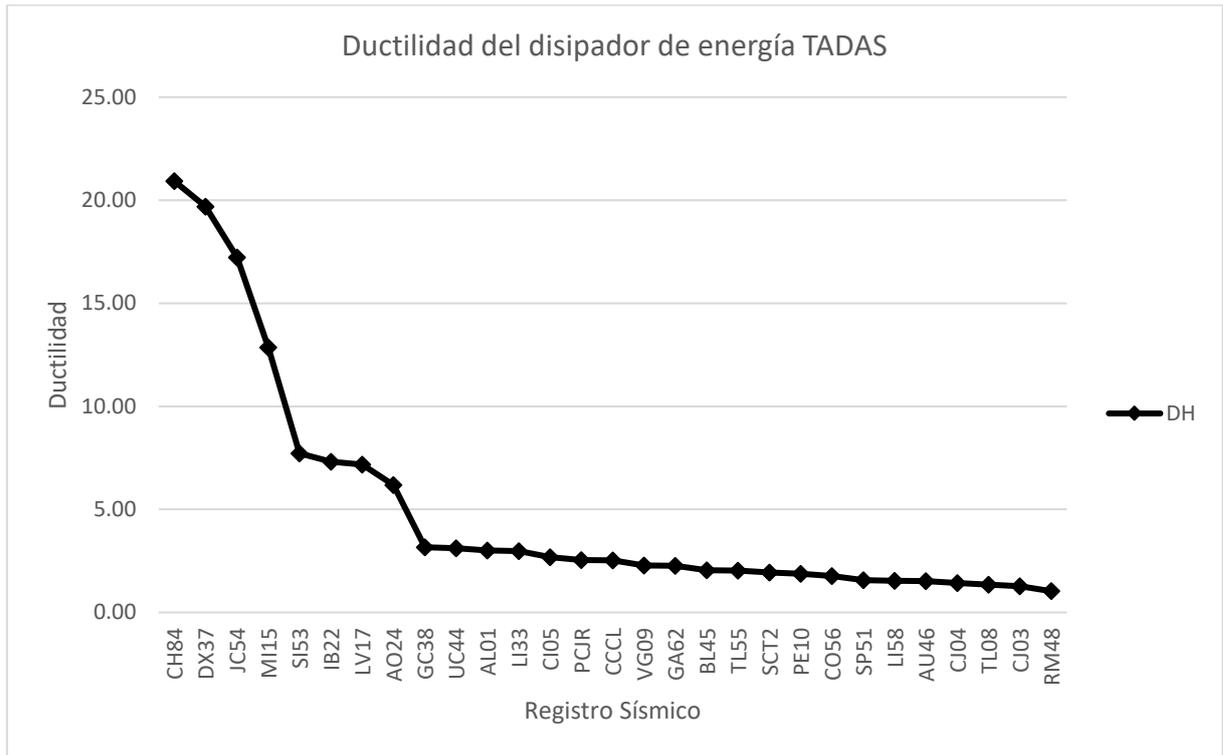


Figura 5.437. Ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Tabla 5.175. Valores máximos, mínimos, y promedio de ductilidad del dispositivo disipador de energía TADAS de control del edificio número seis con columnas confinadas en los extremos.

Máximo	20.93
Mínimo	1.03
Promedio	4.93



Capítulo 6

6.1 Discusión de resultados del Edificio número uno

La distorsión de entrepiso del primer edificio de control con columnas confinadas en los extremos por estribos cuando es sometido a los registros sísmicos de las estaciones mostrados en la tabla 4.9 del capítulo 4 y en la tabla B.1 del Apéndice B, los primeros dos registros sísmicos producen demandas de rotación en un intervalo de 0.052 radianes para el registro sísmico CH84 a 0.049 radianes para el registro sísmico MI15 que lleva a un estado de daño de prevención de colapso (FEMA-356, tabla 6-8). Los siguientes siete registros sísmicos producen un estado de daño de seguridad de vida con rotaciones en el intervalo de 0.038 radianes para el registro sísmico IB22 a 0.022 radianes para el registro sísmico LV17 (FEMA-356, tabla 6-8). El resto de los acelerogramas producen un estado de daño de ocupación inmediata con rotaciones en el intervalo de 0.017 radianes para el registro sísmico PCRJ a 4.82×10^{-6} radianes para el registro sísmico RM48 (FEMA-356, tabla 6-8). Todos los acelerogramas conducen a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior a la indicada en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM (Tabla 5.1, capítulo 5). Cuando se modelan las columnas del modelo de control del edificio uno sin el confinamiento requerido por el reglamento, la demanda de rotación de entrepiso lleva a la estructura sometida a los primeros 10 registros sísmicos llevan a la estructura a un estado de daño de prevención de colapso con demandas de rotación en el intervalo de 0.05 radianes para el registro sísmico CH84 a 0.019 radianes para el registro sísmico PCRJ. Los siguientes cinco registros sísmicos producen un estado de daño de seguridad de vida con rotaciones entre 0.016 radianes para el registro sísmico CI05 y 0.010 radianes para el registro sísmico AL01. Los registros restantes producen un estado de daño de ocupación inmediata con rotaciones en el intervalo de 0.007 radianes para el registro sísmico CJ04 a 3.92×10^{-4} radianes para el registro sísmico RM48 (Tabla B.1, Apéndice B). La tabla 6.1 muestra la variación de las demandas de distorsión angular en ambos edificios. Debe señalarse que, aunque las demandas no son muy diferentes, la capacidad dúctil de un caso y el otro es considerablemente diferente. De acuerdo con FEMA-356, en su tabla 6-8, para columnas primarias confinadas por estribos, el estado de daño de prevención de colapso se alcanza cuando la demanda de rotación en radianes es mayor o igual a 0.04, el estado de daño de seguridad de vida corresponde a una demanda de rotación entre 0.02 a 0.04, y para el estado de daño de ocupación inmediata el valor numérico de demanda de rotación está comprendido entre 0.005 a 0.02. Para columnas primarias no confinadas por estribos el estado de daño de prevención de colapso se alcanza cuando la demanda de rotación en radianes es mayor o igual a 0.016; al estado de daño de seguridad de vida le corresponde una demanda de rotación entre 0.010 a 0.016, y para el estado de daño de ocupación inmediata el valor numérico de demanda de rotación está comprendido entre 0.005 a 0.010. Este mismo intervalo de valores se aplicó a los seis edificios ya que se cumplen las condiciones de las ecuaciones 6.1 y 6.2 tomadas del FEMA-356 tabla 6-8.

$$\frac{P}{A_g f'_c} \leq 0.1 \quad (6.1)$$

$$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}} \leq 0.1 \quad (6.2)$$



Donde

P = Carga axial de la columna

A_g = Area bruta de la columna

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto

V = Cortante de la columna

b_w = Base de la columna

d = Peralte efectivo de la columna

Tabla 6.176. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios

Máximo	6.12%
Mínimo	3.17%
Promedio	0.30%

Como se muestra el edificio número uno columnas confinadas en los extremos por estribos tiene mayor distorsión de entrepiso del primer nivel, aunque para términos prácticos las demandas son muy similares.

Cuando se colocan contravientos (CV) en el edificio uno con columnas confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones angulares pequeñas que originarían un estado de daño de ocupación inmediata. Con columnas no confinadas, el estado de daño es igual que con columnas confinadas. Con el valor máximo de 2.36×10^{-3} radianes para el registro sísmico JC54 para el modelo con columnas confinadas, y con el valor máximo de 2.38×10^{-3} radianes para el registro sísmico JC54 para el modelo con columnas no confinadas (Tabla B.2, Apéndice B). Ambos valores son inferiores a 0.005 radianes para modelos con columnas confinadas y no confinadas (FEMA-356, tabla 6-8).

Al incluir disipadores de energía de tipo viscoso (AV), las rotaciones angulares de todos los registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata, y en el caso del modelo con columnas no confinadas, nuevamente el estado de daño es similar. Con el valor máximo de 4.25×10^{-3} radianes para el registro sísmico MI15 para el modelo con columnas confinadas, y con el valor máximo de 4.15×10^{-3} radianes para el registro sísmico MI15 para el modelo con columnas no confinadas (Tabla B.3, Apéndice B). Ambos valores son inferiores a 0.005 radianes para modelos con columnas confinadas y no confinadas.

El modelo con columnas confinadas con disipadores de energía de tipo TADAS (DH) presenta demandas de rotación angular para los registros sísmicos CH84, MI15, y DX37, que conducen al edificio al estado de daño de seguridad de vida con un intervalo de valores de 0.038 radianes para el registro sísmico CH84 a 0.022 radianes para el registro sísmico DX37, donde la demanda de rotación en radianes es mayor a 0.02 e inferior a 0.04. Y el resto de registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata con un intervalo de valores de 0.017 radianes para el registro sísmico JC54 a 2.36×10^{-6} radianes para el registro sísmico RM48, donde la demanda de rotación en radianes es menor a 0.02. El modelo con columnas no confinadas con disipadores de energía de tipo TADAS presenta demandas de



rotación angular para los registros sísmicos CH84, MI15, DX37, y JC54, producen el estado de daño de prevención de colapso, con un intervalo de valores de 0.038 radianes para el registro sísmico CH84 a 0.02 radianes para el registro sísmico JC54. El resto de registros sísmicos conducen a un estado de daño de ocupación inmediata con un intervalo de valores de 0.007 radianes para el registro sísmico AO24 a 2.36×10^{-6} radianes para el registro sísmico RM48 (Tabla B.4, Apéndice B).

El uso de este dispositivo en el edificio número uno no parece ser la mejor solución para disminuir los daños esperados, ya que 23 registros sísmicos sobrepasan la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5.

El cociente promedio de distorsión de entrepiso y de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.12, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.17, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.48. El modelo de control con columnas no confinadas en los extremos por estribos tuvo el mismo resultado anteriormente mostrado.

El primer edificio con contravientos presentó una reducción promedio de la distorsión de entrepiso del primer nivel del 88%. El modelo numérico con disipadores de energía de tipo viscoso tuvo una reducción promedio del 83%, y el modelo con disipadores de energía de tipo TADAS presentó una reducción promedio del 52%.

Al hacer comparación entre el modelo de control con columnas no confinadas en los extremos por estribos se tiene prácticamente los mismos resultados mostrados.

La tabla 6.2 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.3, los valores numéricos de demanda de ductilidad del edificio número uno, se describen en las secciones 5.2.1.2 y 5.2.2.2 del capítulo 5.

Comparación de demanda de ductilidad

$$= 1 - \frac{\text{Demanda de ductilidad del modelo numérico con columnas confinadas}}{\text{Demanda de ductilidad del modelo numérico con columnas no confinadas}} \quad (6.3)$$

Tabla 6.177. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número uno.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-6.51%	0.15%	-1.40%	-1.29%
Mínimo	-3.27%	0.00%	0.00%	0.00%
Promedio	-0.30%	0.01%	-0.08%	-0.15%

La tabla 6.3 muestra la comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.4, los valores numéricos de rotación máxima de la columna de control del edificio número uno, se describen en las secciones 5.2.1.3 y 5.2.2.3 del capítulo 5.



Comparación de rotación máxima de la columna de control

$$= 1 \frac{\text{Rotación máxima de la columna de control del modelo numérico con columnas confinadas}}{\text{Rotación máxima de la columna de control del modelo numérico con columnas no confinadas}} \quad (6.4)$$

Tabla 6.178. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número uno

	Control	CV	AV	DH
Máximo	disi-5.46%	0.72%	-2.35%	1.02%
Mínimo	98.77%	0.00%	0.00%	0.00%
Promedio	4.37%	5.18%	0.62%	3.51%

El cociente promedio de rotación de entrepiso del primer nivel y la ductilidad de rotación del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control confinado es de: 0.02, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.04, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.35. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 0.02, para el modelo de control no confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 0.04, y para el modelo no confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.23.

La reducción promedio de la rotación máxima del modelo de control con columnas confinadas del edificio número fue de: con contravientos 98%, con disipadores de energía de tipo viscoso 94% y del edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 65%. Para el modelo con columnas sin confinar resultó: modelo contraventeado 98%, modelo con disipadores de energía de tipo viscoso 96%, y edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 77%.

La tabla 6.4 muestra la comparación del cortante de la columna de control del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.5, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número uno, se describen en las secciones 5.2.1.5 y 5.2.2.5 del capítulo 5.

Comparación del cortante de la columna de control

$$= 1 \frac{\text{Cortante de la columna de control del modelo numérico con columnas confinadas}}{\text{Cortante de la columna de control del modelo numérico con columnas no confinadas}} \quad (6.5)$$

La tabla 6.5 muestra la comparación del cortante normalizado de la columna de control del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.6, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número uno, se describen en las secciones 5.2.1.5 y 5.2.2.5 del capítulo 5.



Comparación del cortante normalizado de la columna de control

$$= 1 \frac{\text{Cortante normalizado de la columna de control del modelo numérico con columnas confinadas}}{\text{Cortante normalizado de la columna de control del modelo numérico con columnas no confinadas}} \quad (6.6)$$

Tabla 6.179. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número uno

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-5.42%	0.74%	0.36%	0.22%
Mínimo	-3.67%	-0.30%	0.00%	0.00%
Promedio	-2.47%	0.78%	0.03%	-0.31%

Tabla 6.180. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número uno

	CV	AV	DH
Máximo	5.84%	0.16%	-19.26%
Mínimo	6.77%	0.96%	-1.44%
Promedio	2.78%	2.09%	1.87%

Las tablas 5.6 y 5.15 de las secciones 5.2.1.5 y 5.2.2.5 del capítulo 5, muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante en el entrepiso.

La tabla 6.6 muestra la comparación de cortante basal del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.7, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número uno, se describen en las secciones 5.2.1.6 y 5.2.2.6 del capítulo 5.

Comparación de cortante basal

$$= 1 \frac{\text{Cortante basal del modelo numérico con columnas confinadas}}{\text{Cortante basal del modelo numérico con columnas no confinadas}} \quad (6.7)$$

Tabla 6.181. Comparación de cortante basal del edificio número uno

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-3.94%	0.24%	-0.06%	-5.07%
Mínimo	-8.06%	0.00%	0.00%	0.00%
Promedio	-2.50%	0.02%	0.01%	-1.04%

El cociente promedio del cortante de la columna de control del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 5.04, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 3.58, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 2.34. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 5.18, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo



viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 3.66, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 2.38.

El cociente promedio del cortante basal del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 1.41, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 1.10, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 0.95. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 1.44, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 1.13, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.96.

Nuevamente, las tablas 5.7 y 5.16 del capítulo 5 muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante basal del edificio número uno.

La tabla 6.7 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.8.

Comparación de demanda de ductilidad

$$= 1 - \frac{\text{Demanda de ductilidad del modelo numérico con columnas confinadas}}{\text{Demanda de ductilidad del modelo numérico con columnas no confinadas}} \quad (6.8)$$

Tabla 6.182. Comparación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número uno

Máximo	10.10%
Mínimo	8.00%
Promedio	8.01%

Las tablas 6.8 y 6.9 muestran la disipación de energía para todo el edificio uno con disipadores de energía de tipo TADAS, con columnas confinadas y no confinadas, respectivamente. Para ejemplificar, se tomaron seis registros sísmicos en los que la distorsión de entrepiso del primer nivel superior no supera a la admisible en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Se ordenaron los registros sísmicos de mayor a menor de distorsión de entrepiso del primer nivel. Las unidades son kg y cm.



Tabla 6.183. Disipación de energía edificio número uno con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
LI58	5.065E+06	1.735E+06	34.25%	8.158E+05
TL55	5.621E+06	1.913E+06	34.03%	1.164E+06
CCCL	3.434E+06	9.984E+05	29.07%	6.883E+05
SCT2	3.850E+06	1.424E+06	36.99%	6.951E+05
TL08	3.772E+06	1.198E+06	31.75%	9.280E+05
RM48	2.081E+06	5.737E+05	27.57%	5.256E+05
Promedio	3.971E+06	1.307E+06	32.28%	8.028E+05
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
LI58	47.02%	9.193E+05	52.98%	
TL55	60.87%	7.484E+05	39.13%	
CCCL	68.95%	3.100E+05	31.05%	
SCT2	48.81%	7.292E+05	51.20%	
TL08	77.49%	2.695E+05	22.51%	
RM48	91.61%	4.816E+04	8.39%	
Promedio	65.79%	5.041E+05	34.21%	

Tabla 6.184. Disipación de energía edificio número uno con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
LI58	5.268E+06	1.787E+06	33.93%	8.484E+05
TL55	5.733E+06	1.932E+06	33.69%	1.188E+06
CCCL	3.571E+06	1.038E+06	29.07%	6.952E+05
SCT2	4.004E+06	1.481E+06	36.99%	7.159E+05
TL08	3.923E+06	1.233E+06	31.44%	9.465E+05
RM48	2.102E+06	5.967E+05	28.39%	5.466E+05
Promedio	4.100E+06	1.345E+06	32.25%	8.234E+05
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
LI58	47.48%	9.376E+05	52.47%	
TL55	61.47%	7.634E+05	39.52%	
CCCL	66.96%	3.131E+05	30.16%	
SCT2	48.34%	7.510E+05	50.70%	
TL08	76.74%	2.722E+05	22.07%	
RM48	91.61%	4.961E+04	8.31%	
Promedio	65.43%	5.145E+05	33.87%	



Los seis registros sísmicos, en ambos casos, producen el estado de daño de ocupación inmediata y los dispositivos aportan un bajo porcentaje de la disipación de energía. Tienen también baja demanda de ductilidad promedio, 1.64 para el edificio con columnas confinadas y 1.78 para el edificio con columnas sin confinar. Por ello, en este edificio en particular no es adecuada la utilización de dispositivos tipo TADAS.

Las tablas 6.10 y 6.11 muestran la disipación de energía de todo el edificio número uno con disipadores de energía de tipo viscoso. El primer caso corresponde a columnas confinadas y el segundo al modelo con columnas sin confinar. Se ordenaron los resultados de mayor a menor demanda de distorsión angular de entrepiso.

Tabla 6.185. Disipación de energía edificio número uno con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
CH84	2.164E+07	1.380E+07	63.78%	50.12%
MI15	2.647E+07	1.273E+07	48.09%	25.88%
JC54	4.899E+07	1.897E+07	38.73%	11.88%
DX37	9.091E+06	6.273E+06	69.00%	59.32%
IB22	1.131E+07	5.796E+06	51.24%	31.73%
Promedio	2.350E+07	1.151E+07	54.17%	35.79%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
CH84	2.957E+06	21.42%	1.085E+07	78.58%
MI15	5.879E+06	46.18%	6.851E+06	53.82%
JC54	1.315E+07	69.32%	5.821E+06	30.68%
DX37	8.800E+05	14.03%	5.393E+06	85.97%
IB22	2.207E+06	38.08%	3.589E+06	61.92%
Promedio	5.015E+06	37.81%	6.500E+06	62.19%



Tabla 6.186. Disipación de energía edificio número uno con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
CH84	2.110E+07	1.371E+07	64.99%	51.15%
MI15	2.845E+07	1.373E+07	48.27%	23.91%
JC54	4.717E+07	1.831E+07	38.81%	12.41%
DX37	9.092E+06	6.274E+06	69.01%	59.31%
IB22	1.113E+07	5.778E+06	51.92%	32.02%
Promedio	2.339E+07	1.156E+07	54.60%	35.76%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
CH84	2.920E+06	21.29%	1.079E+07	78.71%
MI15	6.931E+06	50.47%	6.802E+06	49.53%
JC54	1.245E+07	68.03%	5.853E+06	31.97%
DX37	8.816E+05	14.05%	5.392E+06	85.95%
IB22	2.214E+06	38.32%	3.564E+06	61.68%
Promedio	5.080E+06	38.43%	6.481E+06	61.57%

Los seis registros sísmicos producen demandas de rotación que ubican a los edificios el estado de daño de ocupación inmediata. En ambos casos, los dispositivos presentan una disipación de energía importante. El amortiguamiento viscoso promedio es del 35% que es cercano al valor propuesto en el prediseño.

Con base en los resultados anteriores, se concluye que el movimiento del terreno durante el temblor del 19 de septiembre de 2017 produjo demandas en los edificios con planta baja flexible y tipología del edificio uno que los conducen a rotaciones que lleva a un estado de daño de prevención de colapso. Al incorporar contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene una reducción de la distorsión de entrepiso del primer nivel, para todos los registros sísmicos, inferior a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar contravientos se producen rotaciones angulares pequeñas que originarían un estado de daño ocupación inmediata y al incluir disipadores de energía de tipo viscoso, las demandas de rotación corresponden al estado de daño ocupación inmediata. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso en los modelos con columnas confinadas y no confinadas, se incrementa el cortante basal de la columna de control, por lo que el utilizar estos sistemas se requeriría posiblemente reforzar la cimentación, lo que en términos prácticos puede resultar muy costosos. Con dispositivos tipo TADAS solo seis registros sísmicos no sobrepasan la distorsión de entrepiso del primer nivel a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar este dispositivo no se tiene un aumento significativo de cortante en la columna de control. En general, los dispositivos tipo TADAS presentan bajo porcentaje de la disipación de energía y también baja demanda de ductilidad. Por lo anterior, en términos prácticos los dispositivos propuestos no son la mejor solución para disminuir las demandas sísmicas.



6.2 Discusión de resultados del Edificio número dos

La rotación de entrepiso del edificio de control número dos con columnas confinadas en los extremos por estribos cuando es sometido a los tres primeros registros sísmicos de las estaciones mostrados en la tabla 4.21 del capítulo 4 y en la tabla B.5 del Apéndice B, corresponden a un estado de daño de seguridad de vida (FEMA-356, tabla 6-8), y el resto de registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata (FEMA-356, tabla 6-8). La rotación de entrepiso del edificio de control número dos con columnas no confinadas en los extremos por estribos cuando es sometido a los tres primeros registros corresponden a un estado de daño de prevención de colapso, y el resto de registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata. Los primeros siete registros sísmicos se llegaron a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en el edificio de control número dos con columnas confinadas y no confinadas. Por lo sé que justifica el uso de disipadores de energía y contravientos. La tabla 6.11 muestra la variación entre las distorsiones angulares de los modelos con y sin confinamiento de columnas el valor máximo de la tabla 6.12 corresponde a la distorsión máxima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona mayor distorsión de entrepiso, el valor promedio de la tabla 6.12 se obtuvo al promediar la distorsión del primer piso de todos los registros sísmicos de ambos modelos, el valor mínimo corresponde a la distorsión mínima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona menor distorsión de entrepiso.

Tabla 6.187. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de los modelos con y sin confinamiento de columnas del edificio 2

Máximo	6.93%
Mínimo	0.00%
Promedio	13.81%

Como se muestra el edificio número dos con columnas confinadas tiene mayor distorsión de entrepiso del primer nivel.

Al colocar contravientos en el edificio número dos con columnas confinadas y no confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata. En el edificio de control número dos con columnas confinadas y no confinadas al colocar disipadores de energía de tipo viscoso, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.6 y tabla B.7, Apéndice B).

Al colocar disipadores de energía de tipo TADAS en el edificio número dos con columnas confinadas y no confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.8, Apéndice B).



El uso de estos disipadores de energía de tipo TADAS en el edificio número dos parece ser una buena solución para disminuir los daños esperados, ya que sólo tres registros sísmicos sobrepasan la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5. En el resto de los registros sísmicos no sobrepasan la distorsión máxima permitida del primer nivel anteriormente mencionadas.

El cociente promedio de distorsión de entrepiso y de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.19, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.20, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.30.

El edificio número dos con contravientos presentó una reducción promedio de la distorsión de entrepiso del primer nivel del 81%. El modelo numérico con disipadores de energía de tipo viscoso tuvo una reducción promedio del 80%, y el modelo con disipadores de energía de tipo TADAS presentó una reducción promedio del 70%.

La tabla 6.13 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.3, los valores numéricos de demanda de ductilidad del edificio número dos, se describen en las secciones 5.3.1.2 y 5.3.2.2 del capítulo 5.

Tabla 6.188. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número dos.

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-6.51%	0.15%	-1.40%	-1.29%
Mínimo	-3.27%	0.00%	0.00%	0.00%
Promedio	-0.30%	0.01%	-0.08%	-0.15%

La tabla 6.14 muestra la comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.4, los valores numéricos de rotación máxima de la columna de control del edificio número dos, se describen en las secciones 5.3.1.3 y 5.3.2.3 del capítulo 5.

Tabla 6.189. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número dos

	Control	CV	AV	DH
Máximo	15.41%	-9.43%	4.60%	3.16%
Mínimo	0.00%	-0.08%	-0.08%	0.00%
Promedio	-0.40%	-13.41%	3.60%	2.49%

El cociente promedio de rotación de entrepiso del primer nivel y la ductilidad de rotación del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control confinado es de: 0.05, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.10, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.13.



La reducción promedio de la rotación máxima del modelo de control con columnas confinadas del edificio número fue de: con contravientos 95%, con disipadores de energía de tipo viscoso 90% y del edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 87%.

Los resultados de cociente promedio de rotación y de reducción promedio de rotación son iguales a los mostrados anteriormente cuando se tienen modelos no confinados.

La tabla 6.15 muestra la comparación del cortante de la columna de control del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.5, los valores numéricos de cortante de la columna de control del edificio número dos, se describen en las secciones 5.3.1.5 y 5.3.2.5 del capítulo 5. La tabla 6.16 muestra la comparación del cortante normalizado de la columna de control del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.6.

Tabla 6.190. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número dos

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-5.46%	-0.51%	0.08%	0.15%
Mínimo	0.00%	10.29%	0.11%	0.00%
Promedio	-8.38%	0.33%	0.08%	0.22%

Tabla 6.191. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número dos

	CV	AV	DH
Máximo	0.15%	0.75%	4.39%
Mínimo	-0.05%	0.70%	0.60%
Promedio	7.10%	8.45%	9.08%

Las tablas 5.23, 5.58, y 5.59 de las secciones 5.3.1.5 y 5.3.2.5 del capítulo 5, muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa la demanda de cortante en el entrespacio.

La tabla 6.17 muestra la comparación de cortante basal del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.7, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número dos, se describen en las secciones 5.3.1.6 y 5.3.2.6 del capítulo 5

Tabla 6.192. Comparación de cortante basal del edificio número dos

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-2.96%	24.36%	-0.02%	-0.27%
Mínimo	0.00%	5.40%	-0.01%	0.00%
Promedio	-7.45%	28.92%	0.03%	-0.04%



El cociente promedio del cortante de la columna de control del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 4.60, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 2.93, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 0.91. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 4.95, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 3.20, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 1.01.

El cociente promedio del cortante basal del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.95, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 1.02, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 1.06. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 1.40, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 1.12, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 1.16.

Nuevamente, las tablas 5.25 y 5.33 del capítulo 5 muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante basal del edificio número dos.

La tabla 6.18 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.8.

Tabla 6.193. Comparación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número dos

Máximo	8.24%
Mínimo	0.00%
Promedio	7.78%

Las tablas 6.19 y 6.20 muestran la disipación de energía de todo el edificio número dos con disipadores de energía de tipo TADAS, con columnas confinadas y no confinadas, respectivamente. Para ejemplificar, se tomaron cinco registros sísmicos en los que la distorsión de entrepiso del primer nivel superior no supera a la admisible en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Se ordenaron los registros sísmicos de mayor a menor de distorsión de entrepiso del primer nivel. Las unidades son kg y cm.



Tabla 6.194. Disipación de energía edificio número dos con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
AO24	4.001E+07	1.384E+07	34.59%	6.356E+06
AU46	2.135E+07	4.422E+06	20.71%	1.248E+06
ES57	1.512E+07	1.748E+06	11.56%	9.919E+05
ME52	8.497E+07	6.593E+05	0.78%	3.602E+05
DR16	4.481E+06	1.954E+05	4.36%	1.950E+05
Promedio	3.319E+07	4.173E+06	14.40%	1.830E+06
Registro	% Energía marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
AO24	45.92%	7.486E+06	54.08%	
AU46	28.21%	3.174E+06	71.79%	
ES57	56.73%	7.564E+05	43.27%	
ME52	54.63%	2.991E+05	45.37%	
DR16	99.81%	3.770E+02	0.19%	
Promedio	57.06%	2.343E+06	42.94%	

Tabla 6.195. Disipación de energía edificio número dos con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
AO24	4.110E+07	1.495E+07	36.37%	7.123E+06
AU46	2.136E+07	4.423E+06	20.71%	1.247E+06
ES57	1.512E+07	1.745E+06	11.54%	9.885E+05
ME52	8.497E+07	6.593E+05	0.78%	3.602E+05
DR16	4.481E+06	1.954E+05	4.36%	1.950E+05
Promedio	3.341E+07	4.394E+06	14.75%	1.983E+06
Registro	% Energía marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
AO24	47.65%	7.826E+06	52.35%	
AU46	28.20%	3.176E+06	71.80%	
ES57	56.66%	7.563E+05	43.34%	
ME52	54.63%	2.991E+05	45.37%	
DR16	99.81%	3.770E+02	0.19%	
Promedio	57.39%	2.411E+06	42.61%	

Los cinco registros sísmicos, en ambos casos, producen el estado de daño de ocupación inmediata, y los dispositivos aportan un bajo porcentaje de la disipación de energía. Tienen también baja demanda de ductilidad promedio, 1.93 para el edificio con columnas confinadas



y 2.09 para el edificio con columnas sin confinar. Por ello, en este edificio en particular no es adecuada la utilización de dispositivos tipo TADAS.

Las tablas 6.20 y 6.21 muestran la disipación de energía de todo el edificio número dos con disipadores de energía de tipo viscoso. Se ordenaron los resultados de mayor a menor demanda de distorsión angular de entrepiso.

Tabla 6.196. Disipación de energía edificio número dos con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
GR27	4.401E+07	1.657E+07	37.66%	35.70%
DX37	4.493E+07	1.607E+07	35.77%	18.26%
LEAC	7.999E+06	4.199E+06	52.49%	52.49%
AO24	2.867E+07	8.690E+06	30.31%	12.42%
AU46	1.718E+07	4.743E+06	27.61%	20.57%
Promedio	2.856E+07	1.006E+07	36.77%	27.89%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
GR27	8.607E+05	5.19%	1.571E+07	94.81%
DX37	7.868E+06	48.95%	8.205E+06	51.05%
LEAC	0.000E+00	0.00%	4.199E+06	100.00%
AO24	5.128E+06	59.01%	3.562E+06	40.99%
AU46	1.209E+06	25.49%	3.534E+06	74.51%
Promedio	3.013E+06	27.73%	7.043E+06	72.27%



Tabla 6.197. Disipación de energía edificio número dos con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
GR27	4.400E+07	1.658E+07	37.67%	35.71%
DX37	4.108E+07	1.525E+07	37.12%	20.52%
LEAC	8.000E+06	4.200E+06	52.51%	52.51%
AO24	2.700E+07	8.759E+06	32.44%	13.21%
AU46	1.715E+07	4.747E+06	27.68%	20.61%
Promedio	2.745E+07	9.906E+06	37.48%	28.51%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
GR27	8.624E+05	5.20%	1.571E+07	94.80%
DX37	6.820E+06	44.73%	8.428E+06	55.27%
LEAC	-1.511E-02	0.00%	4.200E+06	100.00%
AO24	5.192E+06	59.28%	3.567E+06	40.72%
AU46	1.212E+06	25.54%	3.535E+06	74.46%
Promedio	2.817E+06	26.95%	7.089E+06	73.05%

Los cinco registros sísmicos producen demandas de rotación que ubican a los edificios en el estado de daño de ocupación inmediata. En ambos casos, los dispositivos presentan una disipación de energía importante. El amortiguamiento viscoso promedio es del 27% que es cercano al valor propuesto en el prediseño.

Tomando los resultados anteriores, se concluye que el movimiento del terreno durante el temblor del 19 de septiembre de 2017 produjo demandas en los edificios con planta baja flexible y tipología del edificio dos que lo conducen a rotaciones que lleva a un estado de daño de prevención de seguridad de vida. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso es una reducción de la distorsión de entrepiso del primer nivel inferior para todos los registros sísmicos inferior a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar contravientos se producen rotaciones angulares pequeñas que originarían un estado de daño ocupación inmediata y al incluir disipadores de energía de tipo viscoso, las rotaciones angulares originarían un estado de daño ocupación inmediata. Cuando se incorporan dispositivos tipo TADAS se presentan demandas de rotación para todos los registros sísmicos que producen un estado de daño ocupación inmediata. El uso de los disipadores de energía de tipo TADAS (donde se utilizaron los parámetros de la sección 4.11 del capítulo 4), en el edificio número dos no parece ser una solución para disminuir los daños esperados, ya que tres registros sísmicos sobrepasan la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5. Al añadir contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene un aumento significativo de cortante en la columna de control y del cortante basal de la estructura. Al utilizar dispositivos tipo TADAS se tiene un bajo porcentaje de la disipación de energía y también baja demanda de ductilidad, por lo que en términos prácticos no es recomendable su utilización con los parámetros analizados. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso en los modelos con



columnas confinadas y no confinadas en ambos casos se tiene un incremento en el cortante de la columna de control por lo que el utilizar este tipo de dispositivos se tiene la desventaja que para ser incorporados en el edificio se tiene que rehabilitar la cimentación por lo que en términos prácticos podría ser una solución costosa.

6.3 Discusión de resultados del Edificio número tres

La rotación de entrepiso del tercer edificio de control con columnas confinadas en los extremos por estribos cuando es sometido a los registros sísmicos de las estaciones mostrados en la tabla 4.9 del capítulo 4 donde en la tabla B.9 del Apéndice B, los primeros dos registros sísmicos producen demandas de rotación que lleva a un estado de daño de prevención de colapso (FEMA-356, tabla 6-8). Los siguiente tres registros sísmicos producen un estado de daño de seguridad de vida (FEMA-356, tabla 6-8), y el resto de los acelerogramas producen un estado de daño de ocupación inmediata (FEMA-356, tabla 6-8). Todos los acelerogramas conducen a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior a la indicada en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM (Tabla 5.1, capítulo 5). Cuando se modelan las columnas del modelo de control del edificio uno sin el confinamiento requerido por el reglamento, la demanda de rotación de entrepiso lleva a la estructura (tabla B.9 del Apéndice B), los primeros ocho registros sísmicos producen un estado de daño de prevención de colapso y los registros sísmicos restantes producen un estado de daño de ocupación inmediata. La tabla 6.23 corresponde a la distorsión máxima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona mayor distorsión de entrepiso, el valor promedio de la tabla 6.23 se obtuvo al promediar la distorsión del primer piso de todos los registros sísmicos de ambos modelos, el valor mínimo corresponde a la distorsión mínima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona menor distorsión de entrepiso. La tabla 6.23 muestra la variación de las demandas de distorsión angular en ambos edificios los valores negativos de esta tabla representan que el modelo sin confinar su valor numérico es mayor que en el modelo confinado.

Tabla 198. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios

Máximo	5.68%
Mínimo	0.08%
Promedio	-2.42%

Como se muestra el edificio número tres con columnas confinadas en los extremos por estribos tiene mayor distorsión de entrepiso del primer nivel.

Al colocar contravientos en el edificio número tres con columnas confinadas y no confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.10, apéndice B). En el edificio de control número tres con columnas confinadas y no confinadas al colocar disipadores de energía de tipo viscoso, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.11, apéndice B).



Al colocar disipadores de energía de tipo TADAS en el edificio número tres con columnas confinadas y no confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.12, apéndice B).

El cociente promedio de distorsión de entrepiso y de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.10, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.18, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.32. El modelo de control con columnas no confinadas en los extremos por estribos tuvo el mismo resultado anteriormente mostrado para el modelo con contravientos y con disipadores de energía de tipo viscoso. Para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.40.

El edificio número tres con contravientos presentó una reducción promedio de la distorsión de entrepiso del primer nivel del 90%. El modelo numérico con disipadores de energía de tipo viscoso tuvo una reducción promedio del 82%, y el modelo con disipadores de energía de tipo TADAS presentó una reducción promedio del 68%. El modelo de control con columnas no confinadas en los extremos por estribos tuvo el mismo resultado anteriormente mostrado para el modelo con contravientos y con disipadores de energía de tipo viscoso. Para el modelo con disipadores de energía de tipo TADAS presentó una reducción promedio del 60%.

La tabla 6.24 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.3, los valores numéricos de demanda de ductilidad del edificio número dos, se describen en las secciones 5.4.1.2 y 5.4.2.2 del capítulo 5.

Tabla 6.199. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número tres

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-6.03%	0.00%	-0.01%	17.08%
Mínimo	-0.08%	0.00%	0.00%	37.25%
Promedio	2.37%	0.00%	0.00%	19.39%

La tabla 6.25 muestra la comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.4, los valores numéricos de rotación máxima de la columna de control del edificio número dos, se describen en las secciones 5.4.1.3 y 5.4.2.3 del capítulo 5.

Tabla 6.200. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número tres

	Control	CV	AV	DH
Máximo	1.03%	21.02%	44.47%	47.80%
Mínimo	0.02%	0.00%	0.00%	42.83%
Promedio	16.94%	-7.66%	18.74%	49.57%



El cociente promedio de rotación de entrepiso del primer nivel y la ductilidad de rotación del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control confinado es de: 0.02, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.12, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.20. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 0.02, para el modelo de control no confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 0.12, y para el modelo no confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.29.

La reducción promedio de la rotación máxima del modelo de control con columnas confinadas del edificio número tres fue de: con contravientos 98%, con disipadores de energía de tipo viscoso 88% y del edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 80%. Para el modelo con columnas sin confinar resultó: modelo contraventeado 98%, modelo con disipadores de energía de tipo viscoso 88%, y edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 71%.

La tabla 6.26 muestra la comparación del cortante de la columna de control del edificio número tres expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.5, los valores numéricos de cortante de la columna de control del edificio número tres, se describen en las secciones 5.4.1.5 y 5.4.2.5 del capítulo 5. La tabla 6.27 muestra la comparación del cortante normalizado de la columna de control del edificio número tres expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.6.

Tabla 6.201. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número tres

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-10.21%	0.41%	0.00%	-1.43%
Mínimo	0.14%	-0.34%	0.00%	4.53%
Promedio	-2.43%	0.06%	0.00%	2.88%

Tabla 6.202. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número tres

	CV	AV	DH
Máximo	-0.73%	-1.15%	10.32%
Mínimo	-1.50%	-1.79%	-0.36%
Promedio	1.70%	2.00%	5.41%

Las tablas 5.40 y 5.47 de las secciones 5.4.1.5 y 5.4.2.5 del capítulo 5, muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante en el entrepiso.

La tabla 6.28 muestra la comparación de cortante basal del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.7, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número tres, se describen en las secciones 5.4.1.6 y 5.4.2.6 del capítulo 5.



Tabla 6.203. Comparación de cortante basal del edificio número tres

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-0.61%	0.00%	0.00%	0.17%
Mínimo	-0.01%	0.00%	0.00%	-0.79%
Promedio	-1.57%	0.00%	0.00%	6.20%

El cociente promedio del cortante de la columna de control del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 3.67, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 2.25, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 1.69. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 3.74, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 2.30, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 1.79.

El cociente promedio del cortante basal del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.92, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 0.87, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 0.88. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 0.94, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 0.89, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.96.

Nuevamente, las tablas 5.41 y 5.49 del capítulo 5 muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante basal del edificio número tres.

La tabla 6.29 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS del edificio número tres expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.8.

Tabla 6.204. Comparación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número tres

Máximo	19.21%
Mínimo	57.59%
Promedio	23.32%

La disipación de energía para todo el edificio número tres con disipadores de energía de tipo TADAS, se muestran en las tablas 6.30 y 6.31 con columnas confinadas y no confinadas, respectivamente. Para ejemplificar, se tomaron cinco registros sísmicos en los que la distorsión de entrepiso del primer nivel superior no supera a la admisible en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Se ordenaron los registros sísmicos de mayor a menor de distorsión de entrepiso del primer nivel. Las unidades son kg y cm.



Tabla 6.205. Disipación de energía edificio número tres con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
AL01	1.364E+07	1.503E+06	11.02%	6.535E+05
SI53	3.109E+07	4.252E+06	13.68%	2.241E+06
IB22	2.070E+07	3.007E+06	14.53%	1.569E+06
JC54	2.100E+07	3.107E+06	14.80%	1.589E+06
GC38	1.376E+07	1.888E+06	13.72%	1.058E+06
promedio	2.004E+07	2.752E+06	13.55%	1.422E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
AL01	43.47%	8.500E+05	56.53%	
SI53	52.71%	2.011E+06	47.29%	
IB22	52.17%	1.438E+06	47.83%	
JC54	51.14%	1.438E+06	46.29%	
GC38	56.05%	8.297E+05	43.95%	
promedio	51.11%	1.313E+06	48.38%	

Tabla 6.206. Disipación de energía edificio número tres con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
IB22	2.095E+07	2.605E+06	12.43%	1.681E+06
JC54	2.115E+07	2.455E+06	11.61%	1.581E+06
AU46	1.728E+07	2.451E+06	14.19%	4.109E+05
LI33	1.715E+07	2.330E+06	13.58%	5.256E+05
GC38	1.364E+07	1.414E+06	10.36%	1.064E+06
promedio	1.803E+07	2.251E+06	12.44%	1.052E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
IB22	64.52%	9.242E+05	35.48%	
JC54	64.39%	9.512E+05	38.74%	
AU46	16.76%	2.040E+06	83.24%	
LI33	22.56%	1.804E+06	77.44%	
GC38	75.26%	3.497E+05	24.74%	
promedio	48.70%	1.214E+06	51.93%	

Los cinco registros sísmicos, en ambos casos se genera un estado de daño de ocupación inmediata, y los dispositivos aportan un bajo porcentaje de la disipación de energía. Tienen también baja demanda de ductilidad promedio, 6.18 para el edificio con columnas confinadas y 7.86 para el edificio con columnas sin confinar. Por ello, en este edificio en particular no es adecuada la utilización de dispositivos tipo TADAS.



La disipación de energía de todo el edificio número tres con disipadores de energía de tipo viscoso se muestran en las tablas 6.32 y 6.33. El primer caso corresponde a columnas confinadas y el segundo al modelo con columnas sin confinar. Se ordenaron los resultados de mayor a menor demanda de distorsión angular de entrepiso.

Tabla 6.207. Disipación de energía edificio número tres con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
DX37	4.321E+07	1.171E+07	27.10%	24.49%
CH84	4.534E+07	1.241E+07	27.36%	15.39%
MI15	3.690E+07	8.233E+06	22.31%	12.90%
AO24	3.452E+07	6.779E+06	19.64%	14.75%
SI53	3.307E+07	5.993E+06	18.12%	7.22%
Promedio	3.861E+07	9.025E+06	22.91%	14.95%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
DX37	1.128E+06	9.63%	1.058E+07	90.37%
CH84	5.429E+06	43.76%	6.977E+06	56.24%
MI15	3.474E+06	42.20%	4.758E+06	57.80%
AO24	1.688E+06	24.90%	5.091E+06	75.10%
SI53	3.606E+06	60.16%	2.388E+06	39.84%
Promedio	3.065E+06	36.13%	5.960E+06	63.87%

Tabla 6.208. Disipación de energía edificio número tres con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
DX37	4.344E+07	1.172E+07	26.98%	23.88%
CH84	4.589E+07	1.277E+07	27.82%	15.25%
MI15	3.998E+07	1.054E+07	26.37%	12.28%
AO24	3.452E+07	6.719E+06	19.47%	14.69%
SI53	3.308E+07	6.039E+06	18.26%	7.22%
Promedio	3.938E+07	9.558E+06	23.78%	14.66%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
DX37	1.108E+06	11.48%	1.037E+07	88.52%
CH84	5.769E+06	45.19%	6.997E+06	54.81%
MI15	5.634E+06	53.44%	4.910E+06	46.56%
AO24	1.655E+06	24.54%	5.070E+06	75.46%
SI53	3.652E+06	60.47%	2.387E+06	39.53%
Promedio	3.564E+06	39.02%	5.948E+06	60.98%



Los cinco registros sísmicos producen demandas que ubican a los edificios generan un estado de daño de ocupación inmediata. En ambos casos, los dispositivos presentan una disipación de energía importante. El amortiguamiento viscoso promedio es del 15% este valor está alejado del propuesto en el prediseño.

Con base en los resultados anteriores, se concluye que el movimiento del terreno durante el temblor del 19 de septiembre de 2017 produjo demandas en los edificios con planta baja flexible y tipología del edificio número tres que los conducen a un estado de daño de prevención de colapso. Al incorporar contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene una reducción de la distorsión de entrepiso del primer nivel inferior para todos los registros sísmicos inferior a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar contravientos se producen rotaciones pequeñas que originarían un estado de daño de ocupación inmediata, y al incluir disipadores de energía de tipo viscoso, las rotaciones corresponden a producir un estado de daño de ocupación inmediata. La comparación entre modelos con columnas confinadas y no confinadas el resultado de estado de daño es igual. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso en los modelos con columnas confinadas y no confinadas en ambos casos se tiene un incremento en el cortante de la columna de control y del cortante basal en la estructura por lo que el utilizar este tipo de dispositivos se tiene la desventaja que para ser incorporados en el edificio se tiene que rehabilitar la cimentación por lo que en términos prácticos resulta muy costosos.

Al incorporar dispositivos tipo TADAS (donde se utilizaron los parámetros de la sección 4.16 del capítulo 4), presenta demandas de rotación que corresponden a producir un estado de daño de ocupación inmediata, y solo cuatro registros sísmicos no sobrepasan la distorsión de entrepiso del primer nivel a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar este tipo de dispositivo se tiene que no se tiene un aumento significativo de cortante en la columna de control. Al utilizar dispositivos tipo TADAS se tiene un bajo porcentaje de la disipación de energía y también baja demanda de ductilidad. La comparación entre modelos con columnas confinadas y no confinadas resultado es similar. Por lo que en términos prácticos el incorporar este tipo de dispositivos no es adecuada la utilización su utilización.

6.4 Discusión de resultados del Edificio número cuatro

La rotación de entrepiso del edificio de control número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos cuando es sometido a los registros sísmicos de las estaciones mostrados en la tabla 4.21 del capítulo 4, el índice de daño para los primeros dos registros sísmicos corresponde a un estado de daño de seguridad de vida (FEMA-356, tabla 6-8), y los registros sísmicos restantes corresponden un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.13, apéndice B). Los primeros nueve registros sísmicos se llegaron a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior al indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Por lo sé que justifica el uso de disipadores de energía y contravientos.



En el edificio número cuatro la rotación de entrepiso del primer nivel del edificio de control con columnas no confinadas en los extremos por estribos, la demanda de rotación de entrepiso lleva a la estructura a los primeros dos registros sísmicos producen un estado de daño de prevención de colapso, los siguientes dos registros sísmicos producen un estado de daño de prevención de seguridad de vida, y los registros sísmicos restantes producen un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.13, apéndice B). La tabla 6.34 muestra la variación entre ambos edificios en cuanto distorsión de entrepiso se refiere. El valor máximo de la tabla 6.34 corresponde a la distorsión máxima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona mayor distorsión de entrepiso, el valor promedio de la tabla 6.34 se obtuvo al promediar la distorsión del primer piso de todos los registros sísmicos de ambos modelos, el valor mínimo corresponde a la distorsión mínima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona menor distorsión de entrepiso.

Tabla 6.209. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios

	Control
Máximo	20.54%
Mínimo	0.00%
Promedio	5.64%

Como se muestra el edificio número cuatro con columnas confinadas en los extremos por estribos tiene mayor distorsión de entrepiso del primer nivel.

Al colocar contravientos en el edificio número cuatro con columnas confinadas y no confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.14, apéndice B).

En el edificio de control número cuatro con columnas confinadas y no confinadas al colocar disipadores de energía de tipo viscoso, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.15, apéndice B).

El edificio de control número cuatro con columnas confinadas con disipadores de energía de tipo TADAS (DH) presenta demanda de rotación todos los registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata. El edificio de control número cuatro con columnas no confinadas con disipadores de energía de tipo TADAS presenta demanda de rotación angular para el registro sísmico DX37 que conducen al edificio al estado de daño de seguridad de vida, y el resto de registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.16, apéndice B).

El uso de estos disipadores de energía de tipo TADAS en el edificio número cuatro parece ser la una solución para disminuir los daños esperados, ya que dos registros sísmicos sobrepasan la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Y en el resto de los registros sísmicos no sobrepasan la distorsión máxima permitida del primer nivel anteriormente mencionadas.

El cociente promedio de rotación de entrepiso del primer nivel y la ductilidad de rotación del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control confinado es de:



0.25, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.25, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.37.

El edificio número dos con contravientos presentó una reducción promedio de la distorsión de entrepiso del primer nivel del 75%. El modelo numérico con disipadores de energía de tipo viscoso tuvo una reducción promedio del 77%, y el modelo con disipadores de energía de tipo TADAS presentó una reducción promedio del 66%.

Las reducciones promedio de la distorsión y los cocientes promedios para los modelos no confinados los resultados son iguales.

La tabla 6.35 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del edificio número cuatro expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.3, los valores numéricos de demanda de ductilidad del edificio número dos, se describen en las secciones 5.5.1.2 y 5.5.2.2 del capítulo 5.

Tabla 6.210. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número cuatro

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-25.85%	0.34%	-0.21%	1.27%
Mínimo	0.00%	0.08%	0.00%	0.00%
Promedio	-5.98%	0.36%	-0.07%	0.31%

La tabla 6.35 muestra la comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número cuatro expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.4, los valores numéricos de demanda de ductilidad del edificio número dos, se describen en las secciones 5.5.1.3 y 5.5.2.3 del capítulo 5.

Tabla 6.211. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número cuatro

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-17.10%	1.95%	-0.40%	13.37%
Mínimo	0.00%	0.08%	0.00%	0.00%
Promedio	0.47%	1.85%	-0.20%	10.38%

El cociente promedio de rotación de entrepiso del primer nivel y la ductilidad de rotación del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control confinado es de: 0.09, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.11, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.24. En los modelos con columnas sin confinar es el mismo resultado mostrado anteriormente.

La reducción promedio de la rotación máxima del modelo de control con columnas confinadas y no confinadas del edificio número cuatro fue de: con contravientos 91%, con disipadores de energía de tipo viscoso 89% y del edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 76%.



La tabla 6.37 muestra la comparación del cortante de la columna de control del edificio número uno expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.5, los valores numéricos de cortante de la columna de control del edificio número cuatro, se describen en las secciones 5.5.1.5 y 5.5.2.5 del capítulo 5. La tabla 6.38 muestra la comparación del cortante normalizado de la columna de control del edificio número cuatro expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.6.

Tabla 6.212. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número cuatro

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-2.19%	-0.54%	-0.13%	-5.05%
Mínimo	0.00%	9.76%	0.00%	0.00%
Promedio	-3.82%	0.28%	-0.02%	-0.88%

Tabla 6.213. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número cuatro

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-2.19%	7.62%	-0.19%	0.00%
Mínimo	0.00%	4.96%	0.51%	0.51%
Promedio	-3.82%	19.33%	3.15%	1.88%

Las tablas 5.55, 5.56, 5.62, y 5.63 de las secciones 5.5.1.5 y 5.5.2.5 del capítulo 5, muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante en el entrepiso.

La tabla 6.39 muestra la comparación de cortante basal del edificio número cuatro expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.7, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número cuatro, se describen en las secciones 5.5.1.6 y 5.5.2.6 del capítulo 5.

Tabla 6.214. Comparación de cortante basal del edificio número cuatro

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-0.39%	-5.00%	-0.02%	-3.81%
Mínimo	0.00%	-1.00%	0.00%	0.00%
Promedio	-1.72%	-3.68%	0.00%	-0.61%

El cociente promedio del cortante de la columna de control del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 8.87, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 5.63, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 1.81. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 11.00, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 5.81, y para el modelo de control con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 1.84.



El cociente promedio del cortante basal del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 2.30, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 1.63, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 1.35. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 2.26, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 1.65, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 1.36.

Nuevamente, las tablas 5.57 y 5.63 del capítulo 5 muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante basal del edificio número cuatro.

La tabla 6.40 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS del edificio número cuatro expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.8.

Tabla 6.215. Comparación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número cuatro

Máximo	1.77%
Mínimo	0.00%
Promedio	0.35%

La disipación de energía para todo el edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo TADAS, se muestran en las tablas 6.41 y 6.42 con columnas confinadas y no confinadas, respectivamente. Para ejemplificar, se tomaron cinco registros sísmicos en los que la distorsión de entrepiso del primer nivel superior no supera a la admisible en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Se ordenaron los registros sísmicos de mayor a menor de distorsión de entrepiso del primer nivel. Las unidades son kg y cm.



Tabla 6.216. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
AO24	1.014E+07	4.054E+06	39.98%	1.645E+06
DR16	5.416E+06	2.120E+06	39.15%	6.734E+05
AU46	1.099E+07	3.113E+06	28.33%	2.296E+06
CO47	3.437E+06	1.316E+06	38.29%	5.078E+05
EO30	3.717E+06	1.344E+06	36.16%	5.081E+05
promedio	6.740E+06	2.389E+06	36.38%	1.126E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
AO24	40.59%	2.408E+06	59.41%	
DR16	31.76%	1.447E+06	68.24%	
AU46	73.74%	8.175E+05	26.26%	
CO47	38.59%	8.081E+05	61.41%	
EO30	37.80%	8.360E+05	62.20%	
promedio	44.50%	1.263E+06	55.50%	

Tabla 6.217. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
AO24	1.014E+07	4.060E+06	40.04%	1.648E+06
DR16	5.416E+06	2.120E+06	39.15%	6.734E+05
AU46	1.100E+07	3.115E+06	28.32%	2.297E+06
CO47	3.442E+06	1.326E+06	38.52%	5.080E+05
EO30	3.718E+06	1.352E+06	36.36%	5.090E+05
promedio	6.743E+06	2.395E+06	36.48%	1.127E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
AO24	40.60%	2.412E+06	59.40%	
DR16	31.76%	1.447E+06	68.24%	
AU46	73.75%	8.176E+05	26.25%	
CO47	38.31%	8.179E+05	61.69%	
EO30	37.65%	8.430E+05	62.35%	
promedio	44.42%	1.267E+06	55.59%	

Los cinco registros sísmicos, en ambos casos, se genera un estado de daño de ocupación inmediata, y los dispositivos aportan un bajo porcentaje de la disipación de energía. Tienen también baja demanda de ductilidad promedio, 6.06 para el edificio con columnas confinadas y el edificio con columnas sin confinar. Por ello, en este edificio en particular no es adecuada la utilización de dispositivos tipo TADAS.



Las tablas 6.43 y 6.44 muestran la disipación de energía para todo el edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo viscoso. Se ordenaron los resultados de mayor a menor demanda de distorsión angular de entrepiso.

Tabla 6.218. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
DX37	2.157E+07	7.304E+06	33.86%	12.48%
CO47	4.110E+06	2.002E+06	48.71%	36.99%
DR16	5.530E+06	2.802E+06	50.66%	39.17%
GR27	1.108E+07	5.095E+06	45.99%	32.39%
AO24	8.226E+06	2.895E+06	35.19%	15.44%
Promedio	1.010E+07	4.019E+06	42.88%	27.29%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
DX37	4.612E+06	63.15%	2.691E+06	36.85%
CO47	4.817E+05	24.06%	1.520E+06	75.94%
DR16	6.352E+05	22.67%	2.166E+06	77.33%
GR27	1.506E+06	29.57%	3.589E+06	70.43%
AO24	1.625E+06	56.12%	1.270E+06	43.88%
Promedio	1.772E+06	39.11%	2.247E+06	60.89%

Tabla 6.219. Disipación de energía edificio número cuatro con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
DX37	2.160E+07	7.317E+06	33.87%	12.52%
CO47	4.110E+06	2.004E+06	48.76%	36.98%
DR16	5.500E+06	2.793E+06	50.77%	39.35%
GR27	1.110E+07	5.098E+06	45.93%	32.31%
AO24	8.240E+06	2.907E+06	35.28%	15.48%
Promedio	1.011E+07	4.024E+06	42.92%	27.33%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
DX37	4.612E+06	63.04%	2.704E+06	36.96%
CO47	4.842E+05	24.16%	1.520E+06	75.84%
DR16	6.282E+05	22.50%	2.164E+06	77.50%
GR27	1.512E+06	29.67%	3.586E+06	70.33%
AO24	1.632E+06	56.13%	1.275E+06	43.87%
Promedio	1.774E+06	39.10%	2.250E+06	60.90%



Tomando los resultados anteriores, se concluye que el movimiento del terreno durante el temblor del 19 de septiembre de 2017 produjo demandas en los edificios con planta baja flexible y tipología del edificio número cuatro que los conducen a un estado de daño de prevención de colapso. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene una reducción de la distorsión de entrepiso del primer nivel inferior para todos los registros sísmicos inferior a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se producen rotaciones angulares pequeñas que originarían un estado de daño de ocupación inmediata. La comparación entre modelos con columnas confinadas y no confinadas resultado es similar. Cuando se incorporan dispositivos tipo TADAS en el edificio con columnas no confinadas (donde se utilizaron los parámetros de la sección 4.21 del capítulo 4), presentan demandas de rotación angular para el registro sísmico DX37 que conducen al edificio estado de daño de seguridad de vida. Y en el caso del edificio con confinamiento de estribos para todos los registros sísmicos conducen al edificio estado de daño de prevención de colapso. El uso de estos disipadores de energía de tipo TADAS en el edificio número cuatro parece ser la una solución para disminuir los daños esperados, ya que primer registro sísmico sobrepasa la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5. Al añadir contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene un aumento significativo de cortante en la columna de control y del cortante basal. Al utilizar dispositivos tipo TADAS se tiene un bajo porcentaje de la disipación de energía y también baja demanda de ductilidad. La comparación entre modelos con columnas confinadas y no confinadas resultado es similar. Por lo que en términos prácticos el incorporar este tipo de dispositivos no es adecuada la utilización su utilización. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso en los modelos con columnas confinadas y no confinadas en ambos casos se tiene un incremento en el cortante de la columna de control por lo que el utilizar este tipo de dispositivos se tiene la desventaja que para ser incorporados en el edificio se tiene que rehabilitar la cimentación por lo que en términos prácticos resulta muy costosos.

6.5 Discusión de resultados del Edificio número cinco

La rotación de entrepiso del edificio de control número cinco con columnas confinadas en los extremos por estribos cuando es sometido a los registros sísmicos de las estaciones mostrados en la tabla 4.21 del capítulo 4, el índice de daño para los primeros dos registros sísmicos, corresponden a un estado de daño de prevención de colapso (FEMA-356, tabla 6-8), los dos registros siguientes se tiene un estado de daño de seguridad de vida (FEMA-356, tabla 6-8), y los registros sísmicos restantes corresponden un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.17, Apéndice B). Todos los acelerogramas conducen a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior a la indicada en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM (Tabla 5.66, capítulo 5). En el edificio número cinco la rotación de entrepiso del primer nivel del edificio de control con columnas no confinadas en los extremos por estribos, la demanda de rotación de entrepiso lleva a la estructura, los primeros cuatro registros sísmicos producen un estado de daño de prevención de colapso, el registros sísmico SI58 la demanda de rotación de entrepiso se tiene un estado de daño de seguridad de vida y los registros sísmicos restantes producen un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.17, Apéndice B).



La tabla 6.45 muestra la variación de las demandas de distorsión angular en ambos edificios. Debe señalarse que, aunque las demandas no son muy diferentes, la capacidad dúctil de un caso y el otro es considerablemente diferente. El valor máximo de la tabla 6.45 corresponde a la distorsión máxima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona mayor distorsión de entrepiso, el valor promedio de la tabla 6.45 se obtuvo al promediar la distorsión del primer piso de todos los registros sísmicos de ambos modelos, el valor mínimo corresponde a la distorsión mínima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona menor distorsión de entrepiso.

Tabla 6.220. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios

Máximo	9.99%
Mínimo	0.00%
Promedio	0.93%

Como se muestra el edificio número cinco con columnas no confinadas en los extremos por estribos tiene mayor distorsión de entrepiso del primer nivel.

Al colocar contravientos en el edificio número cinco con columnas confinadas y no confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.18, Apéndice B).

En el edificio de control número cinco con columnas confinadas y no confinadas al colocar disipadores de energía de tipo viscoso, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.19, Apéndice B).

El edificio de control número cinco con columnas confinadas y con columnas no confinadas al incorporar disipadores de energía de tipo TADAS (DH) presenta demanda para todos los registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata. (Tabla B.20, Apéndice B).

El uso de este dispositivo en el edificio número cinco parece ser la mejor solución para disminuir los daños esperados, ya que 25 registros sísmicos no sobrepasan la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM.

El cociente promedio de distorsión de entrepiso y de ductilidad relativa de entrepiso del primer nivel del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.12, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.12, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.31.

El quinto edificio confinado y sin confinamiento de estribos al incorporar contravientos presentó una reducción promedio de la distorsión de entrepiso del primer nivel del 88%. El modelo numérico con disipadores de energía de tipo viscoso tuvo una reducción promedio del 88%, y el modelo con disipadores de energía de tipo TADAS presentó una reducción promedio del 69%.



La tabla 6.13 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del edificio número cinco expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.3, los valores numéricos de demanda de ductilidad del edificio número cinco, se describen en las secciones 5.6.1.2 y 5.6.2.2 del capítulo 5.

Tabla 6.221. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número cinco

	Control	CV	AV	DH
Máximo	9.99%	0.00%	0.01%	-0.03%
Mínimo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Promedio	0.93%	0.09%	0.00%	0.05%

La tabla 6.47 muestra la comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número cinco expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.4, los valores numéricos de rotación máxima de la columna de control del edificio número cinco, se describen en las secciones 5.6.1.3 y 5.6.2.3 del capítulo 5.

Tabla 6.222. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número cinco

	Control	CV	AV	DH
Máximo	14.61%	13.40%	18.69%	5.89%
Mínimo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Promedio	9.95%	11.24%	9.45%	5.12%

Para los modelos con columnas confinadas y sin confinar se tienen que los resultados que se muestran a continuación son iguales:

El cociente promedio de rotación de entrepiso del primer nivel y la ductilidad de rotación del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control confinado es de: 0.06, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control confinado es de: 0.09, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control confinado es de: 0.22.

La reducción promedio de la rotación máxima del modelo de control con columnas confinadas del edificio número cinco fue de: con contravientos 94%, con disipadores de energía de tipo viscoso 91% y del edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 78%.

La tabla 6.48 muestra la comparación del cortante de la columna de control del edificio número cinco expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.5, los valores numéricos de cortante de la columna de control del edificio número cinco, se describen en las secciones 5.6.1.5 y 5.6.2.5 del capítulo 5. La tabla 6.49 muestra la comparación del cortante normalizado de la columna de control del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.6.



Tabla 6.223. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número cinco

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-14.67%	-3.72%	0.00%	0.42%
Mínimo	0.00%	-19.19%	0.00%	0.00%
Promedio	-3.02%	0.06%	0.00%	0.23%

Tabla 6.224. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número cinco

	CV	AV	DH
Máximo	0.00%	0.00%	12.58%
Mínimo	6.99%	0.34%	0.00%
Promedio	2.25%	2.27%	3.54%

Las tablas 5.70, 5.71, 5.78, y 5.79 de las secciones 5.6.1.5 y 5.6.2.5 del capítulo 5, muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante en el entrepiso.

La tabla 6.50 muestra la comparación de cortante basal del edificio número cinco expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.7, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número cinco, se describen en las secciones 5.6.1.6 y 5.6.2.6 del capítulo 5.

Tabla 6.225. Comparación de cortante basal del edificio número cinco

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-11.47%	0.00%	0.00%	0.17%
Mínimo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Promedio	-2.17%	0.08%	0.00%	0.03%

El cociente promedio del cortante de la columna de control del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 3.17, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 2.71, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 0.93. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 3.24, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 2.77, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.96.

El cociente promedio del cortante basal del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.96, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 0.81, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 0.73. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 0.98, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 0.83, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.75.



La tabla 6.51 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS del edificio número cinco expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.8.

Tabla 6.226. Variación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número cinco

Máximo	0.16%
Mínimo	0.00%
Promedio	0.04%

La disipación de energía para todo el edificio número cinco con disipadores de energía de tipo TADAS, se muestran en las tablas 6.52 y 6.53 con columnas confinadas y no confinadas, respectivamente. Para ejemplificar, se tomaron cinco registros sísmicos en los que la distorsión de entrepiso del primer nivel superior no supera a la admisible en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Se ordenaron los registros sísmicos de mayor a menor de distorsión de entrepiso del primer nivel. Las unidades son kg y cm.

Tabla 6.227. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
SI53	9.398E+06	3.198E+06	34.02%	1.534E+06
LI33	9.563E+06	3.705E+06	38.74%	1.153E+06
CJ04	6.705E+06	2.898E+06	43.23%	9.414E+05
GC38	6.794E+06	3.063E+06	45.08%	1.066E+06
IB22	5.771E+06	3.063E+06	53.07%	1.066E+06
promedio	7.646E+06	3.185E+06	42.83%	1.152E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
SI53	47.98%	1.663E+06	52.02%	
LI33	31.13%	2.551E+06	68.87%	
CJ04	32.48%	1.957E+06	67.52%	
GC38	34.81%	1.996E+06	65.19%	
IB22	34.81%	1.996E+06	65.19%	
promedio	36.24%	2.033E+06	63.76%	



Tabla 6.228. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
SI53	9.401E+06	3.201E+06	34.04%	1.541E+06
LI33	9.551E+06	3.711E+06	38.85%	1.159E+06
CJ04	6.710E+06	2.918E+06	43.49%	9.490E+05
GC38	6.781E+06	3.051E+06	44.99%	1.055E+06
IB22	5.764E+06	3.059E+06	53.06%	1.058E+06
promedio	7.641E+06	3.188E+06	42.89%	1.153E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
SI53	48.15%	1.659E+06	51.85%	
LI33	31.24%	2.551E+06	68.76%	
CJ04	32.52%	1.969E+06	67.48%	
GC38	34.59%	1.995E+06	65.41%	
IB22	34.60%	2.000E+06	65.40%	
promedio	36.22%	2.035E+06	63.78%	

Los cinco registros sísmicos, en ambos casos, no producen daño y los dispositivos aportan un bajo porcentaje de la disipación de energía. Tienen también baja demanda de ductilidad promedio, 7.35 para el edificio con columnas confinadas y el edificio con columnas sin confinar. Por ello, en este edificio en particular no es adecuada la utilización de dispositivos tipo TADAS.

Las tablas 6.54 y 6.55 muestran la disipación de energía de todo el edificio número cinco con disipadores de energía de tipo viscoso. Se ordenaron los resultados de mayor a menor demanda de distorsión angular de entrepiso.



Tabla 6.229. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
MI15	1.339E+07	5.078E+06	37.92%	22.23%
CH84	1.238E+07	5.242E+06	42.34%	32.84%
JC54	3.858E+07	1.164E+07	30.17%	7.30%
SI53	9.578E+06	3.316E+06	34.62%	18.90%
DX37	5.679E+06	2.878E+06	50.69%	36.55%
Promedio	1.592E+07	5.631E+06	39.15%	23.56%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
MI15	2.101E+06	41.37%	2.977E+06	58.63%
CH84	1.176E+06	22.44%	4.066E+06	77.56%
JC54	8.826E+06	75.82%	2.815E+06	24.18%
SI53	1.506E+06	45.42%	1.810E+06	54.58%
DX37	8.026E+05	27.88%	2.076E+06	72.12%
Promedio	2.882E+06	42.59%	2.749E+06	57.41%

Tabla 6.230. Disipación de energía edificio número cinco con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
MI15	1.346E+07	5.103E+06	37.92%	22.25%
CH84	1.243E+07	5.263E+06	42.34%	32.84%
JC54	3.877E+07	1.170E+07	30.17%	7.30%
SI53	9.530E+06	3.300E+06	34.62%	18.90%
DX37	5.685E+06	2.881E+06	50.69%	36.55%
Promedio	1.597E+07	5.649E+06	39.15%	23.57%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
MI15	2.109E+06	41.33%	2.994E+06	58.67%
CH84	1.181E+06	22.44%	4.082E+06	77.56%
JC54	8.871E+06	75.82%	2.829E+06	24.18%
SI53	1.499E+06	45.42%	1.801E+06	54.58%
DX37	8.034E+05	27.88%	2.078E+06	72.12%
Promedio	2.893E+06	42.58%	2.757E+06	57.42%

Tomando los resultados anteriores, se concluye que el movimiento del terreno durante el temblor del 19 de septiembre de 2017 produjo demandas de rotación en los edificios con planta baja flexible y tipología del edificio número cinco que los conducen a un estado de daño de prevención de colapso. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene una reducción de la distorsión de entrepiso del primer nivel inferior para



todos los registros sísmicos inferior a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se producen rotaciones angulares pequeñas que originarían un estado de daño de ocupación inmediata. La comparación entre modelos con columnas confinadas y no confinadas resultado es similar. Cuando se incorporan dispositivos tipo TADAS (donde se utilizaron los parámetros de la sección 4.26 del capítulo 4) en el modelo confinado y no confinado, presentan demandas de rotación angulares pequeñas que originarían un estado de daño de ocupación inmediata. El uso de estos disipadores de energía de tipo TADAS en el edificio número cinco parece ser la una solución para disminuir los daños esperados, ya que primer registro sísmico sobrepasa la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5. Al añadir contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene un aumento significativo de cortante en la columna de control y del cortante basal. Al utilizar dispositivos tipo TADAS se tiene un bajo porcentaje de la disipación de energía y también baja demanda de ductilidad. La comparación entre modelos con columnas confinadas y no confinadas resultado es similar. Por lo que en términos prácticos el incorporar este tipo de dispositivos no es adecuada la utilización su utilización. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso en los modelos con columnas confinadas y no confinadas en ambos casos se tiene un incremento en el cortante de la columna de control por lo que el utilizar este tipo de dispositivos se tiene la desventaja que para ser incorporados en el edificio se tiene que rehabilitar la cimentación por lo que en términos prácticos resulta muy costosos.

6.5 Discusión de resultados del Edificio número seis

La rotación de entrepiso del edificio de control número seis con columnas confinadas en los extremos por estribos cuando es sometido a los registros sísmicos de las estaciones mostrados en la tabla 4.21 del capítulo 4, el índice de daño para los primeros dos registros sísmicos corresponde a un estado de daño de seguridad de vida, y los registros sísmicos restantes corresponden un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.21, Apéndice B). Los primeros ocho acelerogramas conducen a una distorsión de entrepiso del primer nivel superior a la indicada en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. En el edificio número seis la rotación de entrepiso del primer nivel del edificio de control con columnas no confinadas en los extremos por estribos, la demanda de rotación de entrepiso lleva a la estructura, los primeros cuatro registros sísmicos producen un estado de daño de prevención de colapso y los registros sísmicos restantes producen un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.21, Apéndice B).

La tabla 6.56 muestra la variación de las demandas de distorsión angular en ambos edificios. El valor máximo de la tabla 6.56 corresponde a la distorsión máxima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona mayor distorsión de entrepiso, el valor promedio de la tabla 6.56 se obtuvo al promediar la distorsión del primer piso de todos los registros sísmicos de ambos modelos, el valor mínimo corresponde a la distorsión mínima de entrepiso producida por el registro sísmico que le ocasiona menor distorsión de entrepiso.



Tabla 6.231. Comparación de distorsiones de entrepiso del primer nivel de ambos edificios

Máximo	15.20%
Mínimo	0.00%
Promedio	6.06%

Como se muestra el edificio número seis con columnas no confinadas en los extremos por estribos tiene mayor distorsión de entrepiso del primer nivel.

Al colocar contravientos en el edificio número seis con columnas confinadas y no confinadas en los extremos, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.22, Apéndice B).

En el edificio de control número seis con columnas confinadas y no confinadas al colocar disipadores de energía de tipo viscoso, todos los registros sísmicos producen rotaciones del primer nivel que originarían un estado de daño de ocupación inmediata (Tabla B.23, Apéndice B).

El edificio de control número seis con columnas confinadas y disipadores de energía de tipo TADAS (DH) presenta demanda de rotación para todos los registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata. El edificio de control número seis con columnas no confinadas y con disipadores de energía de tipo TADAS presenta demanda de rotación angular para el registro sísmico CH84, que conducen al edificio al estado de daño de prevención de colapso, y el resto de registros sísmicos corresponden a un estado de daño de seguridad de vida (Tabla B.24, Apéndice B).

El uso de este dispositivo en el edificio número seis parece ser la mejor solución para disminuir los daños esperados, ya que 25 registros sísmicos no sobrepasan la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM.

El sexto edificio con contravientos presentó una reducción promedio de la distorsión de entrepiso del primer nivel del 77%. El modelo numérico con disipadores de energía de tipo viscoso tuvo una reducción promedio del 64%, y el modelo con disipadores de energía de tipo TADAS presentó una reducción promedio del 19%. En el sexto edificio con columnas no confinadas los resultados anteriores son similares.

La tabla 6.57 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del edificio número seis expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.3, los valores numéricos de demanda de ductilidad del edificio número seis, se describen en las secciones 5.7.1.2 y 5.7.2.2 del capítulo 5.

Tabla 6.232. Comparación de demanda de ductilidad del edificio número seis

	Control	CV	AV	DH
Máximo	15.20%	11.44%	4.76%	5.10%
Mínimo	0.00%	9.23%	0.99%	-1.63%
Promedio	6.06%	11.54%	3.25%	-26.36%



La tabla 6.58 muestra la comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número seis expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.4, los valores numéricos de rotación máxima de la columna de control del edificio número seis, se describen en las secciones 5.7.1.3 y 5.7.2.3 del capítulo 5.

Tabla 6.233. Comparación de rotación máxima de la columna de control del edificio número seis

	Control	CV	AV	DH
Máximo	16.47%	48.86%	0.00%	36.49%
Mínimo	0.00%	23.53%	0.00%	-26.62%
Promedio	16.07%	41.52%	0.00%	62.09%

La reducción promedio de la rotación máxima del modelo de control con columnas confinadas del edificio número seis fue de: con contravientos 92%, con disipadores de energía de tipo viscoso 74% y del edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 23%. Para el modelo con columnas sin confinar se tienen: con contravientos 90%, con disipadores de energía de tipo viscoso 74% y del edificio con disipadores de energía de tipo TADAS 62%.

La tabla 6.59 muestra la comparación del cortante de la columna de control del edificio número seis expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.5, los valores numéricos de cortante de la columna de control del edificio número seis, se describen en las secciones 5.7.1.5 y 5.7.2.5 del capítulo 5. La tabla 6.60 muestra la comparación del cortante normalizado de la columna de control del edificio número dos expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.6.

Tabla 6.234. Comparación de cortante de la columna de control del edificio número seis

	Control	CV	AV	DH
Máximo	4.41%	-0.97%	4.76%	69.65%
Mínimo	0.00%	-10.53%	4.76%	72.72%
Promedio	1.06%	-5.14%	3.12%	71.24%

Tabla 6.235. Comparación de cortante normalizado de la columna de control del edificio número seis

	CV	AV	DH
Máximo	-4.09%	1.82%	-34.59%
Mínimo	-4.77%	0.99%	71.05%
Promedio	-6.66%	2.52%	64.77%

Las tablas 5.86, 5.87, 5.94, y 5.95 de las secciones 5.7.1.5 y 5.7.2.5 del capítulo 5, muestran que al colocar disipadores de energía y contravientos se incrementa el cortante en el entrepiso.



La tabla 6.61 muestra la comparación de cortante basal del edificio número seis expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.7, los valores numéricos de cortante normalizado del edificio número seis, se describen en las secciones 5.7.1.6 y 5.7.2.6 del capítulo 5.

Tabla 6.236. Comparación de cortante basal del edificio número seis

	Control	CV	AV	DH
Máximo	-5.28%	0.18%	0.00%	-0.58%
Mínimo	0.00%	0.24%	0.00%	0.00%
Promedio	-1.34%	0.73%	0.00%	-0.13%

El cociente promedio del cortante de la columna de control del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 3.06, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 2.70, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 0.55. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 2.87, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 2.77, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 1.86.

El cociente promedio del cortante basal del modelo de control confinado con contravientos entre el modelo de control es de: 0.92, para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control es de: 0.86, y para el modelo de control confinado con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control es de: 0.93. Para el modelo de control no confinado y contravientos entre el modelo de control no confinado es de: 0.93, para el modelo de control con disipadores de energía de tipo viscoso entre el modelo de control no confinado es de: 0.87, y para el modelo de con disipadores de energía de tipo TADAS entre el modelo de control no confinado es de: 0.94.

La tabla 6.62 muestra la comparación de la demanda de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS del edificio número seis expresada en porcentajes obtenida de la ecuación 6.8.

Tabla 6.237. Comparación de ductilidad del disipador de energía de tipo TADAS de control del edificio número seis

Máximo	19.77%
Mínimo	13.62%
Promedio	15.09%



La disipación de energía para todo el edificio número seis con disipadores de energía de tipo TADAS, se muestran en las tablas 6.63 y 6.64 con columnas confinadas y no confinadas, respectivamente. Para ejemplificar, se tomaron cinco registros sísmicos en los que la distorsión de entrepiso del primer nivel superior no supera a la admisible en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Se ordenaron los registros sísmicos de mayor a menor de distorsión de entrepiso del primer nivel. Las unidades son kg y cm.

Tabla 6.238. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
SI53	7.251E+07	6.687E+06	9.22%	2.693E+06
LI33	1.531E+07	4.371E+05	2.86%	2.352E+05
CJ04	1.776E+07	6.407E+05	3.61%	6.213E+05
GC38	4.007E+07	2.476E+06	6.18%	1.849E+06
IB22	5.615E+07	4.697E+06	8.37%	2.262E+06
promedio	4.036E+07	2.988E+06	6.05%	1.532E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
SI53	40.28%	3.993E+06	59.72%	
LI33	53.81%	2.019E+05	46.19%	
CJ04	96.97%	1.939E+04	3.03%	
GC38	74.65%	6.276E+05	25.35%	
IB22	48.15%	2.436E+06	51.85%	
promedio	62.77%	1.456E+06	37.23%	



Tabla 6.239. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo TADAS con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	Energía Marcos
SI53	7.324E+07	6.753E+06	9.22%	2.696E+06
LI33	1.569E+07	4.480E+05	2.86%	2.358E+05
CJ04	1.762E+07	6.356E+05	3.61%	6.164E+05
GC38	3.928E+07	2.428E+06	6.18%	1.812E+06
IB22	5.727E+07	4.791E+06	8.37%	2.307E+06
promedio	4.062E+07	3.011E+06	6.05%	1.533E+06
Registro	% Energía Marcos	Energía TADAS	% Energía TADAS	
SI53	39.92%	4.058E+06	60.08%	
LI33	52.63%	2.122E+05	47.37%	
CJ04	96.97%	1.923E+04	3.03%	
GC38	74.65%	6.153E+05	25.35%	
IB22	48.15%	2.484E+06	51.85%	
promedio	62.46%	1.478E+06	37.54%	

Las tablas 6.65 y 6.66 muestran la disipación de energía de todo el edificio número seis con disipadores de energía de tipo viscoso. Se ordenaron los resultados de mayor a menor demanda de distorsión angular de entrespo.

Tabla 6.240. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
DX37	7.446E+07	1.598E+07	21.46%	20.89%
CH84	1.174E+08	1.925E+07	16.39%	11.12%
MI15	5.670E+07	1.061E+07	18.72%	16.16%
JC54	1.107E+08	2.401E+07	21.69%	11.82%
SI53	7.034E+07	9.096E+06	12.93%	9.06%
Promedio	8.592E+07	1.579E+07	18.24%	13.81%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
DX37	4.202E+05	2.63%	1.556E+07	97.37%
CH84	6.197E+06	32.20%	1.305E+07	67.80%
MI15	1.449E+06	13.65%	9.165E+06	86.35%
JC54	1.092E+07	45.49%	1.309E+07	54.51%
SI53	2.725E+06	29.95%	6.372E+06	70.05%
Promedio	4.342E+06	24.78%	1.145E+07	75.22%



Tabla 6.241. Disipación de energía edificio número seis con disipadores de energía de tipo viscoso con columnas no confinadas en los extremos por estribos

Registro	Energía Total	Energía Inelástica	% Energía Inelástica	% Amortiguamiento viscoso
DX37	7.669E+07	1.645E+07	21.46%	20.89%
CH84	1.129E+08	1.851E+07	16.39%	10.93%
MI15	5.727E+07	1.072E+07	18.72%	16.16%
JC54	1.124E+08	2.438E+07	21.69%	11.82%
SI53	7.187E+07	9.295E+06	12.93%	9.06%
Promedio	8.622E+07	1.587E+07	18.24%	13.77%
Registro	Energía Marcos	% Energía Marcos	Energía AV	% Energía AV
DX37	4.328E+05	2.63%	1.602E+07	97.37%
CH84	6.172E+06	33.35%	1.233E+07	66.65%
MI15	1.463E+06	13.65%	9.257E+06	86.35%
JC54	1.109E+07	45.49%	1.329E+07	54.51%
SI53	2.784E+06	29.95%	6.510E+06	70.05%
Promedio	4.388E+06	25.01%	1.148E+07	74.99%

Los cinco registros sísmicos producen demandas que ubican a los edificios en el estado de daño de ocupación inmediata. En ambos casos, los dispositivos presentan una disipación de energía importante. El amortiguamiento viscoso promedio es del 14% que es alejado al valor propuesto en el prediseño.

Tomando los resultados anteriores, se concluye que el movimiento del terreno durante el temblor del 19 de septiembre de 2017 produjo demandas en los edificios con planta baja flexible y tipología del edificio número seis que los conducen a un estado de daño de prevención de colapso. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se tiene una reducción de la distorsión de entrepiso del primer nivel inferior para todos los registros sísmicos inferior a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. Al incorporar contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso se producen rotaciones angulares pequeñas que originarían un estado de daño de ocupación inmediata. La comparación entre modelos con columnas confinadas y no confinadas resultado es similar. Cuando se incorporan dispositivos tipo TADAS (donde se utilizaron los parámetros de la sección 4.31 del capítulo 4), en edificio de control número seis con columnas confinadas y disipadores de energía de tipo TADAS (DH) presenta demanda de rotación para todos los registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata. El edificio de control número seis con columnas no confinadas y con disipadores de energía de tipo TADAS presenta demanda de rotación angular para el registro sísmico CH84, que conducen al edificio al estado de daño de seguridad de vida, y el resto de registros sísmicos corresponden a un estado de daño de ocupación inmediata. El uso de estos disipadores de energía de tipo TADAS en el edificio número seis parece ser la una solución para disminuir los daños esperados, ya que cuatro registros sísmicos sobrepasan la distorsión de entrepiso permitida por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM en su sección 5.5. Al añadir contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso en los



modelos de control con columnas confinadas y no confinadas se tiene un aumento significativo de cortante en la columna de control y del cortante basal. Al utilizar dispositivos tipo TADAS se tiene un bajo porcentaje de la disipación de energía y también baja demanda de ductilidad. Por lo que en términos prácticos el incorporar este tipo de dispositivos no es adecuada la utilización su utilización. Cuando se incorporan contravientos y disipadores de energía de tipo viscoso en los modelos con columnas confinadas y no confinadas en ambos casos se tiene un incremento en el cortante de la columna de control por lo que el utilizar este tipo de dispositivos se tiene la desventaja que para ser incorporados en el edificio se tiene que rehabilitar la cimentación por lo que en términos prácticos resulta muy costosos.



CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó el comportamiento de edificios con planta baja flexible reforzados con contravientos y dispositivos disipadores de energía. La tipología corresponde a los edificios que sufrieron colapso o presentaron daños severos durante el sismo del 19 de septiembre de 2017, obtenida con base en el análisis de 289 dictámenes estructurales. La excitación sísmica proviene de un conjunto de acelerogramas registrados durante el evento, todos ellos en la zona de ubicación de los edificios estudiados.

Con base en los resultados de los análisis no lineales realizados, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los seis edificios analizados sin ningún sistema de refuerzo sometidos a la familia de registros sísmicos seleccionados, presentan demandas mayores a las permisibles en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RCCM (2017), que de acuerdo a la rotación obtenida se ubican en estado de daño de prevención de colapso (FEMA-356, tabla 6-8).
- En general, al incorporar contravientos, los seis edificios presentan una distorsión de entrepiso del primer nivel inferior a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM, para todos los registros sísmicos utilizados. Esto ubica a los edificios, de acuerdo con la demanda de rotación, en el estado de daño de ocupación inmediata (FEMA-356, tabla 6-8).
- Los contravientos originan un aumento significativo en la demanda de cortante basal y de fuerza cortante en las columnas. Su incorporación requeriría reforzar las columnas y la cimentación, por lo que en términos prácticos podría resultar muy costoso.
- Las demandas obtenidas en los edificios con contravientos no muestran un cambio significativo al considerar los modelos constitutivos de columnas confinadas y sin confinar. No obstante, el daño esperado es mayor en los modelos sin confinamiento.
- Al incorporar amortiguadores viscosos, existe una importante reducción de la distorsión de entrepiso del primer nivel, con valores inferiores, en la mayoría de los casos, a los señalados en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RCCM (2017). Por ello, el estado de daño esperado es de ocupación inmediata.
- Los modelos con disipadores de tipo viscoso incrementan también la demanda de fuerza cortante de columnas y de la fuerza cortante basal, con valores cercanos, en algunos casos, a los obtenidos en los edificios con contravientos. Es por ello, que su incorporación requeriría también reforzar columnas y la cimentación de los edificios.
- Las demandas de desplazamientos y fuerzas cortantes en los edificios con columnas confinadas y sin confinar fueron muy similares al ser sometidas al conjunto de acelerogramas. Los daños esperados como se comentó anteriormente son sin embargo mayores en los modelos sin confinamiento suficiente.
- Los disipadores tipo TADAS diseñados de acuerdo con los criterios señalados en este trabajo, condujeron a que los edificios dos a cinco, presentaran demandas de distorsión de entrepiso del primer nivel mayores a las señaladas en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del RCCM (2017).
- La incorporación de disipadores de energía de tipo TADAS produce un incremento significativamente inferior del cortante de columnas y del cortante basal obtenidos



con los edificios reforzados con disipadores viscosos y contravientos. No obstante, en algunos casos podría ser necesario reforzar columnas de planta baja y la cimentación.

- A pesar de que algunos registros sísmicos producen demandas de distorsión angular mayores que las aceptadas reglamentariamente en los edificios reforzados con TADAS, el promedio de la demanda obtenida con el conjunto de los registros sísmicos es inferior a la reglamentaria.

Con respecto a la ubicación de los edificios, las conclusiones de los modelos localizados en las zonas sísmicas IIIa y IIIb son:

- Los edificios localizados en estas zonas sísmicas corresponden a los modelos número uno de cinco niveles, número tres de ocho niveles, número cinco de seis niveles, y número seis de nueve niveles.
- Los registros sísmicos CH84 y MI15 conducen a los modelos uno, tres y cinco al estado de daño de prevención de colapso. Debe recordarse que los espectros de respuesta de los registros sísmicos CH84 y MI15 sobrepasan considerablemente el valor máximo del espectro de diseño vigente (0.24 g) cuando los edificios fueron diseñados.
- Los registros sísmicos CH84, DX37, JC54, y MI15 en los edificios de la zona sísmica III sobrepasan la ductilidad máxima utilizada en el diseño de los disipadores de energía de tipo TADAS.
- Los cuatro registros sísmicos anteriormente mencionados en los edificios de control de la zona sísmica III son los que tiene mayor demanda de desplazamiento y mayor daño esperado. Estos cuatro registros sísmicos son los que tienen mayor aceleración espectral (tabla 2.6, capítulo 2) y mayor aceleración máxima registrada (tabla 2.1, capítulo 2). En la figura 2.22 del capítulo 2 se observa que estos registros sísmicos están relativamente cerca uno del otro.

De los edificios que se encuentran ubicados en la zona sísmica II se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los edificios analizados tienen uso y estructuración iguales que en las zonas sísmicas IIIa y IIIb. Los edificios analizados son: edificio número dos de siete niveles, y el edificio número cuatro de cinco niveles.
- Los registros DX37 y AO24 producen estado de daño de prevención de colapso en los edificios número dos y cuatro.
- La máxima amplitud espectral de los registros sísmicos DX37 y AO24 exceden el valor del coeficiente sísmico de diseño (0.20 para la zona sísmica II), de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo de 1976 del RCDF. El registro sísmico DX37 dirección N00E de 5.13 veces mayor, y el registro AO24 dirección N90W de 2.90 veces.
- Los registros sísmicos DX37, GR27, LEAC, y ME52 originan en el edificio número cuatro una ductilidad máxima de los disipadores de energía de tipo TADAS mayor que la de diseño. Así mismo, el registro sísmico DX37 en el edificio número dos con columnas no confinadas sobrepasa también la ductilidad de diseño.



- Los registros sísmicos DX37, AO24, y GR27 generan las mayores demandas en los edificios de control de la zona sísmica II. Estos cuatro registros sísmicos son los que tienen mayor aceleración espectral (tabla 2.5, capítulo 2) y una mayor aceleración máxima registrada (tabla 2.1, capítulo 2). En la figura 2.22 del capítulo 2 se observa que los registros sísmicos DX37 y AO24 están relativamente cerca uno del otro.

Con base en los resultados obtenidos del capítulo cinco y seis se recomienda el uso de disipadores de energía de tipo TADAS para edificios con planta baja flexible, ya que al ser incorporados en los edificios de control con columnas confinadas y con columnas no confinadas se tiene en promedio una distorsión de entrepiso del primer nivel inferior a lo indicado Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2017) RCCM. La incorporación de este tipo de dispositivo conduce para la mayoría de los registros sísmicos a un estado de daño de ocupación inmediata. En la zona sísmica II resultó más efectivo ya que nueve de diez registros sísmicos están dentro del estado de daño de ocupación inmediata. La incorporación de los disipadores de energía de tipo TADAS no incrementa de manera significativa el cortante de la columna de control ni el cortante basal.

Los siguientes valores fueron utilizados en el prediseño de los dispositivos de comportamiento viscoso y disipadores de energía de tipo TADAS:

Edificio número uno: Peso modal = 1,517 kg-s²/cm, rigidez del primer nivel = 132,170 kg/cm, ductilidad del sistema de un grado de libertad = 8.49.

Edificio número dos: Peso modal = 1,853 kg-s²/cm, rigidez del primer nivel = 268,952 kg/cm, ductilidad del sistema de un grado de libertad = 5.19.

Edificio número tres: Peso modal = 1,788 kg-s²/cm, rigidez del primer nivel = 268,952 kg/cm, ductilidad del sistema de un grado de libertad = 4.96.

Edificio número cuatro: Peso modal = 1,226 kg-s²/cm, rigidez del primer nivel = 132,170 kg/cm, ductilidad del sistema de un grado de libertad = 6.46.

Edificio número cinco: Peso modal = 1,475 kg-s²/cm, rigidez del primer nivel = 211,711 kg/cm, ductilidad del sistema de un grado de libertad = 4.50.

Edificio número seis: Peso modal = 1,992 kg-s²/cm, rigidez del primer nivel = 600,171 kg/cm, ductilidad del sistema de un grado de libertad = 2.11.

Los primeros tres primeros periodos obtenidos del análisis modal obtenidos con el programa SAP2000 V20.1.0 de los edificios de control con pilotes y contratraves expresados en segundos y ordenados del primero al tercero son: edificio número uno (0.97, 0.70, 0.58), edificio número dos (1.03, 0.94, 0.74), edificio número tres (1.18, 1.10, 0.84), edificio número cuatro (0.89, 0.56, 0.50), edificio número cinco (0.99, 0.76, 0.63), edificio número seis (1.20, 1.15, 0.84).

Los disipadores TADAS que conducen a la mayor reducción de la respuesta del piso flexible fueron aquellos en que el cociente de la rigidez lateral del dispositivo disipador de energía tipo TADAS entre la rigidez lateral del entrepiso flexible se encontró entre 0.12 y 0.46, para edificios ubicados en la zona sísmica III. Para edificios ubicados en la zona sísmica II se encontró este cociente entre 0.09 y 0.72. La mejor relación de fluencia entre el dispositivo y la fluencia del



entrepiso flexible fue aquella que se encontraba en el intervalo de 0.04 a 0.11 para edificios ubicados en la zona sísmica III, y entre 0.07 a 0.11 para edificios ubicados en la zona sísmica II.

Los disipadores de comportamiento viscoso conducen una mayor reducción de la respuesta del piso flexible fueron aquellos en que el amortiguamiento de cada amortiguador viscoso expresado en kg-s/cm fue de: 1122 para el edificio número uno, 2040 para el edificio dos, 1530 para el edificio número tres, y para los edificios cuatro al seis de 3060.

El amortiguamiento viscoso promedio propuesto en el prediseño es de 30%. El análisis no lineal para los edificios número uno, dos, y cuatro condujo a los siguientes porcentajes: 35%, 27%, 27%, respectivamente. Sin embargo, el amortiguamiento viscoso promedio del análisis no lineal de los edificios número tres, cinco, y seis, fue de: 15%, 24%, y 14%, respectivamente. Los edificios número dos y cuatro se localizaron en suelo de transición (zona sísmica II). Los valores anteriormente descritos de amortiguamiento viscoso promedio obtenidos del análisis no lineal se describen en el capítulo 6.

Al incorporar contravientos en todos los edificios con columnas confinadas y con columnas no confinadas, se tiene un aumento significativo en el cortante basal y en el cortante de la columna de control. Por lo tanto, para su incorporación es necesario la rehabilitación de columnas y de la cimentación de los edificios, haciéndolo en términos prácticos una solución muy costosa.

Al incorporar disipadores de energía de tipo viscoso en todos los edificios con columnas confinadas y con columnas no confinadas, se tiene un aumento significativo en el cortante basal y en el cortante de la columna de control, teniendo valores cercanos a los modelos numéricos de los edificios con contravientos. Por lo tanto, para su incorporación es necesario la rehabilitación de columnas y de la cimentación de los edificios, haciéndolo en términos prácticos una solución muy costosa ya que aparte de la rehabilitación de la cimentación y de las columnas los amortiguadores viscosos tienen un elevado costo, siendo de las tres opciones de rehabilitación de las dos mencionadas anteriormente la menos atractivas en términos de costo.



REFERENCIAS

- Aguirre, M., y Roberto Sánchez, A. (1992). Structural seismic damper. *Journal of Structural Engineering*, 118(5), 1158-1171
- Akbari R (2012). Seismic fragility analysis of reinforced concrete continuous span bridges with irregular configuration, *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*, 8(9), 873-889
- Alehashem, S. M. S., Keyhani, A., y Pourmohammad, H. (2008). Behavior and performance of structures equipped with ADAS & TADAS dampers (a comparison with conventional structures). 14th World Conference Earthquake Engineering, Beijing, China.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA 356. Federal Emergency Management Agency: Washington DC.
- Ávila Rodríguez (2007). Revisión de los Aspectos Generales Estructurales del Proyecto de Rehabilitación del Centro Cultural Universitario Tlatelolco. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa Zihuatanejo, México.
- Cruz A., Singh V.M., Shri K., y Ordaz S. M. (2017). ¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México? *Revista Digital Universitaria*, 18(7).
- Departamento del Distrito Federal. (1976). Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, *Diario Oficial de la Federación*, 14 de Diciembre de 1976.
- Filiatrault, A., y Cherry, S. (1987). Performance evaluation of friction damped braced frames under simulated Earthquake loads. *Earthquake Spectra*, 3(1), 57-78.
- G. Alotta., L. Cavaleri., M. Di Paola., y M.F. Ferrotto. (2016). Solution for the design and the increasing of the efficiency of viscous dampers. *Open Construction and Building Technology Journal*, 10, 105–121.
- Gobierno del Distrito Federal. (1976). Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. *Diario Oficial del Gobierno del Distrito Federal*.
- Gobierno del Distrito Federal. (1976). Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal. Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Concreto. *Diario Oficial del Gobierno del Distrito Federal*.
- Gobierno del Distrito Federal. (2017). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo, Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, México
- Gobierno del Distrito Federal. (2017). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Acero, Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, México
- Gómez, C., Cruz, J.I., Jara, J.M., Vargas, E. (1993). Estudio paramétrico de estructuras con cables de presfuerzo. X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Pto. Vallarta, Jal., México.



González, R. (1998). Ensaye en mesa vibradora de una estructura con dispositivos disipadores de energía. Memorias, V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica: Disipadores de Energía para Controlar la Respuesta Sísmica de Edificios (pp. 1-25).

González, R., Murià, D., y Díaz, D. (1994). Respuesta teórica y experimental de una estructura prototipo con disipadores de energía sísmica. Informe Interno Proyecto 2555, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Jara, J. M. (1994). Estado del arte sobre dispositivos para reducir daños provocados por temblores. Revista de ingeniería Sísmica, SMIS, México, 47, 35-79.

Jara, J. M., Ayala, A. G., y Miranda, E. (2000). Seismic behavior of structures with energy dissipating systems in Mexico. 12th World Conference of Earthquake Engineering. Auckland. New Zealand.

Jara, J. M., Gomez-Soberon, C., Vargas, E., & Gonzalez, R. (1992). Seismic Performance of Buildings with Energy Dissipating Systems. Earthquake Engineering, Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam.

Kelly, J. M., Skinner, R. I., y Heine, A. J. (1972). Mechanisms of energy absorption in special devices for using in earthquake resistant structures. Bulletin of NZ Society for Earthquake Engineering, 5(3), 63-88.

Khosravian, A., & Hosseini, A. (2009). Application of a genetic algorithm for optimal passive control of buildings with metallic dampers. 10th WSEAS international conference on evolutionary computing (pp. 102-107). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).

Lin, W. H., y Chopra, A. K. (2002). Earthquake response of elastic SDF systems with non-linear fluid viscous dampers. Earthquake engineering & structural dynamics, 31(9), 1623-1642.

López, R., Velázquez, R.S., Cruz, T.C., Méndez, E.A., A, R., Alvarado, C., C, J., Cabrera, R. (2014). PROCESO DE EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL, DE UN EDIFICIO DE 16 NIVELES DE CONCRETO REFORZADO. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puerto Vallarta, México.

Makris, N., y Constantinou, M. C. (1991). Fractional-derivative Maxwell model for viscous dampers. Journal of Structural Engineering, 117(9), 2708-2724.

Manual de diseño de obras civiles. (2015). Diseño por sismo, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad.

Martinez-Romero, E. (1993). Experiences on the use of supplementary energy dissipators on building structures. Earthquake Spectra, 9(3), 581-625.

NTC-DF-Sismo. (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal, octubre.

Pall, A. S., & Marsh, C. (1982). Response of friction damped braced frames. Journal of Structural Engineering, 108(9), 1313-1323.

Parcianello, E., Chisari, C., y Amadio, C (2017). Optimal design of nonlinear viscous dampers for frame structures. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100, 257-260.



Plataforma CDMX. (2018). Ciudad de México.: Comisión para la Reconstrucción, Recuperación y Transformación de la CDMX en una ciudad mas resiliente. Recuperado de <https://plataforma.cdmx.gob.mx/comision>

Plataforma CDMX. (2018). Ciudad de México.: Comisión para la Reconstrucción, Recuperación y Transformación de la CDMX en una ciudad mas resiliente. Recuperado de <https://plataforma.cdmx.gob.mx/contenido>

Ramirez, O. M., Constantinou, M. C., Kircher, C. A., Whittaker, A. S., Johnson, M. W., Gomez, J. D., y Chrysostomou, C. Z. (2000). Development and evaluation of simplified procedures for the analysis and design of buildings with passive energy dissipation systems (Doctoral dissertation, State University of New York at Buffalo).

"Reporte especial Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1). (2017). Ciudad de México.: Reporte Especial, Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM. Recuperado de http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf

Recuperado de http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf"

Ruíz, E., Mejía, R., y Ruíz, S. E. (1996). Comparative study of a multistory frame with energy dissipation devices and without them. XI World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Gro. México.

Ruiz, S. E., Castillo C. T., Hidalgo T. J. P., y Rivera S. J. L. (2008). Relación entre la respuesta de S1GDL con amortiguamiento viscoso y la de S1GDL con disipadores de tipo histerético. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, México.

Ruvalcava, F. N. (2005). Evaluación del comportamiento sísmico de marcos de concreto dotados de disipadores de energía tipos TADAS, U y viscoelásticos (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Sánchez, J. L., & Urrutia, C. (1994). Restauración del Hospital 20 de Noviembre de la ciudad de México. Memorias, IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, pp. 606-617.

Santiago, E. (2009). Comparación entre sistemas estructurales compuestos, tanto con elementos disipadores de energía como con muros y construidos en zonas sísmicas (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma De México, Ciudad de México, México.

Seleemah, A., y Constantinou, M.C. (1997). Investigation of seismic response of buildings with linear and non-linear fluid viscous dampers. Report No. NCEER 97-0004, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, Buffalo, New York.

Sismos México. (2017). Ciudad de México.: Colegio de Ingenieros Civiles de México. Recuperado de <https://www.sismosmexico.org/>

Su, Y. F. (1990). Aseismic Design of Building Structures with ADAS Devices. Report to the Sinotech Engineering Consultants, Inc., Su and Structures Engineers Corporation, Taiwan.

"Suárez, E. O. (2012). APLICACIÓN DE SISTEMAS ADAPTATIVOS ARTIFICIALES PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN OPTIMA DE DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA



APLICACIONES ESTRUCTURALES. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, México."

Symans, M. D., y Constantinou, M. C (1998). Passive fluid viscous damping systems for seismic energy dissipation. *Journal of Earthquake Technology*, 35(4), 185-206.

Taylor, D., y Dufloot, P. (2002). Fluid Viscous Dampers Used for Seismic Energy Dissipation in Structures. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, England, Paper No. 093.

Tena Colunga, A., Gómez, C., Vargas, E., y González, R. (1994). Evaluación sísmica de la reestructuración del complejo de oficinas centrales del IMSS con disipadores de energía tipo ADAS. Reporte FJBS/CIS-94/03, Centro de Investigación Sísmica, Fundación Javier Barros Sierra, febrero.

Tena-Colunga, A (2003). Disipación pasiva de energía en México: un estado del arte. VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Barquisimeto, Venezuela.

Tena-Colunga, A. (1998). Modelado analítico de edificios con disipadores de energía, aplicaciones en proyectos de reestructuración. Memorias, V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica: Disipadores de Energía para Controlar la Respuesta Sísmica de Edificios, Toluca, Estado de México, 85-120.

Tena-Colunga, A. (2000). Modelado analítico de edificios con disipadores de energía. *Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS*, 62, 29-62.

Tena-Colunga, A. (2002). Some aspects on the analytical modelling of metallic energy dissipation devices. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, England, Paper No. 060, CD-ROM.

Tena-Colunga, A., y Vergara, A. (1997). Comparative study on the seismic retrofit of a mid-rise steel building: steel bracing vs energy dissipation. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 26(6), 637-655.

Torres, M. A., y Ruiz, S. E. (2004). Design algorithm based on probabilistic seismic demands for buildings rehabilitated with hysteretic energy-dissipating devices. *Earthquake spectra*, 20(2), 503-521.

Vázquez, R. L., Velázquez, R. S., Cruz, T. C., Arellano, E., Méndez, R. A., y Cabrera, J. C. R. (2014). PROCESO DE EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL, DE UN EDIFICIO DE 16 NIVELES DE CONCRETO REFORZADO. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puerto Vallarta, México.

Whittaker, A. S., Bertero, V. V., Alonso L. J., y Thompson C. L. (1989). Earthquake simulator testing of steel plate added damping and stiffness elements. Reporte UCB/EERC-89/02, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.

Yeh, C. H., Lu, L. L., Chung, L. Y., y Huang, C. S. (2001). Test of a Full-Scale Steel Frame with TADAS. *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 3(2), 1-15.



APÉNDICE A

Método de diseño estructural de los dispositivos de energía pasivos (disipadores viscosos de energía y dispositivos tipo TADAS)

A.1 Método de diseño estructural con disipadores viscosos de energía de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad

A.1.1 Procedimiento de diseño de los amortiguadores viscosos utilizados

Para el diseño de este tipo de dispositivos se utilizó el Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, y el procedimiento de diseño que se describe a continuación fue tomado del libro Desarrollo y Evaluación de Procedimientos Simplificados para el Análisis y Diseño de Edificios con Dispositivos de Disipación de Energía Pasivos (2011).

1. Se analiza el sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos de la siguiente manera:

- a) De la estructura se calculan los pesos modales (W_t).

$$W_t = A * W * \text{Numero de niveles} \quad (\text{A. 1})$$

- b) De la estructura se calculan las masas modales (M_t).

$$M_t = \frac{W_t}{g} \quad (\text{A. 2})$$

- c) Se calcula el momento de inercia bruta de las columnas según su geometría (I_g).
- d) Se calcula el momento de inercia agrietada de las columnas con la siguiente ecuación:

$$I_{ag} = 0.7I_g \quad (\text{A. 3})$$

- e) Se realiza el cálculo de la rigidez de la columna con la siguiente ecuación:

$$K_{col} = \frac{12EI_{ag}}{L^3} \quad (\text{A. 4})$$

- f) Se calcula la rigidez del nivel de la siguiente manera:

$$K_{niv} = K_{col} * \text{Cantidad de columnas} \quad (\text{A. 5})$$

- g) Se realiza el cálculo de frecuencia natural del sistema de un grado de libertad.

$$\omega_n = \frac{M_t}{K_{niv}} \quad (\text{A. 6})$$

- h) Se calcula el periodo natural del sistema de un grado de libertad de la siguiente manera:



$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (\text{A. 7})$$

- i) Con el valor del periodo T_n se ingresa al espectro y se lee el valor de S_a .
- j) Se calculan los valores de S_v y S_d de la siguiente manera:

$$S_v = \frac{S_a}{\omega_n} \quad (\text{A. 8})$$

$$S_d = \frac{S_v}{\omega_n} \quad (\text{A. 9})$$

- k) Se realiza el cálculo del desplazamiento de fluencia con la siguiente ecuación:

$$\Delta_y = L * \theta_y \quad (\text{A. 10})$$

- l) Se realiza el cálculo de la ductilidad del sistema de un grado de libertad con la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{S_d}{\Delta_y} \quad (\text{A. 11})$$

- m) Se realiza el cálculo del cortante basal del sistema de un grado de libertad con la siguiente ecuación:

$$V_b = \frac{S_a}{g} W_t \quad (\text{A. 12})$$

Se revisa la condición en donde el cortante basal no debe ser menor que el 75% del cortante basal de toda la estructura sin disipadores diseñada con el método estático.

Donde:

W_t = Peso modal

A = Área de la losa

M_t = Masas modales

I_g = Momento de inercia bruta de las columnas

I_{ag} = Momento de inercia agrietada de las columnas

K_{col} = Rigidez de la columna

K_{niv} = Rigidez del nivel

ω_n = Frecuencia natural del sistema de un grado de libertad

T_n = Periodo natural del sistema de un grado de libertad

S_v = Velocidad espectral del sistema de un grado de libertad



S_a = Aceleración espectral del sistema de un grado de libertad

S_d = Velocidad espectral del sistema de un grado de libertad

Δ_y = Desplazamiento de fluencia

L = Altura de entrepiso

θ_y = Rotación de fluencia del sistema de un grado de libertad

μ = Ductilidad del sistema de un grado de libertad

V_b = Cortante basal del sistema de un grado de libertad

2. Se diseñan los dispositivos amortiguadores viscosos como sigue:

- a) Se propone un valor de C el cual se itera para llegar a un amortiguamiento equivalente lo más aproximado del 30%.
- b) Se calculan las propiedades dinámicas de la siguiente manera:

$$\mu = \frac{\Delta}{\Delta_y} \quad (\text{A. 13})$$

Se propone un valor de ω_n y se itera para llegar a un amortiguamiento equivalente lo más aproximado del 30%.

Se realiza el cálculo del periodo natural del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos con la siguiente ecuación:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (\text{A. 14})$$

Se realiza el cálculo del periodo efectivo del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos con la siguiente ecuación:

$$T_{eff} = T_n \sqrt{\mu} \quad (\text{A. 15})$$

Se obtiene la frecuencia natural del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos con la siguiente ecuación:

$$\omega_n = \frac{k_{niv}}{M_t} \quad (\text{A. 16})$$

Se verifica que el valor propuesto de ω_n y el calculado sean muy aproximados.

- c) Se calcula el amortiguamiento equivalente de la siguiente manera:

$$W_n = F_{disp} * \Delta * \pi * \cos(F_{disp} * \pi/180)^2 \quad (\text{A. 17})$$



$$W = \Delta * k_{niv} * \frac{\Delta}{2} \quad (\text{A. 18})$$

- d) Se calcula el amortiguamiento de la estructura en el primer modo por amortiguamiento viscoso de los dispositivos con la siguiente ecuación:

$$\beta_{v1} = \frac{\pi W_n}{4W} \quad (\text{A. 19})$$

- e) Se calcula el factor de ajuste del ciclo de histéresis

$$q_H = \text{máx} \left[\min \left(1, 0.67 * \frac{T_n}{T_b} \right), 0.5 \right] \quad (\text{A. 20})$$

En ningún caso el valor de q_H puede ser menor que 0.5 ni mayor que 1.0.

- f) Se calcula el amortiguamiento histerético

$$\beta_{HD} = q_H(0.64 - \beta_i) \left(1 - \frac{1}{\mu} \right) \quad (\text{A. 21})$$

- g) Se obtiene el amortiguamiento equivalente

$$\beta_{eq} = \beta_{v1} + \beta_i \sqrt{\mu} + \beta_{HD} \quad (\text{A. 22})$$

El valor calculado de β_{eq} debe de ser cercano al 30%.

- h) El cálculo de cantidades espectrales se realiza de la siguiente manera:

Con el valor del periodo T_{eff} se ingresa al espectro y se lee el valor de S_a .

$$S_v = \frac{S_a}{\omega_n} \quad (\text{A. 23})$$

$$S_d = \frac{S_v}{\omega_n} \quad (\text{A. 24})$$

El valor propuesto de S_v y el valor calculado deben de ser muy aproximados.

Donde:

C = Constante de amortiguamiento correspondiente al i-ésimo entrepiso

Δ = Desplazamiento del dispositivo

Δ_y = Desplazamiento de fluencia del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos

T_n = Periodo natural del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos

ω_n = Frecuencia natural del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos

T_{eff} = Periodo efectivo del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos



W_n = Máxima energía de deformación correspondiente al modo n para el desplazamiento modal

F_{disp} = Fuerza del dispositivo

W = Energía disipada por un dispositivo en un ciclo completo

β_{v1} = Amortiguamiento de la estructura en el modo 1 por amortiguamiento viscoso de los dispositivos

β_{HD} = Amortiguamiento histerético

β_{eq} = Amortiguamiento equivalente

S_v = Velocidad espectral del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos

S_a = Aceleración espectral del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos

S_d = Velocidad espectral del sistema de un grado de libertad con amortiguadores viscosos

A.2 Método de diseño estructural con disipadores tipo TADAS de acuerdo al Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad

A.2.1 Procedimiento de diseño de los dispositivos tipo TADAS utilizados

Para el diseño de este tipo de dispositivos se utilizó el Manual de Obras Civiles para el Diseño por Sismo (2015) de la Comisión Federal de Electricidad, y el procedimiento de diseño que se describe a continuación fue tomado del libro Desarrollo y Evaluación de Procedimientos Simplificados para el Análisis y Diseño de Edificios con Dispositivos de Disipación de Energía Pasivos (2011).

1. Se analiza el sistema como un sistema de un grado de libertad sin dispositivos de la siguiente manera:

- a) De la estructura se calculan los pesos modales (W_t).

$$W_t = A * W * \text{Numero de niveles} \quad (\text{A. 25})$$

- b) De la estructura se calculan las masas modales (M_t).

$$M_t = \frac{W_t}{g} \quad (\text{A. 26})$$

- c) Se calcula el momento de inercia bruta de las columnas según su geometría (I_g).
- d) Se calcula el momento de inercia agrietada de las columnas con la siguiente ecuación:

$$I_{ag} = 0.7I_g \quad (\text{A. 27})$$

- e) Se realiza el cálculo de la rigidez de la columna con la siguiente ecuación:

$$K_{col} = \frac{12EI_{ag}}{L^3} \quad (\text{A. 28})$$



- f) Se calcula la rigidez del nivel de la siguiente manera:

$$K_{niv} = K_{col} * \text{Cantidad de columnas} \quad (\text{A. 29})$$

- g) Se realiza el cálculo de frecuencia natural del sistema de un grado de libertad.

$$\omega_n = \frac{M_t}{K_{niv}} \quad (\text{A. 30})$$

- h) Se calcula el periodo natural del sistema de un grado de libertad de la siguiente manera:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (\text{A. 31})$$

- i) Con el valor del periodo T_n se ingresa al espectro y se lee el valor de S_a .
j) Se calculan los valores de S_v y S_d de la siguiente manera:

$$S_v = \frac{S_a}{\omega_n} \quad (\text{A. 32})$$

$$S_d = \frac{S_v}{\omega_n} \quad (\text{A. 33})$$

- k) Se realiza el cálculo del desplazamiento de fluencia con la siguiente ecuación:

$$\Delta_y = L * \theta_y \quad (\text{A. 34})$$

- l) Se realiza el cálculo de la ductilidad del sistema de un grado de libertad con la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{S_d}{\Delta_y} \quad (\text{A. 35})$$

- m) Se realiza el cálculo del cortante basal del sistema de un grado de libertad con la siguiente ecuación:

$$V_b = \frac{S_a}{g} W_t \quad (\text{A. 36})$$

2. Se prediseñan los dispositivos tipo TADAS como se muestra a continuación:

- a) Se propone una relación V_y/V_{yd} que sea superior a 1.1.
b) La resistencia del dispositivo se calcula de la siguiente manera:

$$V_{yd} = \frac{f_y}{V_y/V_{yd}} \quad (\text{A. 37})$$

- c) Se calcula la fluencia del dispositivo de la siguiente manera:



$$F_{yd} = \frac{V_{yd}}{\text{Cantidad de dispositivos}} \quad (\text{A. 38})$$

d) Cantidad de placas requeridas:

$$\text{Cantidad de placas} = \frac{4F_{yd}t^2}{f_y b} \quad (\text{A. 39})$$

e) Desplazamiento de fluencia del dispositivo:

$$\Delta_{yd} = 1.5\varepsilon_y \left(\frac{h^2}{\varepsilon_y} \right) \quad (\text{A. 40})$$

f) Desplazamiento máximo del dispositivo:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \varepsilon_{m\acute{a}x} \left(\frac{h^2}{t} \right) \quad (\text{A. 41})$$

g) Rigidez del dispositivo:

$$k_e = \frac{F_{yd}}{\Delta_{yd}} \quad (\text{A. 42})$$

3. Se obtienen los parámetros de la representación trilineal del dispositivo de la siguiente manera:

a) Fuerza de fluencia del dispositivo:

$$F_{yd} = V_{yd} + K_{niv} * \Delta_{yd} \quad (\text{A. 43})$$

b) Fuerza de fluencia del marco:

$$F_{yf} = f_y + V_{yd} \quad (\text{A. 44})$$

4. Se realizan los cálculos del sistema lineal equivalente de un sistema de un grado de libertad con dispositivos de la siguiente manera:

a) Demanda de ductilidad del sistema de un grado de libertad con dispositivos:

$$\mu_D = \frac{D_{ob}}{D_y} \quad (\text{A. 45})$$

b) Aceleración del dispositivo de sistema de un grado de libertad con dispositivos tipo TADAS:

$$A_d = \frac{V_{yd}}{W_t} g \quad (\text{A. 46})$$

c) Aceleración del dispositivo del sistema de un grado de libertad:

$$A_y = \frac{f_y}{W_t} g \quad (\text{A. 47})$$

d) Periodo efectivo del sistema de un grado de libertad con dispositivos:



$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{D_{ob}}{A_d + A_y}} \quad (A.48)$$

e) Ductilidad de fluencia del marco:

$$\mu_f = \frac{D_{ob}}{A_y} \quad (A.49)$$

f) Ductilidad de fluencia del dispositivo:

$$\mu_d = \frac{D_{ob}}{D_{yd}} \quad (A.50)$$

g) Factor de ajuste del ciclo de histéresis:

$$q_H = 0.67 * \frac{T_b}{T_{eff}} \quad (A.51)$$

En ningún caso el valor de q_H puede ser menor que 0.5.

h) Cálculo del amortiguamiento efectivo de la estructura debido al comportamiento histerético de los elementos estructurales y del sistema de disipación de energía para la demanda de ductilidad:

$$\beta_{BH} = \frac{2q_H \left(1 - \frac{1}{\mu_f}\right) + 2 \frac{A_d}{A_y} \left(1 - \frac{1}{\mu_d}\right) \left(1 + \frac{A_d}{A_y}\right)}{\pi} \quad (A.52)$$

i) Amortiguamiento efectivo:

$$\beta_{eff} = \beta_i \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{A_d}{A_y}}} \quad (A.53)$$

En ningún caso el valor de β_{eff} puede ser menor que 0.3.

j)

$$\lambda = \begin{cases} T_{eff} < T_c = 0.45 \\ T_{eff} > T_c = 0.45 \frac{T_c}{T_{eff}} \end{cases} \quad (A.54)$$

k) Coeficiente de amortiguamiento correspondiente al amortiguamiento efectivo:

$$\beta = \left(\frac{\beta_i}{\beta_{eff}}\right)^\lambda \quad (A.55)$$

l) Desplazamiento de azotea:

$$D = \frac{\pi^2 S_a \beta g T_{eff}^2}{4} \quad (A.56)$$



- m) Se realiza la comparación de D_{ob} y D donde ambos valores deben de ser muy similares en caso de no serlo, proponer otro valor de D_{ob} y realizar nuevamente los cálculos desde el paso 4 inciso d.

Donde:

f_y = Fluencia del sistema de un grado de libertad

V_y = Resistencia del sistema de un grado de libertad

V_{yd} = Resistencia del dispositivo

F_{yd} = Fluencia del dispositivo

t = Espesor de la placa del dispositivo tipo TADAS

b = Base de la placa del dispositivo tipo TADAS

F_{yd} = Esfuerzo de fluencia de las placas del dispositivo tipo TADAS

Δ_{yd} = Desplazamiento de fluencia del dispositivo tipo TADAS

$\Delta_{m\acute{a}x}$ = Desplazamiento máximo del dispositivo tipo TADAS

h = Altura de la placa del dispositivo tipo TADAS

ε_y = Deformación de fluencia de la placa del dispositivo tipo TADAS

$\varepsilon_{m\acute{a}x}$ = Deformación máxima a tensión de la placa del dispositivo tipo TADAS

k_e = Rigidez del dispositivo

F_{yd} = Fuerza de fluencia del dispositivo tipo TADAS

F_{yf} = Fuerza de fluencia del marco

μ_D = Demanda de ductilidad del sistema de un grado de libertad con dispositivos tipo TADAS

A_d = Aceleración del dispositivo de sistema de un grado de libertad con dispositivos tipo TADAS

A_y = Aceleración del dispositivo del sistema de un grado de libertad

T_{eff} = Periodo efectivo del sistema de un grado de libertad con dispositivos tipo TADAS

D_{ob} = Desplazamiento espectral en la intersección de la representación trilineal y elastoplástica.

μ_f = Ductilidad de fluencia del marco

μ_d = Ductilidad de fluencia del dispositivos tipo TADAS

D_{yd} = Desplazamiento de fluencia del dispositivos tipo TADAS

q_H = Factor de ajuste del ciclo de histéresis



β_{BH} = Amortiguamiento efectivo de la estructura debido al comportamiento histerético de los elementos estructurales y del sistema de disipación de energía para la demanda de ductilidad

μ_D

β_{eff} = Amortiguamiento efectivo

β_i = Amortiguamiento inherente de la estructura

T_c = Periodo corregido del sistema de un grado de libertad

β = Coeficiente de amortiguamiento correspondiente al amortiguamiento efectivo

D = Desplazamiento de azotea



APÉNDICE B

Estados de daño de acuerdo a FEMA-356 tabla 6-8

Las tablas B.1 a B.24 muestran el estado de daño de acuerdo a su rotación en radianes basados en la tabla 6-8 del FEMA-356 (Figura B.1), para los diferentes edificios de este trabajo. Se tomaron los valores de rotación angular de la tabla 6-8 del FEMA-356 de acuerdo a lo descrito en la sección 6.1 del capítulo 6.

Table 6-8 Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns

Conditions	Modeling Parameters ⁴			Acceptance Criteria ⁴						
	Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, radians						
				Performance Level						
	a	b	c	IO	Component Type					
					Primary		Secondary			
LS					CP	LS	CP			
i. Columns controlled by flexure¹										
$\frac{P}{A_g f'_c}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.1	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	C	≥ 6	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	C	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	C	≥ 6	0.012	0.02	0.2	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.012	0.2	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008

Figura B.438. Tabla 6-8 (FEMA-356)

2. C y NC son las abreviaturas para el refuerzo transversal confinado y no confinado.



Tabla B.242. Estado de daño del edificio número uno de control.

Modelo de control confinado			Modelo de control no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
CH84	5.23E-02	Prevención de colapso	CH84	4.96E-02	Prevención de colapso
MI15	4.93E-02	Prevención de colapso	MI15	4.94E-02	Prevención de colapso
IB22	3.78E-02	Seguridad de vida	IB22	4.04E-02	Prevención de colapso
JC54	3.51E-02	Seguridad de vida	SI53	3.85E-02	Prevención de colapso
GC38	3.32E-02	Seguridad de vida	JC54	3.81E-02	Prevención de colapso
SI53	2.96E-02	Seguridad de vida	GC38	3.58E-02	Prevención de colapso
GA62	2.90E-02	Seguridad de vida	DX37	2.76E-02	Prevención de colapso
AO24	2.67E-02	Seguridad de vida	LV17	2.52E-02	Prevención de colapso
LV17	2.20E-02	Seguridad de vida	AO24	2.25E-02	Prevención de colapso
PCJR	1.65E-02	Ocupación Inmediata	PCJR	1.90E-02	Prevención de colapso
CI05	1.12E-02	Ocupación Inmediata	CI05	1.56E-02	Seguridad de vida
CJ03	1.12E-02	Ocupación Inmediata	VG09	1.47E-02	Seguridad de vida
LI33	1.07E-02	Ocupación Inmediata	LI33	1.27E-02	Seguridad de vida
VG09	1.04E-02	Ocupación Inmediata	UC44	1.12E-02	Seguridad de vida
UC44	9.54E-03	Ocupación Inmediata	AL01	1.01E-02	Seguridad de vida
AL01	9.41E-03	Ocupación Inmediata	CJ04	6.65E-03	Ocupación Inmediata
CO56	6.34E-03	Ocupación Inmediata	CJ03	6.12E-03	Ocupación Inmediata
AU46	6.05E-03	Ocupación Inmediata	GA62	5.70E-03	Ocupación Inmediata
CJ04	5.91E-03	Ocupación Inmediata	AU46	5.40E-03	Ocupación Inmediata
CCCL	5.53E-03	Ocupación Inmediata	CCCL	5.03E-03	Ocupación Inmediata
BL45	5.52E-03	Ocupación Inmediata	CO56	4.44E-03	Ocupación Inmediata
DX37	5.36E-03	Ocupación Inmediata	BL45	4.15E-03	Ocupación Inmediata
PE10	4.15E-03	Ocupación Inmediata	PE10	4.04E-03	Ocupación Inmediata
SCT2	1.21E-03	Ocupación Inmediata	LI58	1.36E-03	Ocupación Inmediata
LI58	1.11E-03	Ocupación Inmediata	SCT2	1.31E-03	Ocupación Inmediata
TL55	9.28E-04	Ocupación Inmediata	TL55	1.06E-03	Ocupación Inmediata
SP51	6.90E-04	Ocupación Inmediata	SP51	8.62E-04	Ocupación Inmediata
TL08	6.62E-04	Ocupación Inmediata	TL08	7.66E-04	Ocupación Inmediata
RM48	4.82E-06	Ocupación Inmediata	RM48	3.92E-04	Ocupación Inmediata



Tabla B.243. Estado de daño del edificio número uno de control con contravientos.

Modelo con contravientos confinado			Modelo con contravientos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
JC54	2.36E-03	Ocupación Inmediata	JC54	2.38E-03	Ocupación Inmediata
SI53	9.41E-04	Ocupación Inmediata	SI53	9.38E-04	Ocupación Inmediata
MI15	8.06E-04	Ocupación Inmediata	MI15	9.23E-04	Ocupación Inmediata
LV17	6.65E-04	Ocupación Inmediata	LV17	7.43E-04	Ocupación Inmediata
CH84	6.10E-04	Ocupación Inmediata	AO24	6.45E-04	Ocupación Inmediata
GC38	6.06E-04	Ocupación Inmediata	GC38	6.25E-04	Ocupación Inmediata
AO24	5.73E-04	Ocupación Inmediata	AL01	5.47E-04	Ocupación Inmediata
AL01	5.28E-04	Ocupación Inmediata	LI33	4.47E-04	Ocupación Inmediata
IB22	5.24E-04	Ocupación Inmediata	CH84	4.43E-04	Ocupación Inmediata
LI33	3.49E-04	Ocupación Inmediata	IB22	4.36E-04	Ocupación Inmediata
CI05	3.47E-04	Ocupación Inmediata	AU46	3.49E-04	Ocupación Inmediata
AU46	3.31E-04	Ocupación Inmediata	CI05	3.47E-04	Ocupación Inmediata
CO56	2.95E-04	Ocupación Inmediata	CCCL	3.33E-04	Ocupación Inmediata
UC44	2.24E-04	Ocupación Inmediata	CO56	2.79E-04	Ocupación Inmediata
VG09	1.28E-04	Ocupación Inmediata	UC44	2.44E-04	Ocupación Inmediata
CJ03	1.22E-04	Ocupación Inmediata	CJ03	1.37E-04	Ocupación Inmediata
SP51	6.52E-05	Ocupación Inmediata	VG09	1.12E-04	Ocupación Inmediata
CJ04	4.69E-05	Ocupación Inmediata	SP51	7.16E-05	Ocupación Inmediata
DX37	1.62E-05	Ocupación Inmediata	CJ04	5.05E-05	Ocupación Inmediata
BL45	4.83E-06	Ocupación Inmediata	DX37	1.76E-05	Ocupación Inmediata
PE10	6.72E-07	Ocupación Inmediata	PE10	6.72E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	5.84E-07	Ocupación Inmediata	BL45	5.80E-07	Ocupación Inmediata
PCJR	5.67E-07	Ocupación Inmediata	PCJR	5.67E-07	Ocupación Inmediata
SCT2	5.46E-07	Ocupación Inmediata	SCT2	5.46E-07	Ocupación Inmediata
GA62	5.16E-07	Ocupación Inmediata	GA62	5.16E-07	Ocupación Inmediata
LI58	4.99E-07	Ocupación Inmediata	LI58	5.00E-07	Ocupación Inmediata
TL55	4.76E-07	Ocupación Inmediata	TL55	4.76E-07	Ocupación Inmediata
TL08	4.47E-07	Ocupación Inmediata	TL08	4.47E-07	Ocupación Inmediata
RM48	3.65E-07	Ocupación Inmediata	RM48	3.65E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.244. Estado de daño del edificio número uno de control con disipadores de energía de tipo viscoso.

Modelo con amortiguadores viscosos confinado			Modelo con amortiguadores viscosos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
MI15	4.25E-03	Ocupación Inmediata	MI15	4.15E-03	Ocupación Inmediata
JC54	2.91E-03	Ocupación Inmediata	JC54	2.84E-03	Ocupación Inmediata
GC38	2.30E-03	Ocupación Inmediata	GC38	2.33E-03	Ocupación Inmediata
IB22	2.19E-03	Ocupación Inmediata	IB22	1.88E-03	Ocupación Inmediata
SI53	1.87E-03	Ocupación Inmediata	SI53	1.85E-03	Ocupación Inmediata
AO24	1.76E-03	Ocupación Inmediata	AO24	1.75E-03	Ocupación Inmediata
AL01	1.64E-03	Ocupación Inmediata	AL01	1.72E-03	Ocupación Inmediata
CH84	1.41E-03	Ocupación Inmediata	CH84	1.47E-03	Ocupación Inmediata
LV17	1.27E-03	Ocupación Inmediata	LV17	1.32E-03	Ocupación Inmediata
LI33	1.18E-03	Ocupación Inmediata	LI33	1.28E-03	Ocupación Inmediata
VG09	4.89E-04	Ocupación Inmediata	CO56	5.68E-04	Ocupación Inmediata
CO56	4.44E-04	Ocupación Inmediata	VG09	5.49E-04	Ocupación Inmediata
AU46	4.02E-04	Ocupación Inmediata	AU46	4.12E-04	Ocupación Inmediata
CJ03	2.77E-04	Ocupación Inmediata	CJ03	3.09E-04	Ocupación Inmediata
SP51	2.17E-04	Ocupación Inmediata	CI05	2.56E-04	Ocupación Inmediata
CI05	2.04E-04	Ocupación Inmediata	SP51	2.40E-04	Ocupación Inmediata
UC44	1.98E-04	Ocupación Inmediata	UC44	2.22E-04	Ocupación Inmediata
CJ04	1.61E-04	Ocupación Inmediata	CJ04	1.77E-04	Ocupación Inmediata
DX37	9.52E-05	Ocupación Inmediata	DX37	1.06E-04	Ocupación Inmediata
BL45	2.11E-06	Ocupación Inmediata	BL45	2.11E-06	Ocupación Inmediata
GA62	1.69E-06	Ocupación Inmediata	GA62	1.69E-06	Ocupación Inmediata
PE10	1.67E-06	Ocupación Inmediata	PE10	1.67E-06	Ocupación Inmediata
TL08	1.66E-06	Ocupación Inmediata	TL08	1.66E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	1.66E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	1.66E-06	Ocupación Inmediata
LI58	1.60E-06	Ocupación Inmediata	LI58	1.60E-06	Ocupación Inmediata
PCJR	1.56E-06	Ocupación Inmediata	PCJR	1.56E-06	Ocupación Inmediata
CCCL	1.43E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	1.43E-06	Ocupación Inmediata
RM48	1.37E-06	Ocupación Inmediata	RM48	1.37E-06	Ocupación Inmediata
TL55	1.09E-06	Ocupación Inmediata	TL55	1.09E-06	Ocupación Inmediata



Tabla B.245. Estado de daño del edificio número uno de control con disipadores de energía de tipo TADAS.

Modelo con dispositivos tipo TADAS confinado			Modelo con dispositivos tipo TADAS no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
CH84	3.77E-02	Seguridad de vida	CH84	3.81E-02	Prevención de colapso
MI15	3.14E-02	Seguridad de vida	MI15	3.27E-02	Prevención de colapso
DX37	2.17E-02	Seguridad de vida	DX37	2.34E-02	Prevención de colapso
JC54	1.75E-02	Ocupación Inmediata	JC54	2.01E-02	Prevención de colapso
GC38	6.66E-03	Ocupación Inmediata	AO24	6.80E-03	Ocupación Inmediata
AO24	6.34E-03	Ocupación Inmediata	GC38	6.36E-03	Ocupación Inmediata
SI53	6.31E-03	Ocupación Inmediata	SI53	5.54E-03	Ocupación Inmediata
IB22	4.56E-03	Ocupación Inmediata	AL01	4.82E-03	Ocupación Inmediata
AL01	4.37E-03	Ocupación Inmediata	LV17	4.27E-03	Ocupación Inmediata
LV17	4.30E-03	Ocupación Inmediata	IB22	4.06E-03	Ocupación Inmediata
LI33	2.19E-03	Ocupación Inmediata	LI33	2.18E-03	Ocupación Inmediata
CI05	2.05E-03	Ocupación Inmediata	CJ04	1.82E-03	Ocupación Inmediata
CJ04	1.75E-03	Ocupación Inmediata	CI05	1.77E-03	Ocupación Inmediata
AU46	1.24E-03	Ocupación Inmediata	CJ03	1.36E-03	Ocupación Inmediata
CJ03	1.22E-03	Ocupación Inmediata	AU46	1.23E-03	Ocupación Inmediata
CO56	1.07E-03	Ocupación Inmediata	CO56	1.07E-03	Ocupación Inmediata
PCJR	9.32E-04	Ocupación Inmediata	PCJR	1.06E-03	Ocupación Inmediata
SP51	7.14E-04	Ocupación Inmediata	SP51	7.90E-04	Ocupación Inmediata
VG09	4.95E-04	Ocupación Inmediata	VG09	5.84E-04	Ocupación Inmediata
UC44	3.52E-04	Ocupación Inmediata	BL45	4.05E-04	Ocupación Inmediata
BL45	3.49E-04	Ocupación Inmediata	UC44	3.94E-04	Ocupación Inmediata
PE10	8.73E-05	Ocupación Inmediata	PE10	8.91E-05	Ocupación Inmediata
GA62	5.39E-06	Ocupación Inmediata	GA62	5.38E-06	Ocupación Inmediata
LI58	3.67E-06	Ocupación Inmediata	LI58	3.67E-06	Ocupación Inmediata
TL55	3.52E-06	Ocupación Inmediata	TL55	3.52E-06	Ocupación Inmediata
CCCL	3.45E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	3.45E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	3.22E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	3.22E-06	Ocupación Inmediata
TL08	3.17E-06	Ocupación Inmediata	TL08	3.17E-06	Ocupación Inmediata
RM48	2.36E-06	Ocupación Inmediata	RM48	2.36E-06	Ocupación Inmediata



Tabla B.246. Estado de daño del edificio número dos de control.

Modelo de control confinado			Modelo de control no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
LEAC	3.12E-02	Seguridad de vida	DX37	3.69E-02	Prevención de colapso
DX37	3.03E-02	Seguridad de vida	AO24	2.43E-02	Prevención de colapso
AO24	2.09E-02	Seguridad de vida	LEAC	2.10E-02	Prevención de colapso
AU46	2.55E-03	Ocupación Inmediata	AU46	2.58E-03	Ocupación Inmediata
GR27	1.07E-03	Ocupación Inmediata	GR27	8.65E-04	Ocupación Inmediata
ME52	4.88E-06	Ocupación Inmediata	ME52	4.85E-06	Ocupación Inmediata
ES57	4.21E-06	Ocupación Inmediata	ES57	4.19E-06	Ocupación Inmediata
EO30	3.00E-06	Ocupación Inmediata	EO30	3.00E-06	Ocupación Inmediata
DR16	2.88E-06	Ocupación Inmediata	DR16	2.88E-06	Ocupación Inmediata
CO47	2.56E-06	Ocupación Inmediata	CO47	2.56E-06	Ocupación Inmediata

Tabla B.247. Estado de daño del edificio número dos de control con contravientos.

Modelo con contravientos confinado			Modelo con contravientos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
DX37	9.84E-04	Ocupación Inmediata	DX37	8.99E-04	Ocupación Inmediata
AO24	5.61E-04	Ocupación Inmediata	AO24	4.62E-04	Ocupación Inmediata
GR27	1.38E-06	Ocupación Inmediata	GR27	1.38E-06	Ocupación Inmediata
LEAC	8.62E-07	Ocupación Inmediata	LEAC	8.62E-07	Ocupación Inmediata
ES57	4.46E-07	Ocupación Inmediata	ES57	4.46E-07	Ocupación Inmediata
AU46	4.43E-07	Ocupación Inmediata	AU46	4.43E-07	Ocupación Inmediata
EO30	3.09E-07	Ocupación Inmediata	EO30	3.16E-07	Ocupación Inmediata
ME52	2.90E-07	Ocupación Inmediata	ME52	2.90E-07	Ocupación Inmediata
DR16	2.51E-07	Ocupación Inmediata	DR16	2.51E-07	Ocupación Inmediata
CO47	1.89E-07	Ocupación Inmediata	CO47	1.89E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.248. Estado de daño del edificio número dos de control con disipadores de energía de tipo viscoso.

Modelo con amortiguadores viscosos confinado			Modelo con amortiguadores viscosos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
DX37	2.32E-03	Ocupación Inmediata	DX37	2.43E-03	Ocupación Inmediata
AO24	1.21E-03	Ocupación Inmediata	AO24	1.23E-03	Ocupación Inmediata
GR27	1.92E-06	Ocupación Inmediata	GR27	1.92E-06	Ocupación Inmediata
LEAC	1.71E-06	Ocupación Inmediata	LEAC	1.71E-06	Ocupación Inmediata
AU46	9.52E-07	Ocupación Inmediata	AU46	9.51E-07	Ocupación Inmediata
ES57	7.69E-07	Ocupación Inmediata	ES57	7.69E-07	Ocupación Inmediata
ME52	6.11E-07	Ocupación Inmediata	ME52	6.10E-07	Ocupación Inmediata
EO30	5.80E-07	Ocupación Inmediata	EO30	5.79E-07	Ocupación Inmediata
CO47	5.24E-07	Ocupación Inmediata	CO47	5.24E-07	Ocupación Inmediata
DR16	5.00E-07	Ocupación Inmediata	DR16	4.99E-07	Ocupación Inmediata

Tabla B.249. Estado de daño del edificio número dos de control con disipadores de energía de tipo TADAS.

Modelo con dispositivos tipo TADAS confinado			Modelo con dispositivos tipo TADAS no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
DX37	3.01E-03	Ocupación Inmediata	DX37	3.18E-03	Ocupación Inmediata
AO24	1.26E-03	Ocupación Inmediata	AO24	1.19E-03	Ocupación Inmediata
GR27	3.48E-06	Ocupación Inmediata	GR27	3.48E-06	Ocupación Inmediata
LEAC	3.48E-06	Ocupación Inmediata	LEAC	3.48E-06	Ocupación Inmediata
AU46	1.51E-06	Ocupación Inmediata	AU46	1.51E-06	Ocupación Inmediata
ES57	1.16E-06	Ocupación Inmediata	ES57	1.16E-06	Ocupación Inmediata
ME52	7.87E-07	Ocupación Inmediata	ME52	7.87E-07	Ocupación Inmediata
DR16	7.21E-07	Ocupación Inmediata	DR16	7.21E-07	Ocupación Inmediata
EO30	6.75E-07	Ocupación Inmediata	EO30	6.75E-07	Ocupación Inmediata
CO47	4.66E-07	Ocupación Inmediata	CO47	4.66E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.250. Estado de daño del edificio número tres de control.

Modelo de control confinado			Modelo de control no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
MI15	5.80E-02	Prevención de colapso	CH84	5.86E-02	Prevención de colapso
CH84	5.75E-02	Prevención de colapso	MI15	5.56E-02	Prevención de colapso
DX37	2.94E-02	Seguridad de vida	DX37	3.38E-02	Prevención de colapso
IB22	2.46E-02	Seguridad de vida	IB22	3.21E-02	Prevención de colapso
JC54	2.46E-02	Seguridad de vida	JC54	3.21E-02	Prevención de colapso
SI53	2.00E-02	Ocupación Inmediata	SI53	2.69E-02	Prevención de colapso
AO24	1.48E-02	Ocupación Inmediata	AO24	1.99E-02	Prevención de colapso
LV17	5.79E-03	Ocupación Inmediata	LV17	1.90E-02	Prevención de colapso
GC38	5.50E-03	Ocupación Inmediata	GC38	1.15E-02	Seguridad de vida
UC44	8.30E-04	Ocupación Inmediata	UC44	7.62E-04	Ocupación Inmediata
AL01	7.94E-06	Ocupación Inmediata	AL01	7.93E-06	Ocupación Inmediata
PCJR	6.33E-06	Ocupación Inmediata	PCJR	6.32E-06	Ocupación Inmediata
LI33	5.81E-06	Ocupación Inmediata	LI33	5.80E-06	Ocupación Inmediata
CCCL	5.75E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	5.75E-06	Ocupación Inmediata
GA62	5.70E-06	Ocupación Inmediata	GA62	5.70E-06	Ocupación Inmediata
BL45	5.47E-06	Ocupación Inmediata	BL45	5.47E-06	Ocupación Inmediata
CI05	5.39E-06	Ocupación Inmediata	CI05	5.39E-06	Ocupación Inmediata
AU46	5.26E-06	Ocupación Inmediata	AU46	5.26E-06	Ocupación Inmediata
VG09	5.21E-06	Ocupación Inmediata	VG09	5.21E-06	Ocupación Inmediata
TL55	5.03E-06	Ocupación Inmediata	TL55	5.03E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	4.97E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	4.96E-06	Ocupación Inmediata
PE10	4.91E-06	Ocupación Inmediata	PE10	4.91E-06	Ocupación Inmediata
CO56	4.76E-06	Ocupación Inmediata	CO56	4.76E-06	Ocupación Inmediata
CJ04	4.53E-06	Ocupación Inmediata	CJ04	4.53E-06	Ocupación Inmediata
CJ03	4.51E-06	Ocupación Inmediata	CJ03	4.51E-06	Ocupación Inmediata
SP51	4.22E-06	Ocupación Inmediata	SP51	4.22E-06	Ocupación Inmediata
LI58	4.13E-06	Ocupación Inmediata	LI58	4.12E-06	Ocupación Inmediata
TL08	4.12E-06	Ocupación Inmediata	TL08	4.12E-06	Ocupación Inmediata
RM48	3.55E-06	Ocupación Inmediata	RM48	3.55E-06	Ocupación Inmediata



Tabla B.251. Estado de daño del edificio número uno de control con contravientos.

Modelo con contravientos confinado			Modelo con contravientos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
MI15	5.70E-04	Ocupación Inmediata	MI15	7.22E-04	Ocupación Inmediata
CH84	2.12E-04	Ocupación Inmediata	CH84	1.93E-04	Ocupación Inmediata
IB22	1.68E-04	Ocupación Inmediata	IB22	6.38E-05	Ocupación Inmediata
JC54	1.68E-04	Ocupación Inmediata	JC54	6.38E-05	Ocupación Inmediata
SI53	6.06E-05	Ocupación Inmediata	SI53	5.24E-05	Ocupación Inmediata
DX37	5.85E-07	Ocupación Inmediata	DX37	5.85E-07	Ocupación Inmediata
AO24	3.48E-07	Ocupación Inmediata	AO24	3.48E-07	Ocupación Inmediata
AU46	3.10E-07	Ocupación Inmediata	AU46	3.10E-07	Ocupación Inmediata
AL01	2.65E-07	Ocupación Inmediata	AL01	2.65E-07	Ocupación Inmediata
UC44	2.39E-07	Ocupación Inmediata	UC44	2.39E-07	Ocupación Inmediata
LI33	2.35E-07	Ocupación Inmediata	LI33	2.35E-07	Ocupación Inmediata
GC38	2.33E-07	Ocupación Inmediata	GC38	2.33E-07	Ocupación Inmediata
CI05	2.26E-07	Ocupación Inmediata	CI05	2.26E-07	Ocupación Inmediata
VG09	2.24E-07	Ocupación Inmediata	VG09	2.24E-07	Ocupación Inmediata
LV17	2.13E-07	Ocupación Inmediata	LV17	2.13E-07	Ocupación Inmediata
CO56	2.10E-07	Ocupación Inmediata	CO56	2.10E-07	Ocupación Inmediata
PE10	1.99E-07	Ocupación Inmediata	PE10	1.99E-07	Ocupación Inmediata
PCJR	1.92E-07	Ocupación Inmediata	PCJR	1.92E-07	Ocupación Inmediata
BL45	1.89E-07	Ocupación Inmediata	BL45	1.89E-07	Ocupación Inmediata
CJ03	1.83E-07	Ocupación Inmediata	CJ03	1.83E-07	Ocupación Inmediata
CJ04	1.81E-07	Ocupación Inmediata	CJ04	1.81E-07	Ocupación Inmediata
GA62	1.75E-07	Ocupación Inmediata	GA62	1.75E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	1.74E-07	Ocupación Inmediata	CCCL	1.74E-07	Ocupación Inmediata
TL08	1.59E-07	Ocupación Inmediata	TL08	1.59E-07	Ocupación Inmediata
SCT2	1.56E-07	Ocupación Inmediata	SCT2	1.56E-07	Ocupación Inmediata
LI58	1.47E-07	Ocupación Inmediata	LI58	1.47E-07	Ocupación Inmediata
RM48	1.42E-07	Ocupación Inmediata	RM48	1.42E-07	Ocupación Inmediata
TL55	1.37E-07	Ocupación Inmediata	TL55	1.37E-07	Ocupación Inmediata
SP51	1.22E-07	Ocupación Inmediata	SP51	1.22E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.252. Estado de daño del edificio número tres de control con disipadores de energía de tipo viscoso.

Modelo con amortiguadores viscosos confinado			Modelo con amortiguadores viscosos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
IB22	9.53E-04	Ocupación Inmediata	MI15	1.72E-03	Ocupación Inmediata
JC54	9.53E-04	Ocupación Inmediata	IB22	1.02E-03	Ocupación Inmediata
MI15	9.51E-04	Ocupación Inmediata	JC54	1.02E-03	Ocupación Inmediata
SI53	4.35E-04	Ocupación Inmediata	SI53	4.50E-04	Ocupación Inmediata
CH84	3.96E-04	Ocupación Inmediata	CH84	3.42E-04	Ocupación Inmediata
DX37	2.28E-06	Ocupación Inmediata	DX37	2.28E-06	Ocupación Inmediata
AO24	1.26E-06	Ocupación Inmediata	AO24	1.26E-06	Ocupación Inmediata
AL01	1.14E-06	Ocupación Inmediata	AL01	1.14E-06	Ocupación Inmediata
GC38	1.10E-06	Ocupación Inmediata	GC38	1.10E-06	Ocupación Inmediata
AU46	1.04E-06	Ocupación Inmediata	AU46	1.04E-06	Ocupación Inmediata
PCJR	9.81E-07	Ocupación Inmediata	PCJR	9.81E-07	Ocupación Inmediata
VG09	9.60E-07	Ocupación Inmediata	VG09	9.60E-07	Ocupación Inmediata
GA62	9.54E-07	Ocupación Inmediata	GA62	9.54E-07	Ocupación Inmediata
UC44	9.34E-07	Ocupación Inmediata	UC44	9.34E-07	Ocupación Inmediata
LI33	9.28E-07	Ocupación Inmediata	LI33	9.28E-07	Ocupación Inmediata
CI05	9.26E-07	Ocupación Inmediata	CI05	9.26E-07	Ocupación Inmediata
PE10	9.09E-07	Ocupación Inmediata	PE10	9.09E-07	Ocupación Inmediata
CO56	8.69E-07	Ocupación Inmediata	CO56	8.69E-07	Ocupación Inmediata
TL08	8.68E-07	Ocupación Inmediata	TL08	8.68E-07	Ocupación Inmediata
SP51	8.53E-07	Ocupación Inmediata	SP51	8.53E-07	Ocupación Inmediata
LV17	8.50E-07	Ocupación Inmediata	LV17	8.50E-07	Ocupación Inmediata
SCT2	7.95E-07	Ocupación Inmediata	SCT2	7.95E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	7.89E-07	Ocupación Inmediata	CCCL	7.89E-07	Ocupación Inmediata
CJ04	7.76E-07	Ocupación Inmediata	CJ04	7.76E-07	Ocupación Inmediata
CJ03	7.64E-07	Ocupación Inmediata	CJ03	7.64E-07	Ocupación Inmediata
LI58	7.45E-07	Ocupación Inmediata	LI58	7.45E-07	Ocupación Inmediata
BL45	7.44E-07	Ocupación Inmediata	BL45	7.44E-07	Ocupación Inmediata
RM48	7.06E-07	Ocupación Inmediata	RM48	7.06E-07	Ocupación Inmediata
TL55	6.22E-07	Ocupación Inmediata	TL55	6.22E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.253. Estado de daño del edificio número uno de control con disipadores de energía de tipo TADAS.

Modelo con dispositivos tipo TADAS confinado			Modelo con dispositivos tipo TADAS no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
CH84	5.57E-04	Ocupación Inmediata	MI15	1.07E-03	Ocupación Inmediata
IB22	3.55E-04	Ocupación Inmediata	CH84	6.26E-04	Ocupación Inmediata
JC54	3.55E-04	Ocupación Inmediata	IB22	4.28E-04	Ocupación Inmediata
MI15	7.16E-06	Ocupación Inmediata	JC54	4.28E-04	Ocupación Inmediata
DX37	6.38E-06	Ocupación Inmediata	AO24	2.03E-05	Ocupación Inmediata
AO24	4.66E-06	Ocupación Inmediata	DX37	7.65E-06	Ocupación Inmediata
AL01	3.85E-06	Ocupación Inmediata	SI53	4.98E-06	Ocupación Inmediata
SI53	3.80E-06	Ocupación Inmediata	AL01	4.71E-06	Ocupación Inmediata
GC38	2.85E-06	Ocupación Inmediata	AU46	3.70E-06	Ocupación Inmediata
AU46	2.83E-06	Ocupación Inmediata	LI33	3.69E-06	Ocupación Inmediata
LV17	2.63E-06	Ocupación Inmediata	GC38	3.29E-06	Ocupación Inmediata
LI33	2.37E-06	Ocupación Inmediata	LV17	3.09E-06	Ocupación Inmediata
UC44	2.33E-06	Ocupación Inmediata	VG09	3.04E-06	Ocupación Inmediata
PCJR	2.26E-06	Ocupación Inmediata	UC44	3.01E-06	Ocupación Inmediata
CI05	2.11E-06	Ocupación Inmediata	PCJR	2.76E-06	Ocupación Inmediata
VG09	1.95E-06	Ocupación Inmediata	CI05	2.43E-06	Ocupación Inmediata
CO56	1.76E-06	Ocupación Inmediata	BL45	2.15E-06	Ocupación Inmediata
CCCL	1.51E-06	Ocupación Inmediata	GA62	2.03E-06	Ocupación Inmediata
BL45	1.50E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	2.01E-06	Ocupación Inmediata
PE10	1.48E-06	Ocupación Inmediata	PE10	1.88E-06	Ocupación Inmediata
GA62	1.43E-06	Ocupación Inmediata	CJ04	1.85E-06	Ocupación Inmediata
CJ04	1.36E-06	Ocupación Inmediata	CJ03	1.85E-06	Ocupación Inmediata
CJ03	1.33E-06	Ocupación Inmediata	TL08	1.73E-06	Ocupación Inmediata
TL08	1.27E-06	Ocupación Inmediata	CO56	1.68E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	1.06E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	1.58E-06	Ocupación Inmediata
RM48	8.75E-07	Ocupación Inmediata	TL55	1.43E-06	Ocupación Inmediata
LI58	8.26E-07	Ocupación Inmediata	SP51	1.42E-06	Ocupación Inmediata
TL55	7.93E-07	Ocupación Inmediata	RM48	1.38E-06	Ocupación Inmediata
SP51	7.78E-07	Ocupación Inmediata	LI58	1.36E-06	Ocupación Inmediata



Tabla B.254. Estado de daño del edificio número cuatro de control.

Modelo de control confinado			Modelo de control no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
DX37	3.02E-02	Seguridad de vida	AO24	2.58E-02	Prevención de colapso
AO24	2.44E-02	Seguridad de vida	DX37	2.46E-02	Prevención de colapso
GR27	1.20E-02	Ocupación Inmediata	GR27	1.36E-02	Seguridad de vida
AU46	9.49E-03	Ocupación Inmediata	AU46	1.17E-02	Seguridad de vida
ME52	4.05E-03	Ocupación Inmediata	ES57	4.05E-03	Ocupación Inmediata
ES57	3.80E-03	Ocupación Inmediata	ME52	3.92E-03	Ocupación Inmediata
EO30	4.25E-04	Ocupación Inmediata	EO30	6.04E-04	Ocupación Inmediata
DR16	2.65E-04	Ocupación Inmediata	DR16	4.98E-04	Ocupación Inmediata
CO47	5.56E-06	Ocupación Inmediata	CO47	2.12E-04	Ocupación Inmediata
LEAC	4.37E-08	Ocupación Inmediata	LEAC	4.37E-08	Ocupación Inmediata

Tabla B.255. Estado de daño del edificio número cuatro de control con contravientos.

Modelo con contravientos confinado			Modelo con contravientos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
DX37	1.12E-03	Ocupación Inmediata	DX37	1.14E-03	Ocupación Inmediata
AO24	6.47E-04	Ocupación Inmediata	AO24	6.63E-04	Ocupación Inmediata
AU46	3.43E-04	Ocupación Inmediata	AU46	3.47E-04	Ocupación Inmediata
ES57	3.13E-04	Ocupación Inmediata	ES57	3.03E-04	Ocupación Inmediata
GR27	2.71E-04	Ocupación Inmediata	GR27	2.90E-04	Ocupación Inmediata
CO47	1.17E-06	Ocupación Inmediata	CO47	1.18E-06	Ocupación Inmediata
DR16	1.01E-06	Ocupación Inmediata	DR16	1.01E-06	Ocupación Inmediata
EO30	8.53E-07	Ocupación Inmediata	EO30	8.57E-07	Ocupación Inmediata
ME52	7.23E-07	Ocupación Inmediata	ME52	7.25E-07	Ocupación Inmediata
LEAC	1.96E-07	Ocupación Inmediata	LEAC	1.96E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.256. Estado de daño del edificio número cuatro de control con disipadores de energía de tipo viscoso.

Modelo con amortiguadores viscosos confinado			Modelo con amortiguadores viscosos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
DX37	1.62E-03	Ocupación Inmediata	DX37	1.62E-03	Ocupación Inmediata
AO24	1.15E-03	Ocupación Inmediata	AO24	1.15E-03	Ocupación Inmediata
ES57	2.88E-04	Ocupación Inmediata	ES57	2.94E-04	Ocupación Inmediata
AU46	2.29E-04	Ocupación Inmediata	AU46	2.22E-04	Ocupación Inmediata
GR27	7.11E-05	Ocupación Inmediata	GR27	7.34E-05	Ocupación Inmediata
CO47	9.25E-07	Ocupación Inmediata	CO47	9.25E-07	Ocupación Inmediata
DR16	9.07E-07	Ocupación Inmediata	DR16	9.07E-07	Ocupación Inmediata
EO30	5.77E-07	Ocupación Inmediata	EO30	5.77E-07	Ocupación Inmediata
ME52	5.58E-07	Ocupación Inmediata	ME52	5.58E-07	Ocupación Inmediata
LEAC	3.25E-08	Ocupación Inmediata	LEAC	3.25E-08	Ocupación Inmediata

Tabla B.257. Estado de daño del edificio número cuatro de control con disipadores de energía de tipo TADAS.

Modelo con dispositivos tipo TADAS confinado			Modelo con dispositivos tipo TADAS no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
DX37	9.16E-03	Ocupación Inmediata	DX37	1.06E-02	Seguridad de vida
GR27	1.26E-03	Ocupación Inmediata	GR27	1.27E-03	Ocupación Inmediata
AO24	7.98E-04	Ocupación Inmediata	AU46	8.04E-04	Ocupación Inmediata
AU46	7.30E-04	Ocupación Inmediata	AO24	7.42E-04	Ocupación Inmediata
ES57	5.23E-04	Ocupación Inmediata	ES57	5.26E-04	Ocupación Inmediata
DR16	2.66E-06	Ocupación Inmediata	DR16	2.66E-06	Ocupación Inmediata
CO47	1.90E-06	Ocupación Inmediata	CO47	1.90E-06	Ocupación Inmediata
EO30	1.46E-06	Ocupación Inmediata	EO30	1.46E-06	Ocupación Inmediata
ME52	1.46E-06	Ocupación Inmediata	ME52	1.46E-06	Ocupación Inmediata
LEAC	5.71E-08	Ocupación Inmediata	LEAC	5.71E-08	Ocupación Inmediata



Tabla B.258. Estado de daño del edificio número cinco de control.

Modelo de control confinado			Modelo de control no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
MI15	4.68E-02	Prevención de colapso	MI15	5.48E-02	Prevención de colapso
CH84	4.21E-02	Prevención de colapso	CH84	4.45E-02	Prevención de colapso
DX37	2.76E-02	Seguridad de vida	DX37	3.06E-02	Prevención de colapso
JC54	2.64E-02	Seguridad de vida	JC54	2.88E-02	Prevención de colapso
SI53	8.53E-03	Ocupación Inmediata	SI53	1.05E-02	Seguridad de vida
AO24	6.46E-03	Ocupación Inmediata	AO24	7.29E-03	Ocupación Inmediata
LI33	4.93E-03	Ocupación Inmediata	LI33	4.94E-03	Ocupación Inmediata
IB22	3.96E-03	Ocupación Inmediata	IB22	4.24E-03	Ocupación Inmediata
LV17	2.20E-03	Ocupación Inmediata	LV17	2.28E-03	Ocupación Inmediata
GC38	2.17E-03	Ocupación Inmediata	GC38	2.20E-03	Ocupación Inmediata
PCJR	4.79E-05	Ocupación Inmediata	PCJR	3.46E-05	Ocupación Inmediata
UC44	8.53E-06	Ocupación Inmediata	UC44	8.51E-06	Ocupación Inmediata
VG09	8.25E-06	Ocupación Inmediata	VG09	8.24E-06	Ocupación Inmediata
AU46	7.34E-06	Ocupación Inmediata	AU46	7.32E-06	Ocupación Inmediata
CCCL	6.54E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	6.54E-06	Ocupación Inmediata
GA62	6.32E-06	Ocupación Inmediata	GA62	6.32E-06	Ocupación Inmediata
CJ04	6.04E-06	Ocupación Inmediata	CJ04	6.04E-06	Ocupación Inmediata
CJ03	6.02E-06	Ocupación Inmediata	CJ03	6.02E-06	Ocupación Inmediata
PE10	5.85E-06	Ocupación Inmediata	PE10	5.85E-06	Ocupación Inmediata
BL45	5.73E-06	Ocupación Inmediata	BL45	5.72E-06	Ocupación Inmediata
CI05	5.70E-06	Ocupación Inmediata	CI05	5.70E-06	Ocupación Inmediata
CO56	5.70E-06	Ocupación Inmediata	CO56	5.70E-06	Ocupación Inmediata
AL01	5.65E-06	Ocupación Inmediata	AL01	5.65E-06	Ocupación Inmediata
LI58	5.22E-06	Ocupación Inmediata	LI58	5.22E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	5.11E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	5.11E-06	Ocupación Inmediata
TL55	5.07E-06	Ocupación Inmediata	TL55	5.07E-06	Ocupación Inmediata
TL08	5.03E-06	Ocupación Inmediata	TL08	5.03E-06	Ocupación Inmediata
SP51	4.98E-06	Ocupación Inmediata	SP51	4.98E-06	Ocupación Inmediata
RM48	4.22E-06	Ocupación Inmediata	RM48	4.22E-06	Ocupación Inmediata



Tabla B.259. Estado de daño del edificio número cinco de control con contravientos.

Modelo con contravientos confinado			Modelo con contravientos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
JC54	1.42E-03	Ocupación Inmediata	JC54	1.63E-03	Ocupación Inmediata
MI15	3.30E-04	Ocupación Inmediata	LV17	3.54E-04	Ocupación Inmediata
LV17	3.11E-04	Ocupación Inmediata	MI15	3.30E-04	Ocupación Inmediata
SI53	9.90E-07	Ocupación Inmediata	SI53	9.90E-07	Ocupación Inmediata
CH84	8.12E-07	Ocupación Inmediata	CH84	8.12E-07	Ocupación Inmediata
LI33	7.14E-07	Ocupación Inmediata	LI33	7.14E-07	Ocupación Inmediata
DX37	7.07E-07	Ocupación Inmediata	DX37	7.07E-07	Ocupación Inmediata
SP51	6.51E-07	Ocupación Inmediata	SP51	6.51E-07	Ocupación Inmediata
GA62	6.13E-07	Ocupación Inmediata	GA62	6.13E-07	Ocupación Inmediata
SCT2	5.96E-07	Ocupación Inmediata	SCT2	5.96E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	5.92E-07	Ocupación Inmediata	CCCL	5.92E-07	Ocupación Inmediata
UC44	5.81E-07	Ocupación Inmediata	UC44	5.81E-07	Ocupación Inmediata
IB22	5.79E-07	Ocupación Inmediata	IB22	5.79E-07	Ocupación Inmediata
AL01	5.38E-07	Ocupación Inmediata	AL01	5.38E-07	Ocupación Inmediata
VG09	5.32E-07	Ocupación Inmediata	VG09	5.32E-07	Ocupación Inmediata
CJ03	5.20E-07	Ocupación Inmediata	CJ03	5.20E-07	Ocupación Inmediata
PE10	5.10E-07	Ocupación Inmediata	PE10	5.10E-07	Ocupación Inmediata
GC38	5.02E-07	Ocupación Inmediata	GC38	5.02E-07	Ocupación Inmediata
CO56	5.02E-07	Ocupación Inmediata	CO56	5.02E-07	Ocupación Inmediata
CI05	4.99E-07	Ocupación Inmediata	CI05	4.99E-07	Ocupación Inmediata
CJ04	4.95E-07	Ocupación Inmediata	CJ04	4.95E-07	Ocupación Inmediata
AO24	4.63E-07	Ocupación Inmediata	AO24	4.63E-07	Ocupación Inmediata
PCJR	4.57E-07	Ocupación Inmediata	PCJR	4.57E-07	Ocupación Inmediata
LI58	4.54E-07	Ocupación Inmediata	LI58	4.54E-07	Ocupación Inmediata
AU46	4.48E-07	Ocupación Inmediata	AU46	4.48E-07	Ocupación Inmediata
BL45	4.45E-07	Ocupación Inmediata	BL45	4.45E-07	Ocupación Inmediata
TL08	4.35E-07	Ocupación Inmediata	TL08	4.35E-07	Ocupación Inmediata
RM48	4.22E-07	Ocupación Inmediata	RM48	4.22E-07	Ocupación Inmediata
TL55	4.16E-07	Ocupación Inmediata	TL55	4.16E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.260. Estado de daño del edificio número cinco de control con disipadores de energía de tipo viscoso.

Modelo con amortiguadores viscosos confinado			Modelo con amortiguadores viscosos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
JC54	1.54E-03	Ocupación Inmediata	JC54	1.89E-03	Ocupación Inmediata
LV17	7.71E-04	Ocupación Inmediata	LV17	7.10E-04	Ocupación Inmediata
MI15	2.62E-04	Ocupación Inmediata	MI15	2.40E-04	Ocupación Inmediata
CH84	1.37E-06	Ocupación Inmediata	CH84	1.37E-06	Ocupación Inmediata
DX37	1.04E-06	Ocupación Inmediata	DX37	1.04E-06	Ocupación Inmediata
SI53	9.80E-07	Ocupación Inmediata	SI53	9.80E-07	Ocupación Inmediata
LI33	9.76E-07	Ocupación Inmediata	LI33	9.76E-07	Ocupación Inmediata
BL45	8.78E-07	Ocupación Inmediata	BL45	8.78E-07	Ocupación Inmediata
IB22	8.47E-07	Ocupación Inmediata	IB22	8.47E-07	Ocupación Inmediata
GA62	8.24E-07	Ocupación Inmediata	GA62	8.24E-07	Ocupación Inmediata
CJ03	8.03E-07	Ocupación Inmediata	CJ03	8.03E-07	Ocupación Inmediata
SP51	7.98E-07	Ocupación Inmediata	SP51	7.98E-07	Ocupación Inmediata
CJ04	7.88E-07	Ocupación Inmediata	CJ04	7.88E-07	Ocupación Inmediata
GC38	7.73E-07	Ocupación Inmediata	GC38	7.73E-07	Ocupación Inmediata
CO56	7.63E-07	Ocupación Inmediata	CO56	7.63E-07	Ocupación Inmediata
PE10	7.22E-07	Ocupación Inmediata	PE10	7.22E-07	Ocupación Inmediata
SCT2	7.15E-07	Ocupación Inmediata	SCT2	7.15E-07	Ocupación Inmediata
LI58	6.79E-07	Ocupación Inmediata	LI58	6.79E-07	Ocupación Inmediata
UC44	6.75E-07	Ocupación Inmediata	UC44	6.75E-07	Ocupación Inmediata
VG09	6.73E-07	Ocupación Inmediata	VG09	6.73E-07	Ocupación Inmediata
CI05	6.70E-07	Ocupación Inmediata	CI05	6.70E-07	Ocupación Inmediata
PCJR	6.70E-07	Ocupación Inmediata	PCJR	6.70E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	6.44E-07	Ocupación Inmediata	CCCL	6.44E-07	Ocupación Inmediata
AL01	6.23E-07	Ocupación Inmediata	AL01	6.23E-07	Ocupación Inmediata
RM48	6.17E-07	Ocupación Inmediata	RM48	6.17E-07	Ocupación Inmediata
TL08	5.76E-07	Ocupación Inmediata	TL08	5.76E-07	Ocupación Inmediata
AO24	5.75E-07	Ocupación Inmediata	AO24	5.75E-07	Ocupación Inmediata
AU46	4.88E-07	Ocupación Inmediata	AU46	4.88E-07	Ocupación Inmediata
TL55	4.59E-07	Ocupación Inmediata	TL55	4.59E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.261. Estado de daño del edificio número cinco de control con disipadores de energía de tipo TADAS.

Modelo con dispositivos tipo TADAS confinado			Modelo con dispositivos tipo TADAS no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
JC54	6.47E-03	Ocupación Inmediata	JC54	6.87E-03	Ocupación Inmediata
MI15	2.84E-03	Ocupación Inmediata	MI15	3.09E-03	Ocupación Inmediata
CH84	6.58E-04	Ocupación Inmediata	CH84	6.27E-04	Ocupación Inmediata
LV17	4.32E-04	Ocupación Inmediata	LV17	4.24E-04	Ocupación Inmediata
DX37	3.32E-04	Ocupación Inmediata	DX37	3.00E-04	Ocupación Inmediata
SI53	3.74E-06	Ocupación Inmediata	SI53	3.74E-06	Ocupación Inmediata
CJ04	2.88E-06	Ocupación Inmediata	CJ04	2.88E-06	Ocupación Inmediata
LI33	2.82E-06	Ocupación Inmediata	LI33	2.82E-06	Ocupación Inmediata
GC38	2.70E-06	Ocupación Inmediata	GC38	2.70E-06	Ocupación Inmediata
SP51	2.61E-06	Ocupación Inmediata	SP51	2.61E-06	Ocupación Inmediata
IB22	2.54E-06	Ocupación Inmediata	IB22	2.54E-06	Ocupación Inmediata
CJ03	2.52E-06	Ocupación Inmediata	CJ03	2.52E-06	Ocupación Inmediata
VG09	2.35E-06	Ocupación Inmediata	VG09	2.35E-06	Ocupación Inmediata
LI58	2.17E-06	Ocupación Inmediata	LI58	2.17E-06	Ocupación Inmediata
CO56	2.14E-06	Ocupación Inmediata	CO56	2.14E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	2.14E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	2.14E-06	Ocupación Inmediata
UC44	2.10E-06	Ocupación Inmediata	UC44	2.10E-06	Ocupación Inmediata
GA62	2.07E-06	Ocupación Inmediata	GA62	2.07E-06	Ocupación Inmediata
CI05	2.04E-06	Ocupación Inmediata	CI05	2.04E-06	Ocupación Inmediata
AO24	1.95E-06	Ocupación Inmediata	AO24	1.95E-06	Ocupación Inmediata
BL45	1.92E-06	Ocupación Inmediata	BL45	1.92E-06	Ocupación Inmediata
PE10	1.91E-06	Ocupación Inmediata	PE10	1.91E-06	Ocupación Inmediata
AL01	1.82E-06	Ocupación Inmediata	AL01	1.82E-06	Ocupación Inmediata
PCJR	1.74E-06	Ocupación Inmediata	PCJR	1.74E-06	Ocupación Inmediata
AU46	1.49E-06	Ocupación Inmediata	AU46	1.49E-06	Ocupación Inmediata
TL08	1.48E-06	Ocupación Inmediata	TL08	1.48E-06	Ocupación Inmediata
CCCL	1.33E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	1.33E-06	Ocupación Inmediata
TL55	1.10E-06	Ocupación Inmediata	TL55	1.10E-06	Ocupación Inmediata
RM48	5.80E-07	Ocupación Inmediata	RM48	5.80E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.262. Estado de daño del edificio número seis de control.

Modelo de control confinado			Modelo de control no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
CH84	3.45E-02	Seguridad de vida	CH84	4.13E-02	Prevención de colapso
MI15	2.02E-02	Seguridad de vida	MI15	2.96E-02	Prevención de colapso
DX37	1.64E-02	Ocupación Inmediata	DX37	1.69E-02	Prevención de colapso
JC54	1.53E-02	Ocupación Inmediata	JC54	1.68E-02	Prevención de colapso
SI53	3.87E-03	Ocupación Inmediata	SI53	3.81E-03	Ocupación Inmediata
IB22	1.59E-03	Ocupación Inmediata	IB22	1.52E-03	Ocupación Inmediata
GC38	1.46E-03	Ocupación Inmediata	GC38	1.50E-03	Ocupación Inmediata
LV17	8.93E-04	Ocupación Inmediata	LV17	8.83E-04	Ocupación Inmediata
AO24	3.47E-06	Ocupación Inmediata	AO24	3.47E-06	Ocupación Inmediata
UC44	2.45E-06	Ocupación Inmediata	UC44	2.44E-06	Ocupación Inmediata
AL01	2.22E-06	Ocupación Inmediata	AL01	2.22E-06	Ocupación Inmediata
CI05	2.11E-06	Ocupación Inmediata	CI05	2.11E-06	Ocupación Inmediata
PE10	2.08E-06	Ocupación Inmediata	PE10	2.08E-06	Ocupación Inmediata
LI33	2.08E-06	Ocupación Inmediata	LI33	2.08E-06	Ocupación Inmediata
CCCL	2.02E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	2.02E-06	Ocupación Inmediata
PCJR	2.00E-06	Ocupación Inmediata	PCJR	2.00E-06	Ocupación Inmediata
TL55	1.99E-06	Ocupación Inmediata	TL55	1.99E-06	Ocupación Inmediata
VG09	1.96E-06	Ocupación Inmediata	VG09	1.96E-06	Ocupación Inmediata
CO56	1.94E-06	Ocupación Inmediata	CO56	1.94E-06	Ocupación Inmediata
GA62	1.93E-06	Ocupación Inmediata	GA62	1.93E-06	Ocupación Inmediata
SP51	1.86E-06	Ocupación Inmediata	SP51	1.86E-06	Ocupación Inmediata
AU46	1.83E-06	Ocupación Inmediata	AU46	1.83E-06	Ocupación Inmediata
TL08	1.82E-06	Ocupación Inmediata	TL08	1.82E-06	Ocupación Inmediata
BL45	1.82E-06	Ocupación Inmediata	BL45	1.82E-06	Ocupación Inmediata
CJ04	1.73E-06	Ocupación Inmediata	CJ04	1.73E-06	Ocupación Inmediata
CJ03	1.72E-06	Ocupación Inmediata	CJ03	1.72E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	1.66E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	1.66E-06	Ocupación Inmediata
LI58	1.60E-06	Ocupación Inmediata	LI58	1.60E-06	Ocupación Inmediata
RM48	1.19E-06	Ocupación Inmediata	RM48	1.19E-06	Ocupación Inmediata



Tabla B.263. Estado de daño del edificio número seis de control con contravientos.

Modelo con contravientos confinado			Modelo con contravientos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
JC54	1.22E-03	Ocupación Inmediata	JC54	2.38E-03	Ocupación Inmediata
CH84	1.66E-04	Ocupación Inmediata	GC38	1.27E-04	Ocupación Inmediata
GC38	1.13E-04	Ocupación Inmediata	CH84	1.00E-04	Ocupación Inmediata
SI53	5.51E-05	Ocupación Inmediata	SI53	4.72E-05	Ocupación Inmediata
DX37	7.91E-07	Ocupación Inmediata	DX37	1.12E-06	Ocupación Inmediata
MI15	4.83E-07	Ocupación Inmediata	MI15	6.50E-07	Ocupación Inmediata
AO24	3.94E-07	Ocupación Inmediata	AO24	5.17E-07	Ocupación Inmediata
IB22	3.80E-07	Ocupación Inmediata	IB22	5.01E-07	Ocupación Inmediata
LV17	3.65E-07	Ocupación Inmediata	LV17	4.87E-07	Ocupación Inmediata
AL01	2.48E-07	Ocupación Inmediata	AL01	3.28E-07	Ocupación Inmediata
UC44	2.37E-07	Ocupación Inmediata	UC44	3.13E-07	Ocupación Inmediata
CI05	2.12E-07	Ocupación Inmediata	CI05	2.81E-07	Ocupación Inmediata
LI33	2.11E-07	Ocupación Inmediata	LI33	2.81E-07	Ocupación Inmediata
PCJR	2.07E-07	Ocupación Inmediata	PCJR	2.73E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	2.05E-07	Ocupación Inmediata	CCCL	2.69E-07	Ocupación Inmediata
SCT2	1.94E-07	Ocupación Inmediata	SCT2	2.54E-07	Ocupación Inmediata
VG09	1.90E-07	Ocupación Inmediata	VG09	2.54E-07	Ocupación Inmediata
GA62	1.88E-07	Ocupación Inmediata	GA62	2.49E-07	Ocupación Inmediata
BL45	1.86E-07	Ocupación Inmediata	BL45	2.46E-07	Ocupación Inmediata
TL55	1.75E-07	Ocupación Inmediata	TL55	2.33E-07	Ocupación Inmediata
PE10	1.70E-07	Ocupación Inmediata	PE10	2.23E-07	Ocupación Inmediata
SP51	1.67E-07	Ocupación Inmediata	CO56	2.20E-07	Ocupación Inmediata
CO56	1.66E-07	Ocupación Inmediata	SP51	2.20E-07	Ocupación Inmediata
LI58	1.63E-07	Ocupación Inmediata	LI58	2.16E-07	Ocupación Inmediata
AU46	1.59E-07	Ocupación Inmediata	AU46	2.10E-07	Ocupación Inmediata
CJ03	1.56E-07	Ocupación Inmediata	CJ03	2.06E-07	Ocupación Inmediata
CJ04	1.53E-07	Ocupación Inmediata	CJ04	2.04E-07	Ocupación Inmediata
TL08	1.46E-07	Ocupación Inmediata	TL08	1.94E-07	Ocupación Inmediata
RM48	1.43E-07	Ocupación Inmediata	RM48	1.87E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.264. Estado de daño del edificio número seis de control con disipadores de energía de tipo viscoso.

Modelo con amortiguadores viscosos confinado			Modelo con amortiguadores viscosos no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
JC54	2.43E-03	Ocupación Inmediata	SI53	2.43E-03	Ocupación Inmediata
CH84	6.72E-04	Ocupación Inmediata	MI15	6.72E-04	Ocupación Inmediata
SI53	2.29E-04	Ocupación Inmediata	IB22	2.29E-04	Ocupación Inmediata
GC38	9.50E-05	Ocupación Inmediata	AO24	9.50E-05	Ocupación Inmediata
DX37	2.15E-06	Ocupación Inmediata	DX37	2.15E-06	Ocupación Inmediata
MI15	1.78E-06	Ocupación Inmediata	CH84	1.78E-06	Ocupación Inmediata
IB22	1.25E-06	Ocupación Inmediata	JC54	1.25E-06	Ocupación Inmediata
LV17	1.05E-06	Ocupación Inmediata	LV17	1.05E-06	Ocupación Inmediata
AO24	1.00E-06	Ocupación Inmediata	GC38	1.00E-06	Ocupación Inmediata
AL01	7.65E-07	Ocupación Inmediata	AL01	7.65E-07	Ocupación Inmediata
PCJR	7.63E-07	Ocupación Inmediata	CI05	7.63E-07	Ocupación Inmediata
VG09	7.46E-07	Ocupación Inmediata	CO56	7.46E-07	Ocupación Inmediata
LI33	7.19E-07	Ocupación Inmediata	PE10	7.19E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	6.98E-07	Ocupación Inmediata	LI33	6.98E-07	Ocupación Inmediata
GA62	6.98E-07	Ocupación Inmediata	CCCL	6.98E-07	Ocupación Inmediata
CI05	6.93E-07	Ocupación Inmediata	TL55	6.93E-07	Ocupación Inmediata
BL45	6.93E-07	Ocupación Inmediata	PCJR	6.93E-07	Ocupación Inmediata
UC44	6.90E-07	Ocupación Inmediata	UC44	6.90E-07	Ocupación Inmediata
PE10	6.64E-07	Ocupación Inmediata	AU46	6.64E-07	Ocupación Inmediata
CO56	6.61E-07	Ocupación Inmediata	TL08	6.61E-07	Ocupación Inmediata
LI58	6.48E-07	Ocupación Inmediata	SCT2	6.48E-07	Ocupación Inmediata
SCT2	6.40E-07	Ocupación Inmediata	SP51	6.40E-07	Ocupación Inmediata
CJ03	5.89E-07	Ocupación Inmediata	CJ04	5.89E-07	Ocupación Inmediata
SP51	5.86E-07	Ocupación Inmediata	CJ03	5.86E-07	Ocupación Inmediata
CJ04	5.82E-07	Ocupación Inmediata	BL45	5.82E-07	Ocupación Inmediata
TL55	5.50E-07	Ocupación Inmediata	GA62	5.50E-07	Ocupación Inmediata
TL08	5.34E-07	Ocupación Inmediata	LI58	5.34E-07	Ocupación Inmediata
RM48	5.29E-07	Ocupación Inmediata	RM48	5.29E-07	Ocupación Inmediata
AU46	4.69E-07	Ocupación Inmediata	VG09	4.69E-07	Ocupación Inmediata



Tabla B.265. Estado de daño del edificio número seis de control con disipadores de energía de tipo TADAS.

Modelo con dispositivos tipo TADAS confinado			Modelo con dispositivos tipo TADAS no confinado		
Registro	Rotación	Estado de daño	Registro	Rotación	Estado de daño
JC54	6.47E-03	Ocupación Inmediata	CH84	1.02E-02	Seguridad de vida
MI15	2.84E-03	Ocupación Inmediata	DX37	7.89E-03	Ocupación Inmediata
CH84	6.58E-04	Ocupación Inmediata	JC54	7.81E-03	Ocupación Inmediata
LV17	4.32E-04	Ocupación Inmediata	MI15	1.78E-03	Ocupación Inmediata
DX37	3.32E-04	Ocupación Inmediata	SI53	4.33E-04	Ocupación Inmediata
SI53	3.74E-06	Ocupación Inmediata	GC38	2.24E-04	Ocupación Inmediata
CJ04	2.88E-06	Ocupación Inmediata	IB22	1.08E-04	Ocupación Inmediata
LI33	2.82E-06	Ocupación Inmediata	LV17	2.60E-06	Ocupación Inmediata
GC38	2.70E-06	Ocupación Inmediata	AO24	2.28E-06	Ocupación Inmediata
SP51	2.61E-06	Ocupación Inmediata	AL01	1.36E-06	Ocupación Inmediata
IB22	2.54E-06	Ocupación Inmediata	UC44	1.20E-06	Ocupación Inmediata
CJ03	2.52E-06	Ocupación Inmediata	LI33	1.19E-06	Ocupación Inmediata
VG09	2.35E-06	Ocupación Inmediata	CI05	1.05E-06	Ocupación Inmediata
LI58	2.17E-06	Ocupación Inmediata	CCCL	1.03E-06	Ocupación Inmediata
CO56	2.14E-06	Ocupación Inmediata	PCJR	1.00E-06	Ocupación Inmediata
SCT2	2.14E-06	Ocupación Inmediata	GA62	9.35E-07	Ocupación Inmediata
UC44	2.10E-06	Ocupación Inmediata	VG09	9.11E-07	Ocupación Inmediata
GA62	2.07E-06	Ocupación Inmediata	TL55	8.54E-07	Ocupación Inmediata
CI05	2.04E-06	Ocupación Inmediata	BL45	8.29E-07	Ocupación Inmediata
AO24	1.95E-06	Ocupación Inmediata	SCT2	7.93E-07	Ocupación Inmediata
BL45	1.92E-06	Ocupación Inmediata	PE10	7.67E-07	Ocupación Inmediata
PE10	1.91E-06	Ocupación Inmediata	CO56	7.56E-07	Ocupación Inmediata
AL01	1.82E-06	Ocupación Inmediata	SP51	6.94E-07	Ocupación Inmediata
PCJR	1.74E-06	Ocupación Inmediata	LI58	6.77E-07	Ocupación Inmediata
AU46	1.49E-06	Ocupación Inmediata	AU46	6.74E-07	Ocupación Inmediata
TL08	1.48E-06	Ocupación Inmediata	CJ04	6.42E-07	Ocupación Inmediata
CCCL	1.33E-06	Ocupación Inmediata	TL08	6.13E-07	Ocupación Inmediata
TL55	1.10E-06	Ocupación Inmediata	CJ03	5.86E-07	Ocupación Inmediata
RM48	5.80E-07	Ocupación Inmediata	RM48	4.58E-07	Ocupación Inmediata