

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO
SÍSMICO ENTRE UN SISTEMA DE DISIPACIÓN
DE ENERGÍA HISTERÉTICO Y UN SISTEMA DE
AISLAMIENTO ELASTOMÉRICO EN
EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO, EL
MILAGRO, TRUJILLO”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Edwin Fidel Chanduvi Nuñez
Rosa Jennifer Santillan Plaza

Asesor:

Mg. Ing. Gonzalo Hugo Díaz García
<https://orcid.org/0000-0002-3441-8005>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Sheyla Yuliana Cornejo Rodriguez	132258
	Nombre y Apellidos	N° Colegiatura o DNI

Jurado 2	Nixon Peche Melo	222240
	Nombre y Apellidos	N° Colegiatura o DNI

Jurado 3	German Sagastegui Vásquez	126049
	Nombre y Apellidos	N° Colegiatura o DNI

DEDICATORIA

Esta gran investigación se la dedico a mis padres, por ser tan incondicionales conmigo, a mis hermanos y a mi “Mami Tere” que espero, este muy feliz y orgullosa de mí, un beso hasta el cielo mamita.

Chanduví Nuñez, Edwin Fidel

A mis padres, que me apoyaron en todo momento, a mis abuelitos Pedro Santillán y Elmer Plaza que desde el cielo me están cuidando y bendiciendo, a mis abuelitas Teresa Pascual y Genara Velasquez que aún están a mi lado dándome ánimos y su amor incondicional.

Santillán Plaza, Rosa Jennifer

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de poder estudiar y terminar mi carrera profesional, a mis padres por su apoyo económico, emocional y espiritual, a nuestro asesor Ing. Gonzalo Díaz G. por su apoyo y dedicación para con nosotros con lo referente a la redacción y ejecución de nuestra tesis.

Chanduví Nuñez, Edwin Fidel

Agradezco a Dios por darme las fuerzas para culminar con este trabajo, a mis padres por su apoyo y animos, a mi tía Luz Plaza Velasquez por su apoyo constante.

Santillán Plaza, Rosa Jennifer

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN.....	24
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	25
1.1. Realidad problemática.....	25
1.1.1. Global	25
1.1.2. Macro.....	29
1.1.3. Micro.....	31
1.1.4. Nano.....	32
1.1.5. Antecedentes.....	33
1.1.6. Bases teóricas.....	45
1.2. Formulación del problema	74
1.3. Objetivos	74
1.3.1. Objetivo general.....	74
1.3.2. Objetivos específicos	74
1.4. Hipótesis.....	75
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	76
2.1. Tipo de investigación.....	76
2.1.1. Por el propósito:.....	76
2.1.2. Por su diseño de investigación:.....	76
2.1.3. Según el nivel o alcance de investigación:.....	76
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	77
2.2.1. Población	77
2.2.2. Muestra	77
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	77
2.3.1. Técnica de recolección de datos	77

2.3.2.	Instrumento de recolección de datos.....	78
2.4.	Aspectos éticos	79
2.5.	Procedimientos	79
2.5.1.	Estudio topográfico.....	82
2.5.2.	Microzonificación geotécnica.....	82
2.5.3.	Diseño arquitectónico	83
2.5.4.	Estructuración y predimensionamiento.....	85
2.5.5.	Análisis modal espectral	88
2.5.6.	Sistema de disipación de energía histerético con disipadores SLB	94
2.5.7.	Sistema de aislamiento elastomérico con aisladores LRB.....	96
2.5.8.	Análisis Tiempo Historia	105
2.5.9.	Diseño de elementos estructurales	107
2.5.10.	Desempeño sísmico	113
2.6.	Matriz de operacionalización de la variable.....	122
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....		123
3.1.	Estudio topográfico	123
3.1.1.	Descripción del área de estudio	123
3.1.2.	Planos topográficos.....	123
3.2.	Microzonificación geotécnica	125
3.2.1.	Propiedades del suelo de fundación.....	125
3.3.	Diseño arquitectónico.....	126
3.3.1.	Arquitectura de Centro comercial de 4 pisos	127
3.3.2.	Arquitectura de Oficinas de 8 pisos	129
3.3.3.	Arquitectura de Vivienda multifamiliar de 16 pisos	131
3.4.	Estructuración y predimensionamiento	133
3.4.1.	Propiedades de los materiales	133
3.4.2.	Predimensionamiento de elementos estructurales	133
3.4.3.	Estructuración de edificaciones	136
3.4.4.	Cargas gravitacionales	138
3.5.	Estructura Convencional sin protección sísmica.....	140
3.5.1.	Modelado estructural de las edificaciones	140
3.5.2.	Análisis dinámico modal espectral	142
3.6.	Sistema de disipación de energía histerético con disipadores SLB.....	151
3.6.1.	Modelado de disipadores SLB.....	151
3.6.2.	Análisis sísmico y diseño de disipadores SLB	155
3.7.	Sistema de aislamiento elastomérico con aisladores LRB	170
3.7.1.	Predimensionamiento del sistema de aislamiento elastomérico	170

3.7.2.	Análisis sísmico y diseño de aisladores LRB	188
3.8.	Análisis no lineal Tiempo Historia.....	201
3.8.1.	Registros de aceleraciones sísmicas.....	201
3.8.2.	Escalamiento de señales sísmicas	201
3.8.3.	Tratamiento de resultados	214
3.9.	Diseño de concreto armado	259
3.9.1.	Diseño de concreto armado de estructuras con aisladores	259
3.9.2.	Diseño de concreto armado en estructuras con disipadores.....	283
3.10.	Análisis Estático No Lineal “Pushover”	306
3.10.1.	Formación de rótulas plásticas.....	306
3.10.2.	Curva de capacidad.....	314
3.10.3.	Espectro de capacidad.....	318
3.10.4.	Espectro de demanda	323
3.11.	Punto de desempeño sísmico	324
3.11.1.	Punto de desempeño para estructuras sin protección sísmica.....	324
3.11.2.	Punto de desempeño para estructuras con aisladores.....	335
3.11.3.	Punto de desempeño para estructuras con disipadores	347
3.12.	Desempeño sísmico.....	356
3.12.1.	Desempeño sísmico de estructuras sin protección sísmica	356
3.12.2.	Desempeño sísmico de estructuras con aisladores.....	363
3.12.3.	Desempeño sísmico de estructuras con disipadores	369
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		373
4.1.	Discusión	373
4.1.1.	Periodos de vibración.....	373
4.1.2.	Cortante en la base.....	374
4.1.3.	Balance de energía	375
4.1.4.	Distorsiones de entrepiso	376
4.1.5.	Desempeño sísmico	378
4.2.	Limitaciones.....	379
4.3.	Conclusiones	380
4.4.	Recomendaciones	386
4.5.	Implicancias.....	386
REFERENCIAS		388
ANEXOS		392

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los perfiles de suelo, (NTE E0.30, 2018).	51
Tabla 2: Niveles de desempeño para edificaciones. (ATC-40, 1996):	68
Tabla 3: Niveles de Desempeño para edificaciones. (ATC-40, 1996)	71
Tabla 4: Factores de zona "Z". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)	89
Tabla 5: Categoría de las edificaciones y factor "U". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)	90
Tabla 6: Factores de suelo "S". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)	90
Tabla 7: Periodos "Tp" y "TL". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)	91
Tabla 8: Sistemas estructurales. Adaptado de E0.60 (R.N.E.)	91
Tabla 9: Irregularidad estructural en altura. Adaptado de E0.30 (R.N.E.)	92
Tabla 10: Irregularidad estructural en planta. Adaptado de E0.30 (R.N.E.)	93
Tabla 11: Coeficiente numérico asociado al amortiguamiento. (ASCE 7-16, 2016)	98
Tabla 12: Desplazamientos monitoreados en caso de carga Pushover.	119
Tabla 13: Matriz de operacionalización de la variable.	122
Tabla 14: Propiedades de EMS, de microzonificación sísmica de Trujillo, adaptado de (E. Luján, 2019)	126
Tabla 15: Propiedades de materiales empleados en la estructuración de las 3 edificaciones.	133
Tabla 16: Predimensionamiento de losa aligerada para las 3 edificaciones.	134
Tabla 17: Predimensionamiento de columnas de las 3 edificaciones.	135
Tabla 18: Predimensionamiento de vigas de las 3 edificaciones.	135
Tabla 19: Cargas vivas repartidas consideradas para las 3 edificaciones.	138
Tabla 20: Cargas muertas repartidas para las 3 edificaciones.	139
Tabla 21: Cargas muertas distribuidas para las 3 edificaciones.	139
Tabla 22: Estimación del periodo fundamental de las 3 edificaciones.	142
Tabla 23: Coeficiente de reducción sísmica para las 3 edificaciones.	143
Tabla 24: Formas modales y Masa participativa de estructura de 4 pisos sin protección sísmica.	145
Tabla 25: Formas modales y Masa participativa de estructura de 8 pisos sin protección sísmica.	146
Tabla 26: Formas modales y Masa participativa de estructura de 16 pisos sin protección sísmica.	147
Tabla 27: Distorsiones de entrepiso de estructura de 4 pisos convencional con sismo de diseño.	148
Tabla 28: Distorsiones de entrepiso de estructura de 8 pisos convencional con sismo de diseño.	149
Tabla 29: Distorsiones de entrepiso de estructura de 16 pisos convencional con sismo de diseño.	150
Tabla 30: Formas modales y masa participativa de estructura de 4 pisos con disipadores SLB.	155

Tabla 31: Formas modales y masa participativa de estructura de 8 pisos con disipadores SLB.....	156
Tabla 32: Formas modales y masa participativa de estructura de 16 pisos con disipadores SLB.....	157
Tabla 33: Distorsiones de entrepiso de estructura de 4 pisos con disipadores SLB aplicando SMC.....	158
Tabla 34: Distorsiones de entrepiso de estructura de 8 pisos con disipadores SLB aplicando SMC.....	159
Tabla 35: Distorsiones de entrepiso de estructura de 16 pisos con disipadores SLB aplicando SMC.....	160
Tabla 36: Diseño interactivo directo de disipadores SLB en estructura de 4 pisos.....	161
Tabla 37: Diseño interactivo directo de disipadores SLB en estructura de 8 pisos.....	163
Tabla 38: Diseño interactivo directo de disipadores SLB en estructura de 16 pisos.....	165
Tabla 39: Características iniciales del sistema de aislamiento en estructura de 4 pisos. .	170
Tabla 40: Cargas axiales en los aisladores elastoméricos de estructura de 4 pisos.....	171
Tabla 41: Propiedades mecánicas de materiales que conforman los aisladores LRB, en estructura de 4 pisos	172
Tabla 42: Parámetros de desplazamiento máximo de aislador en estructura de 4 pisos.	172
Tabla 43: Predimensionamiento de aisladores elastoméricos en estructura de 4 pisos....	173
Tabla 44: Parámetros nominales del comportamiento bilineal de aisladores LRB en estructura de 4 pisos.	174
Tabla 45: Factores Lambda de modificación de propiedades de aisladores elastoméricos, en estructura de 4 pisos.	175
Tabla 46: Parámetros variables del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 4 pisos.....	175
Tabla 47: Características iniciales del sistema de aislamiento en estructura de 8 pisos. .	176
Tabla 48: Cargas axiales en los aisladores elastoméricos de estructura de 8 pisos.....	177
Tabla 49: Propiedades mecánicas de materiales que conforman los aisladores LRB, en estructura de 8 pisos	178
Tabla 50: Parámetros de desplazamiento máximo de aislador en estructura de 8 pisos.	178
Tabla 51: Predimensionamiento de aisladores elastoméricos en estructura de 8 pisos....	179
Tabla 52: Parámetros nominales del comportamiento bilineal de aisladores LRB en estructura de 8 pisos.	180
Tabla 53: Factores Lambda de modificación de propiedades de aisladores elastoméricos, en estructura de 8 pisos.	181
Tabla 54: Parámetros variables del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 8 pisos.....	181
Tabla 55: Características iniciales del sistema de aislamiento en estructura de 16 pisos.	182
Tabla 56: Cargas axiales en los aisladores elastoméricos de estructura de 16 pisos.....	183
Tabla 57: Propiedades mecánicas de materiales que conforman los aisladores LRB, en estructura de 16 pisos	184
Tabla 58: Parámetros de desplazamiento máximo de aislador en estructura de 16 pisos.....	184

Tabla 59: Predimensionamiento de aisladores elastoméricos en estructura de 16 pisos..	185
Tabla 60: Parámetros nominales del comportamiento bilineal de aisladores LRB en estructura de 16 pisos.	186
Tabla 61: Factores Lambda de modificación de propiedades de aisladores elastoméricos, en estructura de 16 pisos.	187
Tabla 62: Parámetros variables del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 16 pisos.	187
Tabla 63: Fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento en estructura de 4 pisos.	189
Tabla 64: Formas modales y masa participativa en estructura aislada de 4 pisos.	190
Tabla 65: Distorsiones de entrepiso de estructura aislada de 4 pisos.	191
Tabla 66: Cortante por piso de estructura aislada de 4 pisos.	191
Tabla 67: Fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento en estructura de 8 pisos.	193
Tabla 68: Formas modales y masa participativa en estructura aislada de 8 pisos.	193
Tabla 69: Distorsiones de entrepiso de estructura aislada de 8 pisos.	194
Tabla 70: Cortante por piso de estructura aislada de 8 pisos.	195
Tabla 71: Fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento en estructura de 16 pisos.	196
Tabla 72: Formasl modales y masa participativa en estructura aislada de 16 pisos.	197
Tabla 73: Distorsiones de entrepiso de estructura aislada de 16 pisos.	199
Tabla 74: Cortante por piso de estructura aislada de 16 pisos.	200
Tabla 75: Características de registros sísmicos usados en análisis Tiempo Historia.	201
Tabla 76: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 4 pisos - CASO 1.	214
Tabla 77: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 4 pisos - CASO 2.	214
Tabla 78: Parámetros de interés del sistema de aislamiento con análisis TH en estructura de 4 pisos.	215
Tabla 79: Desplazamiento total D_{TM} en estructura de 4 pisos.	216
Tabla 80: Desplazamiento máximo D_M con análisis TH en estructura de 4 pisos.	217
Tabla 81: Fuerzas cortantes del sistema de aislamiento y superestructura en edificación de 4 pisos.	217
Tabla 82: Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la superestructura de la edificación de 4 pisos.	218
Tabla 83: Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la subestructura de la edificación de 4 pisos.	218
Tabla 84: Balance energético de sismos en estructura aislada de 4 pisos - Caso 1.	219
Tabla 85: Balance energético de sismos en estructura aislada de 4 pisos - Caso 2.	219
Tabla 86: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 8 pisos - CASO 1.	221
Tabla 87: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 8 pisos - CASO 2.	222

Tabla 88: Parámetros de interés del sistema de aislamiento con análisis TH en estructura de 8 pisos.....	223
Tabla 89: Desplazamiento total DTM en estructura de 8 pisos.....	224
Tabla 90: Desplazamiento máximo $D_{MÁX}$ con análisis TH en estructura de 8 pisos.	224
Tabla 91: Fuerzas cortantes del sistema de aislamiento y superestructura en edificación de 8 pisos.....	225
Tabla 92: Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la superestructura de la edificación de 8 pisos.	226
Tabla 93: Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la subestructura de la edificación de 8 pisos.	226
Tabla 94: Balance energético de sismos en estructura aislada de 8 pisos - Caso 1.....	227
Tabla 95: Balance energético de sismos en estructura aislada de 8 pisos - Caso 2.....	227
Tabla 96: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 16 pisos con aisladores - CASO 1	229
Tabla 97: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 16 pisos con aisladores - CASO 2	230
Tabla 98: Parámetros de interés del sistema de aislamiento con análisis TH en estructura de 16 pisos.....	231
Tabla 99: Desplazamiento total DTM en estructura de 16 pisos.....	232
Tabla 100: Desplazamiento máximo $D_{MÁX}$ con análisis TH en estructura de 16 pisos. ..	233
Tabla 101: Fuerzas cortantes del sistema de aislamiento y superestructura en edificación de 16 pisos.....	233
Tabla 102: Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la superestructura de la edificación de 16 pisos.....	234
Tabla 103: Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la subestructura de la edificación de 16 pisos.	234
Tabla 104: Balance energético de sismos en estructura aislada de 16 pisos - Caso 1.....	235
Tabla 105: Balance energético de sismos en estructura aislada de 16 pisos - Caso 2.....	235
Tabla 106: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 4 pisos - CASO 1	237
Tabla 107: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 4 pisos - CASO 2	238
Tabla 108: Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 4 pisos - Caso 1	242
Tabla 109: Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 4 pisos - Caso 2	242
Tabla 110: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 8 pisos - CASO 1	244
Tabla 111: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 8 pisos - CASO 2	245
Tabla 112: Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 8 pisos - Caso 1	249

Tabla 113: Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 8 pisos - Caso 2	249
Tabla 114: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 16 pisos - CASO 1	251
Tabla 115: Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 16 pisos - CASO 2	252
Tabla 116: Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 16 pisos - Caso 1	257
Tabla 117: Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 16 pisos - Caso 2	257
Tabla 118: Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 6 en estructura de 4 pisos con aisladores.	271
Tabla 119: Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 6 en estructura de 8 pisos con aisladores.	275
Tabla 120: Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 16 pisos con aisladores.	280
Tabla 121: Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.	295
Tabla 122: Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.	299
Tabla 123: Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.	304
Tabla 124: Puntos de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica.	324
Tabla 125: Puntos de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica.	328
Tabla 126: Puntos de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica.	331
Tabla 127: Puntos de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores.	335
Tabla 128: Puntos de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores.	339
Tabla 129: Puntos de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores.	343
Tabla 130: Puntos de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores.	347
Tabla 131: Puntos de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores.	351
Tabla 132: Distorsiones de entrepiso en estructura de 16 pisos con disipadores para determinación de desempeño sísmico.	354
Tabla 133: Matriz de desempeño de la estructura de 4 pisos sin protección sísmica.	358
Tabla 134: Matriz de desempeño de la estructura de 8 pisos sin protección sísmica.	360
Tabla 135: Matriz de desempeño de la estructura de 16 pisos sin protección sísmica.	362
Tabla 136: Matriz de desempeño de la estructura de 4 pisos con aisladores.	364
Tabla 137: Matriz de desempeño de la estructura de 8 pisos con aisladores.	366
Tabla 138: Matriz de desempeño de la estructura de 16 pisos con aisladores.	368
Tabla 139: Matriz de desempeño de la estructura de 4 pisos con disipadores.	370
Tabla 140: Matriz de desempeño de la estructura de 8 pisos con disipadores.	372
Tabla 141: Matriz de desempeño de la estructura de 16 pisos con disipadores.	372

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Niveles de desempeño sísmico. Adaptado del ATC-40.....	46
Figura 2:Disipador histerético tipo SLB. (L. Bozzo, 2019)	46
Figura 3: Aislador de capas de goma y acero y núcleo de plomo. (Genatios & Lafuente, 2016).....	47
Figura 4: Ejemplo esquemático de la idealización de una estructura. (Estrada, 2016)	53
Figura 5: Fuerza de amortiguamiento. (Chopra, 2014)	55
Figura 6: Componentes de rigidez, amortiguamiento y masa. (Chopra, 2014).....	56
Figura 7: Excitación sísmica. (Chopra, 2014)	57
Figura 8: Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento. (Chopra, 2014)	59
Figura 9: Sistemas de protección sísmica.....	61
Figura 10: Disminución de la aceleración espectral por incorporación del aislador sísmico. (Genatios & Lafuente, 2016).....	62
Figura 11: (a) edificación sin aislamiento sísmico y (b) edificación con aislamiento sísmico. (Genatios & Lafuente, 2016).....	62
Figura 12: Ciclos de histéresis: Comportamiento lineal y no lineal. (Genatios & Lafuente, 2016).....	64
Figura 13: Curva de capacidad típica. (Mamani, 2018)	72
Figura 14: Espectros de respuesta con 5% de amortiguamiento. (Mamani, 2018)	73
Figura 15: Determinación del punto de desempeño, por método gráfico. (ATC-40, 1996).....	74
Figura 16: Diseño de la investigación.	76
Figura 17: Esquema de procedimientos de la investigación.....	81
Figura 18: Mapa de Microzonificación Sísmica, (E. Luján, 2019)	83
Figura 19: Estructuración inicial de una edificación de concreto armado	86
Figura 20: Elementos confinados de borde en muros.(NTE E0.60, 2009).....	112
Figura 21: Modelo matemático de esfuerzo deformación para el concreto sin confinar. .	113
Figura 22: Diagrama de momento curvatura para las secciones de las columnas 40X60, de la edificación de 4 pisos.....	114
Figura 23: Diagrama de momento curvatura para las vigas transversales de 30x50, de la edificación de 4 pisos.	115
Figura 24: Diagrama de momento curvatura para las secciones de las columnas 40X60, de la edificación de 8 pisos.....	115
Figura 25: Diagrama de momento curvatura para las vigas transversales de 30x50, de la edificación de 8 pisos.	116
Figura 26: Diagrama de momento curvatura para las secciones de las columnas excéntricas 40X60, de la edificación de 16 pisos.....	116
Figura 27: Diagrama de momento curvatura para las vigas transversales de 30x50, de la edificación de 16 pisos.	117
Figura 28: Caso de carga Gravitacional no lineal, para las 3 edificaciones.	118
Figura 29: Caso de carga lateral a la estructura en la dirección X, para las 3 edificaciones.	119

Figura 30: Caso de carga lateral a la estructura en la dirección Y, para las 3 edificaciones.	120
Figura 31: Parámetros para la asignación de rótulas plásticas en las vigas de concreto armado.	121
Figura 32: Parámetros para la asignación de rótulas plásticas en las columnas de concreto armado.	121
Figura 33: Plano topográfico de terreno con curvas de nivel	124
Figura 34: Perfil longitudinal y trazo de rasante para nivelación de terreno.	125
Figura 35: Plano arquitectónico de planta típica de Centro Comercial de 4 pisos.	128
Figura 36: Plano arquitectónico de planta típica de Oficinas de 8 pisos.	130
Figura 37: Plano arquitectónico de planta típica de Vivienda multifamiliar de 16 pisos.	132
Figura 38: Detalle referencial de losa aligerada. (Aceros arequipa, 2019)	134
Figura 39: Estructuración típica de las 3 edificaciones	137
Figura 40: Modelo estructural 3D de edificio de 4 pisos, sin protección sísmica.	140
Figura 41: Modelo estructural 3D de edificio de 8 pisos, sin protección sísmica.	141
Figura 42: Modelo estructural 3D de edificio de 16 pisos, sin protección sísmica.	141
Figura 43: Función espectral de pseudo-aceleraciones para edificación de 4 pisos.	144
Figura 44: Función espectral de pseudo-aceleraciones para edificación de 8 y 16 pisos.	145
Figura 45: Modelado Tridimensional de disipadores SLB en eje A, en estructura de 4 pisos.	152
Figura 46: Modelado Tridimensional de disipadores SLB en eje B, en estructura de 8 pisos.	153
Figura 47: Modelado Tridimensional de disipadores SLB en eje A, en estructura de 16 pisos.	154
Figura 48: Modelo del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 4 pisos.	174
Figura 49: Modelo bilineal con valores variables de aislador elastomérico en estructura de 4 pisos.	175
Figura 50: Modelo del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 8 pisos.	180
Figura 51: Modelo bilineal con valores variables de aislador elastomérico en estructura de 8 pisos.	181
Figura 52: Modelo del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 16 pisos.	186
Figura 53: Modelo bilineal con valores variables de aislador elastomérico en estructura de 16 pisos.	188
Figura 54: Espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento efectivo de 15% para estructura aislada de 4 pisos.	189
Figura 55: Espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento efectivo de 15% para estructura aislada de 8 pisos.	192
Figura 56: Espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento efectivo de 15% para estructura aislada de 16 pisos.	196
Figura 57: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura aislada de 4 pisos. (SeismoMatch)	202
Figura 58: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura aislada de 4 pisos.	203

Figura 59: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura aislada de 8 pisos. (SeismoMatch)	204
Figura 60: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura aislada de 8 pisos.	205
Figura 61: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura aislada de 16 pisos. (SeismoMatch)	206
Figura 62: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura aislada de 16 pisos.	207
Figura 63: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura con disipadores de 4 pisos. (SeismoMatch)	208
Figura 64: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura con disipadores de 4 pisos.	209
Figura 65: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura con disipadores de 8 pisos. (SeismoMatch)	210
Figura 66: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura con disipadores de 8 pisos.	211
Figura 67: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura con disipadores de 16 pisos. (SeismoMatch)	212
Figura 68: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura con disipadores de 16 pisos.	213
Figura 69: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 1, en estructura aislada de 4 pisos.	220
Figura 70: Balance de energía con sismo de Talca Chile 2010 – Caso 2, en estructura aislada de 4 pisos.	221
Figura 71: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 1, en estructura aislada de 8 pisos.	228
Figura 72: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 2, en estructura aislada de 8 pisos.	228
Figura 73: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 1, en estructura aislada de 16 pisos.	236
Figura 74: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 2, en estructura aislada de 16 pisos.	237
Figura 75: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección “X” en estructura de 4 pisos.	239
Figura 76: Curva de histéresis para el sismo de Callao_1966_C1 en la dirección “X” en estructura de 4 pisos.	240
Figura 77: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección “Y” en estructura de 4 pisos.	241
Figura 78: Curva de histéresis para el sismo de Lima_1974_C2 en la dirección “Y” en estructura de 4 pisos.	241
Figura 79: Balance de energía con sismo de Lima 1974 – Caso 1, en estructura con disipadores de 4 pisos.	243
Figura 80: Balance de energía con sismo de Lima 1974 – Caso 2, en estructura con disipadores de 4 pisos.	243

Figura 81: Ubicación del disipador hysterético SLB más solicitado en la dirección “X” en estructura de 8 pisos.	246
Figura 82: Curva de histéresis para el sismo de Pisco_2007_C1 en la dirección “X” en estructura de 8 pisos.	247
Figura 83: Ubicación del disipador hysterético SLB más solicitado en la dirección “Y” en estructura de 8 pisos.	247
Figura 84: Curva de histéresis para el sismo de Lima_1974_C2 en la dirección “Y” en estructura de 8 pisos.	248
Figura 85: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_Caso 1, en estructura con disipadores de 8 pisos.	250
Figura 86: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_Caso 2, en estructura con disipadores de 8 pisos.	250
Figura 87: Ubicación del disipador hysterético SLB más solicitado en la dirección “X” en estructura de 16 pisos.	253
Figura 88: Curva de histéresis para el sismo de Pisco_2007_C1 en la dirección “X” en estructura de 16 pisos.	254
Figura 89: Ubicación del disipador hysterético SLB más solicitado en la dirección “Y” en estructura de 16 pisos.	255
Figura 90: Curva de histéresis para el sismo de Pisco_2007_C2 en la dirección “Y” en estructura de 16 pisos.	256
Figura 91: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_Caso 1, en estructura con disipadores de 16 pisos.	258
Figura 92: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_Caso 2, en estructura con disipadores de 16 pisos.	258
Figura 93: Columna más esforzada en estructura de 4 pisos con aisladores.	259
Figura 94: Diagrama de interacción M3, de columna C2 en estructura de 4 pisos con aisladores.	260
Figura 95: Diagrama de interacción M2, de columna C2 en estructura de 4 pisos con aisladores.	260
Figura 96: Plantilla de diseño transversal de columna C-2 en estructura de 4 pisos con aisladores.	261
Figura 97: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 4 pisos con aisladores.	262
Figura 98: Columna más esforzada en estructura de 8 pisos con aisladores.	263
Figura 99: Diagrama de interacción M3, de columna C2 en estructura de 8 pisos con aisladores.	264
Figura 100: Diagrama de interacción M2, de columna C2 en estructura de 8 pisos con aisladores.	264
Figura 101: Plantilla de diseño transversal de columna C-2 en estructura de 8 pisos con aisladores.	265
Figura 102: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 8 pisos con aisladores.	266
Figura 103: Columna más esforzada en estructura de 16 pisos con aisladores.	267

Figura 104: Diagrama de interacción M3, de columna C2 en estructura de 16 pisos con aisladores.	268
Figura 105: Diagrama de interacción M2, de columna C2 en estructura de 16 pisos con aisladores.	268
Figura 106: Plantilla de diseño transversal de columna C-2 en estructura de 16 pisos con aisladores.	269
Figura 107: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 16 pisos con aisladores.	270
Figura 108: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 4 pisos con aisladores.	271
Figura 109: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 6 en estructura de 4 pisos con aisladores.	272
Figura 110: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 4 pisos con aisladores.	273
Figura 111: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 4 pisos con aisladores.	274
Figura 112: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 8 pisos con aisladores.	275
Figura 113: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 2 en estructura de 8 pisos con aisladores.	276
Figura 114: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 8 pisos con aisladores.	277
Figura 115: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 8 pisos con aisladores.	278
Figura 116: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 16 pisos con aisladores.	279
Figura 117: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 1 en estructura de 16 pisos con aisladores.	281
Figura 118: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 16 pisos con aisladores.	282
Figura 119: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 16 pisos con aisladores.	283
Figura 120: Momentos y axiales de columna más esforzada en estructura de 4 pisos con disipadores.	284
Figura 121: Diagrama de interacción M3, de columna C1 en estructura de 4 pisos con disipadores.	285
Figura 122: Diagrama de interacción M2, de columna C1 en estructura de 4 pisos con disipadores.	285
Figura 123: Plantilla de diseño transversal de columna C-1 en estructura de 4 pisos con disipadores.	286
Figura 124: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 4 pisos con disipadores.	286

Figura 125: Momentos y axiales de columna más esforzada en estructura de 8 pisos con disipadores.....	287
Figura 126: Diagrama de interacción M3, de columna C1 en estructura de 8 pisos con disipadores.....	288
Figura 127: Diagrama de interacción M2, de columna C1 en estructura de 8 pisos con disipadores.....	288
Figura 128: Plantilla de diseño transversal de columna C-1 en estructura de 8 pisos con disipadores.....	289
Figura 129: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 8 pisos con disipadores.....	290
Figura 130: Momentos y axiales de columna más esforzada en estructura de 16 pisos con disipadores.....	291
Figura 131: Diagrama de interacción M3, de columna C1 en estructura de 16 pisos con disipadores.....	292
Figura 132: Diagrama de interacción M2, de columna C1 en estructura de 16 pisos con disipadores.....	292
Figura 133: Plantilla de diseño transversal de columna C-1 en estructura de 16 pisos con disipadores.....	293
Figura 134: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 16 pisos con disipadores.....	294
Figura 135: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 4 pisos con disipadores.....	295
Figura 136: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.....	296
Figura 137: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 4 pisos con disipadores.....	297
Figura 138: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 4 pisos con disipadores.....	298
Figura 139: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 8 pisos con disipadores.....	299
Figura 140: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 2 en estructura de 8 pisos con disipadores.....	300
Figura 141: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 8 pisos con disipadores.....	301
Figura 142: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 8 pisos con disipadores.....	302
Figura 143: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 16 pisos con disipadores.....	303
Figura 144: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 1 en estructura de 16 pisos con disipadores.....	304
Figura 145: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 16 pisos con disipadores.....	305

Figura 146: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 16 pisos con disipadores.....	306
Figura 147: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura aislada de 4 pisos.....	307
Figura 148: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura aislada de 4 pisos.....	307
Figura 149: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura aislada de 8 pisos.....	308
Figura 150: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura aislada de 8 pisos.....	309
Figura 151: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura aislada de 16 pisos.....	310
Figura 152: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura aislada de 16 pisos.....	310
Figura 153: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura con disipadores de 4 pisos.....	311
Figura 154: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura con disipadores de 4 pisos.....	312
Figura 155: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura con disipadores de 8 pisos.....	313
Figura 156: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura con disipadores de 8 pisos.....	313
Figura 157: Curva de capacidad de estructura de 4 pisos con aisladores.....	314
Figura 158: Curva de capacidad de estructura de 8 pisos con aisladores.....	315
Figura 159: Curva de capacidad de estructura de 16 pisos con aisladores.....	316
Figura 160: Curva de capacidad de estructura de 4 pisos con disipadores.....	317
Figura 161: Curva de capacidad de estructura de 8 pisos con disipadores.....	317
Figura 162: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección X-X.....	318
Figura 163: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.....	318
Figura 164: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección X-X.....	319
Figura 165: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.....	319
Figura 166: Espectro de capacidad de la estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección X-X.....	320
Figura 167: Espectro de capacidad de la estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.....	320
Figura 168: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección X-X.....	321
Figura 169: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.....	321

Figura 170: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección X-X.	322
Figura 171: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.	322
Figura 172: Espectros de demanda sísmica para estructuras de 4, 8 y 16 pisos con aisladores y disipadores.	323
Figura 173: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección X-X.	325
Figura 174: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección Y-Y.	325
Figura 175: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección X-X.	326
Figura 176: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección Y-Y.	326
Figura 177: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección X-X.	327
Figura 178: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección Y-Y.	327
Figura 179: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección X-X.	328
Figura 180: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección Y-Y.	329
Figura 181: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección X-X.	329
Figura 182: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección Y-Y.	330
Figura 183: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección X-X.	330
Figura 184: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección Y-Y.	331
Figura 185: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección X-X.	332
Figura 186: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección Y-Y.	332
Figura 187: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección X-X.	333
Figura 188: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección Y-Y.	333
Figura 189: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección X-X.	334
Figura 190: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección Y-Y.	334

Figura 191: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección X-X.....	336
Figura 192: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.....	336
Figura 193: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección X-X.....	337
Figura 194: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.....	337
Figura 195: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección X-X.....	338
Figura 196: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección Y-Y.....	338
Figura 197: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección X-X.....	340
Figura 198: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.....	340
Figura 199: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección X-X.....	341
Figura 200: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.....	341
Figura 201: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección X-X.....	342
Figura 202: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección Y-Y.....	342
Figura 203: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección X-X.....	344
Figura 204: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.....	344
Figura 205: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección X-X.....	345
Figura 206: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.....	345
Figura 207: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección X-X.....	346
Figura 208: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección Y-Y.....	346
Figura 209: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección X-X.....	348
Figura 210: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.....	348
Figura 211: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección X-X.....	349

Figura 212: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.	349
Figura 213: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección X-X.	350
Figura 214: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección Y-Y.	350
Figura 215: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección X-X.	351
Figura 216: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.	352
Figura 217: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección X-X.	352
Figura 218: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.	353
Figura 219: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección X-X.	353
Figura 220: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección Y-Y.	354
Figura 221: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con disipadores en la dirección X-X.	355
Figura 222: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.	356
Figura 223: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos sin protección sísmica en la dirección X-X.	357
Figura 224: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos sin protección sísmica en la dirección Y-Y.	358
Figura 225: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos sin protección sísmica en la dirección X-X.	359
Figura 226: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos sin protección sísmica en la dirección Y-Y.	360
Figura 227: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos sin protección sísmica en la dirección X-X.	361
Figura 228: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos sin protección sísmica en la dirección Y-Y.	362
Figura 229: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección X-X.	363
Figura 230: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.	364
Figura 231: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección X-X.	365
Figura 232: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.	366

Figura 233: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección X-X. 367

Figura 234: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección Y-Y. 368

Figura 235: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección X-X. 369

Figura 236: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección Y-Y. 370

Figura 237: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección X-X. 371

Figura 238: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección Y-Y. 371

Figura 239: Periodos de vibración en estructuras sin protección sísmica, con disipadores y con aisladores. 374

Figura 240: Cortantes en la base de estructuras sin protección sísmica, con disipadores y con aisladores. 375

Figura 241: Porcentaje de energía disipada en estructuras con aisladores y disipadores.. 376

Figura 242: Distorsiones de entrepiso en estructura sin protección sísmica, con disipadores y con aisladores. 378

RESUMEN

La presente investigación se elaboró en C.C.P.P. El Milagro – Trujillo, en la Universidad Privada del Norte, se realizó el análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético y un sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado, considerando, según su propósito, una investigación del tipo aplicada, con diseño no experimental, transversal y según su nivel, descriptiva. La problemática actual en la ingeniería estructural es proteger la estructura y su contenido, buscando la operatividad continua de las edificaciones ante eventos sísmicos severos. Los resultados obtenidos del desempeño sísmico corresponden al sismo máximo considerado, con una probabilidad de 5% que ocurra en 50 años; concluyendo que, el mejor desempeño para una estructura de 4 pisos es el sistema de aislamiento elastomérico, puesto que, se obtiene el nivel de “Ocupación Inmediata”; por otro lado, para la edificación con 8 pisos, el mejor desempeño se logra con el sistema de disipación de energía histerético; puesto que, alcanza el nivel de “Ocupación Inmediata”; finalmente, para la edificación de 16 pisos, el desempeño alcanzado por el sistema de aislamiento elastomérico y el sistema de disipación de energía histerético es el mismo, siendo éste “Seguridad de Vida”.

PALABRAS CLAVES: Desempeño sísmico, Sistema de disipación de energía histerético, Sistema de aislamiento elastomérico y Edificaciones de concreto armado.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

1.1.1. Global

En los últimos años, el diseño estructural ha tenido grandes avances, en gran medida gracias a la aplicación de nuevas técnicas y tecnologías, con las cuales se trata de mejorar la filosofía de diseño sismorresistente, dicho de otro modo, la idea inicial de solo salvaguardar las vidas humanas, deja sin importancia el cuidado de los elementos estructurales y no estructurales ante eventos sísmicos severos, además de no proteger la ocupación de la edificación. Según la revista Mundo Constructor (2019) en su edición N° 34, nos menciona lo siguiente: *“En la actualidad, la mayoría de edificaciones modernas cuentan con mecanismos sismorresistentes, una práctica necesaria. Pero, no suficiente; en efecto, lo más importante es preservar vidas, no hay duda, pero al no salvaguardar la integridad física de las edificaciones, esas mismas personas salvadas, soportarán varias dificultades al vivir en una comunidad llena de edificios inhabitables y con los servicios básicos colapsados”*.

En Estados Unidos, según el artículo científico de (Esteva, 2001) publicado en la revista de Ingeniería Sísmica; menciona que, en el año 1992, la Asociación de Ingenieros Estructurales de California, estableció el comité “VISION 2000”, el cual tenía la misión de *“mirar al futuro y desarrollar un marco de referencia para procedimientos que condujesen a estructuras de desempeño sísmico predecible”*. Luego del terremoto de Northridge de 1994, el comité VISION 2000, presentó en 1995, sus primeras conclusiones, en las cuales incluían un conjunto de recomendaciones preliminares y un marco conceptual para el diseño por desempeño. Estas recomendaciones preliminares, incluían la definición de varios *“niveles de*

desempeño” y de varios “niveles de las excitaciones sísmicas de diseño”, los cuales estaban asociados a su probabilidad de ocurrencia. La definición de los “niveles de desempeño”, fueron determinado en condiciones cualitativas.

En Manabí, provincia de Ecuador, en el año 2016, sucedió un terremoto de 7.8° grados en la escala de Richter, el cual trajo consigo la muerte de 663 personas a causa de elementos no estructurales, los cuales fallaron al no ser preparados para soportar un cierto nivel de fuerza sísmica, además hasta el año 2019, muchas edificaciones quedaron totalmente inhabilitadas para su ocupación, por motivo de no poder ser reparadas por falta de presupuestos económicos, entre estas edificaciones, se encuentran las viviendas de los damnificados por el evento sísmico antes mencionado. La revista Mundo Constructor (2019), en su edición N° 34; referente a los estragos causados por este terremoto en Manabí, Ecuador; menciona lo siguiente: *“Precisamente, es ese escenario en el que la ingeniería Estructural juega un rol importante. Entre las últimas prácticas, destacan las estructuras construidas con sistemas de protección sísmico, diseñado para funcionalidad continua”*. Precisamente estas 2 últimas palabras (Funcionalidad continua), hace referencia al diseño basado en el desempeño sísmico de las estructuras, siendo la funcionalidad continua un nivel de desempeño deseado para estructuras que deben tener una operabilidad durante el sismo o una ocupación inmediata luego del mismo.

En Chile, el docente y experto en la ingeniería estructural Jorge Carvalho, de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, en el 2019, lideró la comisión que promulgaría la nueva normativa de diseño sísmico. Jorge Carvalho, mencionó lo siguiente: *“En la NCh433 (Norma de diseño sísmico de Chile) estamos intentando impulsar la posibilidad que contenga un diseño alternativo de diseño sísmico resistente, que es un método basado en desempeño. En Estados Unidos se usa y se*

incorpora en estructuras complejas de altura, entonces ACHISINA propuso generar un documento, basado en el norteamericano, que es una corriente absolutamente moderna del diseño sísmico". Hoy en día la norma NCh433 de Chile, contiene el diseño por desempeño sísmico, garantizando así, que mientras sea bien aplicado, un comportamiento de las estructuras mucho más controlado y de mejores resultados en cuanto a la protección no solo de las vidas humanas, sino más bien de los elementos estructurales, no estructurales y la ocupación de las edificaciones del territorio chileno.

En el Perú, el bachiller en ingeniería civil (Mamani, 2018), en su trabajo de investigación, tiene como objetivo determinar el nivel de desempeño sísmico de una estructura, ubicada en la ciudad de Juliaca. El edificio consta de ocho niveles, con un sistema aporticado de concreto armado. El desempeño sísmico de la estructura se determina mediante un análisis estático no lineal, este incluye el método del espectro de capacidad mejorado del FEMA-440, que usa la intersección de la curva de capacidad (pushover) y un espectro de demanda, para estimar el nivel de desempeño; debido a la cantidad de iteraciones necesarias para lograr la curva de capacidad de la estructura, fue necesario utilizar el programa computacional ETABS V16. Los resultados obtenidos después de realizar la evaluación sísmica, es que la estructura no cumple con los objetivos de desempeño propuestos por el ATC- 40, es decir frente a un sismo de servicio se ha obtenido el nivel de seguridad de vida, frente a un sismo de diseño el nivel de colapso y frente a un sismo máximo el nivel de colapso en la dirección "X" de la estructura. Sin embargo, en la dirección "Y" de la estructura, el nivel de desempeño alcanzado frente al sismo de servicio es el nivel ocupación inmediata, frente a un sismo de diseño el nivel de seguridad de vida y frente a un sismo máximo el nivel de prevención del colapso, cumpliendo así, con los objetivos de desempeño del ATC-40. De esta forma se concluye, que, mediante un análisis estático

no lineal, se puede estimar el comportamiento que tendrá la estructura, cuando esta es sometida a movimientos sísmicos, es decir, permite ver las deficiencias que presenta una estructura, cuando no se lleva un adecuado análisis y diseño estructural.

En la ciudad de Trujillo, (Otiniano, 2019) elaboró una investigación con el fin de evaluar el desempeño sísmico de los sistemas de protección sísmica por amortiguamiento, dando mayor énfasis a los de fluido-viscoso fundamentada en las disposiciones del ASCE, el FEMA, el ATC-40 y la NTP. En dicha investigación se seleccionó un edificio de concreto armado de 9 niveles, el cual al ser analizado con un sistema convencional arrojó una deriva máxima de 9.11% superando el límite máximo permitido por la norma E-030 (7%). Sin embargo, al implementar el sistema de disipación de energía se logró reducir la deriva a 4.10% en dirección al eje X y un 3.80% en la dirección Y, además los dispositivos lograron disipar hasta un 74.45% de la energía producida por el sismo. Como parte del trabajo se diseñó las vigas y columnas con el propósito de realizar el análisis no lineal estático (PUSHOVER), con ello se determinó el punto de desempeño en el cual el edificio con la incorporación de disipadores alcanza un desempeño de ocupación inmediata ante un sismo máximo con un periodo de retorno de 975 años aproximadamente.

El desempeño sísmico, fue inicialmente controlado por VISION 2000, el cual en 1992 establece niveles objetivos de desempeño y niveles de peligrosidad sísmica, su aplicación era la rehabilitación de estructuras existentes y el diseño de nuevas estructuras. En paralelo con VISION 2000, el FEMA (Federal Emergency Management Agency), inició un proyecto para la rehabilitación de edificaciones. El concepto fundamental es parecido al de VISION 2000, debido que relaciona niveles de desempeño con niveles de amenaza sísmica; sin embargo, los niveles de amenaza sísmica son diferentes y los niveles de desempeño son: operacional, ocupación

inmediata, seguridad de vida y prevención del colapso. Del mismo modo el estado de California desarrolló guías para la evaluación sísmica de estructuras de concreto armado. Este proyecto resultó ser el ATC-40 en el año 1996; al igual que VISION2000 y el FEMA, su implementación depende de la capacidad de predecir demandas sísmicas, como son las distorsiones de entrepiso y la formación de rótulas plásticas. El desplazamiento objetivo se basa en el espectro de capacidad; generando el análisis Pushover, que convierte esta curva en una curva de capacidad y de la intersección de esta nueva curva con un espectro de respuesta sísmica modificado, se obtiene el punto de desempeño. (Colonia, 2017)

1.1.2. Macro

(Anccasi, 2019), verificó que el daño estructural en el Sistema Estructural con Disipadores (SED) es menor que el Sistema Estructural Convencional (SEC). Para el SED el 75% de energía sísmica que ingresó al sistema se disipó por los disipadores de energía, el 20% por medio del amortiguamiento modal y el 5% por deformación elástica e inelástica de las vigas y columnas (daño estructural). Para el SEC el 55% de la energía sísmica que ingresó al sistema se disipó por medio del amortiguamiento modal y el 45% por deformación elástica e inelástica de las vigas y columnas (daño estructural). Además, se verificó que el SED es una solución estructural adecuada, que ha permitido reducir los desplazamientos laterales debidos al sismo. Para el sismo de diseño la distorsión máxima de entrepiso se ha reducido de 1.14% a 0.64% (37% en promedio), siendo el límite de la distorsión de entrepiso 0.7%.

(Olivos, 2018) manifiesta que la respuesta estructural es la esperada para edificaciones con sistema de protección sísmica con aislamiento, ya que del análisis no lineal tiempo historia se obtuvieron derivas máximas del orden de 2.6% o y 3.8% o para el sismo de diseño (DBE) y el sismo máximo creíble (MCE), respectivamente,

las cuales son menores a los límites establecidos en el proyecto de norma E.031 de 3,5%o y 4,5%o, respectivamente. Además, el desempeño estructural del edificio típico hospitalario muestra un buen desempeño sísmico para los diferentes niveles de sismo: frecuente, ocasional, DBE y MCE, el cual está calificado en el nivel Operacional (S-1, 1-A), es decir, luego de ocurrido el sismo el edificio continuará operativo para brindar servicio post evento sísmico.

(Segovia, 2016) encontró que la adición de disipadores ADAS en una edificación de baja altura ante un sismo severo (0.5gde PGA) produce una disminución en los periodos de la estructura y una mejora en la respuesta estructural como:

- Reducción de los desplazamientos lateral en el centro de masa (CM) hasta un 53% (último nivel) como máximo, en PL-01 la reducción fue 70% (último nivel) como máximo.
- Disminución de la deformación en el acero para el muro PL-01 en un 70% (último nivel) evitando una falla por flexión.
- Comportamiento lineal por corte de los muros de concreto reforzado con excepción solo para el sismo S6 en PL-04b donde sobrepasa un 14% al máximo permitido, pero es un margen aceptable.

Como se puede apreciar, las 4 tesis de postgrado llegan a la misma conclusión como es una reducción sustancial en las derivas de entre piso, fuerzas internas y además que los sistemas de protección sísmica absorben la mayor cantidad de la energía que proporciona el sismo alcanzo valores de 75% en algunos casos. También se rescata que, en todos los casos al implementar estos dispositivos, se alcanza un desempeño óptimo de la estructura con lo cual se puede lograr una ocupación inmediata ante un evento sísmico severo.

A continuación, se presentan 2 empresas del rubro de la ingeniería estructural, la construcción de edificaciones y el diseño basado en desempeño sísmico:

- **PRISMA:** Empresa especializada en consultoría, diseño estructural y diseño de sistemas modernos de protección sísmica Brindan soluciones que protegen a la estructura y su contenido permitiendo la continuidad de operaciones a través de un diseño basado en el desempeño. Realizaron el primer edificio de viviendas con aislamiento sísmico en el Perú; el cual es un edificio de 15 pisos más azotea y 4 sótanos, se instalaron 36 aisladores elastoméricos más de 5 deslizadores de fricción bajo el techo del 1er. sótano. Con lo cual lograron reducir el 80% de la fuerza durante un sismo severo. El cliente de este proyecto fue “Grupo Inmobiliario Labok” en el año 2014.
- **CDV INGENIERÍA ANTISISMICA:** Es una empresa especializada en ingeniería, diseño y consultoría con sistemas de protección sísmica y el diseño por desempeño. Llevan más de 20 hospitales y más de 100 edificaciones diseñadas con aisladores y disipadores sísmicos. Como son: Hospital materno de Juliaca, Hospital de Pacasmayo, Banco de la Nación en Lima, Edificio de oficinas Reducto, etc.

1.1.3. Micro

La protección sísmica de estructuras en el presente local, nacional e internacional es una problemática que se genera por la importancia de no solo evitar el colapso de las estructuras, sino lograr minimizar de manera sustancial los daños producidos en las edificaciones cuando son sometidas a eventos sísmicos, esto quiere decir que, la nueva finalidad del diseño sismoresistente de acuerdo a la NTP E0.31 del reglamento nacional de edificaciones es, mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones, proteger su estructura y contenido, y buscar su operatividad continua.

Es por ello que surgieron nuevas tecnologías, como disipadores de energía y los aisladores en la base.

Según (Yucra, 2018) algunas normativas (ATC-40; SEAOC [1]) clasifican como estructuras esenciales a aquellas que ante un evento sísmico interrumpen servicios imprescindibles o que podrían causar efectos catastróficos. Los hospitales son estructuras que cumplen estas características y según la normativa peruana E030-2017 deben ser protegidas utilizando “Sistemas de protección sísmica”, tales como aislamiento sísmico. En estas estructuras de especial importancia por su uso, independientemente de su tipología estructural, se debe limitar estrictamente el estado de daño esperado ante un sismo con la finalidad de no interrumpir su funcionamiento.

Según (Segovia, 2016) durante la ocurrencia de sismos fuertes las estructuras resisten disipando energía en sus elementos principales (vigas, columnas y placas) alcanzando deformaciones superiores a su límite elástico, sufriendo daño estructural. Con el aumento del amortiguamiento estructural por efecto de disipadores se logra reducir los esfuerzos en elementos principales evitando que incurrieren en grandes deformaciones inelásticas.

1.1.4. Nano

Lo que busca investigar la presente tesis son los alcances que brinda usar un sistema de disipación de energía contra un sistema de aislamiento sísmico, puesto que, actualmente se reconoce los beneficios de ambos en comparación con un sistema convencional de diseño Sismoresistente; sin embargo, hoy en día la principal duda en cuanto a estos sistemas de protección sísmica es cuál de los dos es el más adecuado para diferentes proyectos arquitectónicos, en función a los desplazamientos, fuerzas

internas, disipación de energía, etc. A continuación, se fundamenta la función que cumple cada uno de los sistemas de protección sísmica.

El principal objetivo del uso de dispositivos de disipación de energía es limitar o eliminar el daño en elementos estructurales y no estructurales mediante la reducción de la respuesta dinámica del sistema estructural. Esto se logra concentrando la disipación de energía en elementos que puede ser reemplazados y que fueron diseñados con este propósito. (Anccasi, 2019).

Por otro lado, según (Yucra, 2018) el aislamiento sísmico consiste en la instalación de dispositivos que desacoplan la estructura y su contenido de los efectos de un sismo. Este desacople se alcanza incrementando la flexibilidad del sistema y proveyéndola de un amortiguamiento adecuado.

1.1.5. Antecedentes

“Desempeño sísmico en edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso”

(Herrera, 2018), la presente tesis tuvo como objetivo principal evaluar y comparar el desempeño sísmico en estructuras aporticadas de concreto armado, diseñada con aisladores elastoméricos y con amortiguadores de fluido viscoso. Esta investigación por su propósito es del tipo aplicada, porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren, asimismo, según el diseño, es investigación no experimental y transversal, porque correlaciona datos con el propósito de describir y analizar su comportamiento en un mismo tiempo, además según su nivel es una investigación descriptiva, porque contiene una variable y su foco es describir las características del desempeño sísmico que alcanzan las edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso. Se realizó un análisis tiempo – historia a dieciocho modelos de estructuras aporticadas

con alturas de 12 a 60 metros. Para el análisis se empleó cinco registros de acelerogramas de sismos reales, los cuales fueron escalados a una aceleración máxima de 0.45g, que es la máxima aceleración esperada en Piura. Con los resultados de los periodos se verifica que los amortiguadores de fluido viscoso no alteran el periodo fundamental de la estructura, y en consecuencia no afectan su rigidez. En cambio, en los modelos con aisladores se obtienen valores de periodo más altos en comparación a los modelos sin dispositivo, esto se debe a que los aisladores flexibilizan la base de la estructura y reducen las aceleraciones sísmicas. No obstante, en las edificaciones más esbeltas el incremento del periodo es mínimo, siendo los aisladores poco eficientes.

Respecto a las derivas máximas de entrepiso y de cortante basal máxima, se concluyó que para edificaciones aperticadas con esbeltez menor a 1.2 y frecuencia superior a 0.6Hz, los aisladores tienen un mejor desempeño sísmico que los amortiguadores puesto que reducen sustancialmente el valor de la cortante basal máxima y de las derivas de entrepiso en comparación a los amortiguadores. Por el contrario, para edificaciones con esbeltez superior a 1.2 y frecuencia inferior a 0.6Hz se concluye que los amortiguadores tienen un mejor desempeño que los aisladores puesto que la reducción de la deriva y la cortante basal obtenida con los aisladores fue mucho menor que la reducción lograda con el uso de los amortiguadores. Finalmente se concluyó que el uso de distintos arreglos de amortiguadores de fluido-viscoso en un mismo modelo de edificación no produce diferencias significativas en los resultados de desplazamientos laterales, derivas y cortantes basales siempre que la suma de las capacidades de carga de los amortiguadores en la dirección de análisis sea la misma. (pg. 109)

Esta investigación nos aporta, mediante un análisis tiempo historia en estructuras aporticadas de altura entre 12 a 60 metros, que los amortiguadores de fluido viscoso no alteran el periodo fundamental de la estructura, ni su rigidez; mientras que los aisladores proporcionan periodos más altos respecto a la estructura convencional, debido que los aisladores flexibilizan la base de la estructura y reducen las aceleraciones sísmicas. Además, la investigación nos revela que, para estructuras con mayor esbeltez o altura, los amortiguadores tienen mejor desempeño sísmico; mientras que, para estructuras con menor esbeltez o de poca altura, los aisladores tienen mejor desempeño sísmico, lo cual se ve reflejado en la mayor reducción de derivas y cortantes. Finalmente podemos rescatar de la investigación la conclusión de que el uso de distintos arreglos o posición que se quieran dar a la colocación de los amortiguadores, no influyen en los resultados, siempre y cuando la capacidad de los amortiguadores sea la misma en cada dirección.

“Análisis comparativo del comportamiento estructural entre una edificación destinada a una vivienda de ocho, doce y dieciséis, con sistemas de aislación y disipación de energía sísmica”

(Morales & Sinchiguano, 2018) presentan en su trabajo de titulación el análisis y comparación del desempeño sísmico de tres estructuras aporticadas de hormigón armado con empotramiento de base, aislación sísmica y disipación de energía. Esta tesis según su propósito, es una investigación tipo práctica (aplicada), debido que busca aplicar los conocimientos vinculados a la investigación básica, además, según su diseño, es una investigación no experimental porque no manipula deliberadamente la variable, asimismo, es de diseño transversal, descriptivo, porque se basa en observar y describir los fenómenos tal como se presentan en su forma natural. Las edificaciones están conformadas por 8, 12 y 16 pisos, el sistema de

aislación implementado utiliza aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y el sistema de disipación lo conforman disipadores tipo ADAS montados sobre contravientos Chevron de perfiles metálicos. Determinaron que el sistema de disipación de energía es más eficiente que el de aislación sísmica en los tres modelos analizados, debido a que aporta no solo amortiguamiento sino también rigidez a la estructura. En cuanto a periodos de vibración, los modelos con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo respecto a los modelos empotrados en su base, aumentaron entre 65% al 92% para 8 pisos, 49% al 70% para 12 pisos y 37% al 52% para 16 pisos. Mientras que los modelos con disipadores de energía ADAS respecto a los modelos empotrados en su base, disminuyeron un 16% para 8 pisos, 14% para 12 pisos y 13% para 16 pisos.

En cuanto a derivas máximas de piso, encontraron que para los modelos con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo respecto a los modelos empotrados en su base, se logra disminuir en el sentido X entre un 38% al 46% para 8 pisos, 34% al 42% para 12 pisos y 31% al 38% para 16 pisos; Así mismo, para los modelos con disipadores de energía ADAS respecto a los modelos empotrados en su base, se logra disminuir en el sentido X un 56% para 8 pisos, 48% para 12 pisos y 43% para 16 pisos.

Con estos resultados, llegaron a la conclusión que a medida que incrementaron los niveles a los modelos, la efectividad para ampliar el periodo de vibración por parte de los aisladores sísmicos con núcleo de plomo disminuyó considerablemente, por lo tanto, su uso es más adecuado en el modelo de menos altura. Mientras que a medida que incrementan los niveles en los modelos, la efectividad para disminuir el periodo de vibración de los disipadores de energía ADAS no varió en gran medida, por lo tanto, su uso es adecuado para los tres

modelos. Finalmente comparando los resultados de los modelos de 8, 12 y 16 pisos con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo y disipadores de energía ADAS se evidenció que el sistema de disipación de energía implementado es el que mejora el desempeño sísmico más eficientemente en los tres casos.

La presente investigación considera un análisis comparativo de 3 edificaciones de alturas considerables, mayores a 8 niveles.

Esta investigación nos aporta conclusiones como son; a medida que se incrementan los niveles de la estructura, el sistema de disipación de energía tipo ADAS, permite lograr un mejor desempeño sísmico; gracias a que los porcentajes de disminución de las derivas de entre piso son mayores que con un sistema de aislamiento sísmico, además, que la efectividad de ampliar el periodo de la estructura mediante un aislamiento sísmico, disminuye considerablemente, por lo tanto, este sistema funciona mejor para estructuras de poca altura.

“Diseño y análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso en una edificación de 4 niveles, Chiclayo, 2017”

(Chilón, 2017) el estudio buscó realizar un análisis comparativo de comportamiento y costos entre un sistema con aislación y disipación sísmica para una edificación de 4 niveles, en la ciudad de Chiclayo. De acuerdo al fin que se persigue es una investigación aplicada, porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos en la práctica de la ingeniería civil, para obtener los objetivos planteados y se sustenta en los resultados de investigación; del mismo modo, de acuerdo al diseño de investigación es del tipo descriptiva, porque consiste fundamentalmente en caracterizar una situación concreta, debido a que se requiere de una descripción y comprensión profunda de las condiciones actuales del objetivo

de estudio. Se utilizaron disipadores de fluido viscoso y aisladores de núcleo de plomo para cada uno de los sistemas estructurales evaluando un desempeño estructural frente a un evento sísmico severo. En el sistema con disipadores se logró reducir hasta un 40% las derivas en la dirección X y un 35% en la dirección Y; por otro lado, en el sistema con aisladores se logró reducir hasta un 91% las derivas en la dirección X y un 90% en la dirección.

En cuanto al periodo de la estructura se logró un valor de 0.39s para la estructura con disipadores de fluido viscoso, y un periodo de 2.8s para la estructura con aisladores de plomo, demostrando así uno de los mayores cambios que genera el uso de aislamiento en la base al proporcionar una gran rigidez al sistema estructural.

Respecto a la influencia de los sistemas de protección sísmica en la cortante basal, se concluyó que en el caso del sistema con disipadores se puede reducir hasta en un 25% y con el sistema aislado se llegó a reducir en un 47% la cortante en la base respecto al sistema convencional con empotramiento en la base. (pág. 106)

La investigación nos da un gran aporte ya que al ser un análisis comparativo entre un sistema de aislamiento y un sistema de disipación de energía, tiene el mismo enfoque que nuestra investigación. En primer lugar, nos brinda una información respecto a las derivas, donde un sistema de disipación de energía logra reducir las derivas hasta en un 40% respecto a una estructura convencional, mientras que con un sistema de aislamiento sísmico se logra una reducción de hasta 90% respecto a la estructura convencional, lo cual nos da la idea de que los sistemas de aislamiento sísmico, dan mayores beneficios en edificaciones de poca altura, como es el caso de esta investigación, con 4 niveles. Así mismo, se logra reducir en mayor porcentaje (47%) la cortante basal, con un sistema de aislamiento en la base, ratificando el gran beneficio de usar este sistema en edificaciones de poca altura.

“Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base tipo elastomérico con núcleo de plomo LRB y disipadores tipo contraventeos restringido al pandeo BRB, y su incidencia en la relación costo/beneficio del sistema estructural”

(Ruiz & Torres, 2018) procedieron a realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural para los sistemas convencional, aislado en la base y con el uso de disipadores sísmicos en una estructura de uso hospitalario de 7 pisos compuesta de 2 bloques de 7738.12 m² y 9975.43 m² respectivamente separados por una junta. El tipo de investigación de la presente tesis, se divide en 3 etapas, la primera es de nivel exploratorio, pues se obtuvo toda la información necesaria para detallar cada uno de los componentes y procesos indispensables para el desarrollo del tema propuesto; la segunda etapa es del nivel descriptivo, puesto que con la información recopilada se lleva a cabo el estudio propuesto y se procederá a describir los parámetros inmersos en el análisis estático y dinámico no lineal a través de un análisis pushover y un análisis tiempo historia. Finalmente, la tercera etapa, es de nivel explicativo, debido que, una vez realizado el diseño de los aisladores y los disipadores, se realizará una comparación de los resultados obtenidos, para así, establecer diferencias en el comportamiento que presenta el sistema estructural equipado con los sistemas de protección sísmica. La estructura se encuentra en la ciudad de Manta y se clasifica como esencial de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la construcción. De este trabajo, obtuvieron que los desplazamientos de la estructura se reducen en el sentido X en un 52% con el uso de aisladores LRB y el 54% implementando disipadores BRB. Sin embargo, para el sentido en Y los

desplazamientos de la estructura se reducen en un 68% con el uso de aisladores LRB y el 40% implementando disipadores BRB.

Por otro lado, mencionan que los sistemas de protección sísmica ayudan a disipar la energía que ingresa al sistema estructural, en el caso del bloque A aumenta en un 14.25% con el uso de disipadores BRB y utilizando aisladores LRB aumenta en un 52.88%. Así mismo, en el bloque B, aumenta en un 27.84% con la implementación de disipadores BRB y 71.7% con el uso de aisladores LRB.

También hace mención sobre la obtención del desempeño sísmico de los sistemas estructurales que analizaron. Para ello, efectuaron un análisis dinámico no lineal Tiempo – Historia, determinando que para la estructura convencional se alcanza un nivel de desempeño de prevención de colapso, en cambio, para la estructura con aisladores de base se ubica en el nivel totalmente operacional y un nivel de ocupación inmediata para la estructura con disipadores de energía

La presente tesis, nos aporta el método de análisis no lineal Tiempo - Historia, el cual permite a al autor poder concluir que para una estructural convencional de 7 pisos, su desempeño no es el adecuado, sin embargo al incorporarle los sistemas de protección sísmica, como aisladores LRB, se pudo lograr un desempeño óptimo, y por otro lado, con disipadores BRB, se alcanzan un desempeño menor al óptimo, sin embargo no deja de ser un gran beneficio para la protección de la edificaciones frente a sismos de gran envergadura.

“Análisis comparativo del desempeño sísmico y costos entre los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados en una edificación multifamiliar, Trujillo”

(Miranda & Ontiveros, 2020), el presente estudio tiene por objetivo analizar el comportamiento de los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados en una edificación multifamiliar de 8 pisos, considerada dentro de la población de

edificaciones multifamiliares del área geográfica de la Urbanización San Andrés I Etapa en la ciudad de Trujillo. Esta tesis está desarrollada considerando un diseño no experimental, transversal y descriptivo, puesto que busca la comparación de carácter cuantitativo de los objetos de estudio, así mismo como principal instrumento de recolección de datos se utilizó una ficha técnica de observación. El desarrollo se realizó con ayuda del programa estructural ETABS para el análisis y diseño de la edificación mediante el cual se obtuvo que la estructura convencional llegó a superar en un 19.43% las distorsiones máximas permitidas por la norma sismorresistente peruana; además se logró identificar irregularidad torsional provocada por la distancia entre el centro de masas y de rigideces. Asimismo, al analizar la edificación integrando los disipadores Taylor, se obtuvo reducciones de derivas en un 24.14% y a su vez este sistema no generó una variación en el periodo fundamental de la estructura. De igual modo, al aplicar los disipadores SLB a la edificación propuesta, se alcanzó distorsiones correspondientes a una disminución del 36.85% en comparación a la estructura convencional, igualmente se determinó que hubo un aumento de rigidez lateral provocado por estos dispositivos mecánicos por lo que se generó una deflación del periodo de la estructura. Finalmente se llegó a la conclusión que los disipadores Shear Link Bozzo son los que aportan una mejor respuesta a la edificación frente a cargas sísmicas y además a un menor costo que el disipador de fluido viscoso Taylor. (pg. 16).

Esta investigación nos aporta, poder identificar el comportamiento de los disipadores viscosos (Taylor) y los disipadores histeréticos (SLB), a partir de su aporte significativo en la reducción de las distorsiones de entre piso o derivas, con disminución del 24.14% y 36.85% respectivamente; además, de mostrarnos que los disipadores Shear Link Bozzo también reducen el periodo de la estructura mediante

el aumento de la rigidez de la misma, en comparación con los disipadores Taylor, lo cuales no afectan el periodo ni la rigidez de la estructura.

“Diseño estructural de un edificio de 8 niveles con disipadores de energía, Trujillo – La Libertad 2018”

(Paredes, 2018), tiene como objetivo diseñar un edificio de 8 niveles en la ciudad de Trujillo, añadiendo un sistema de protección como son los disipadores de energía. Dicha tesis tiene un diseño de investigación no experimental transversal y descriptivo simple, teniendo como técnica de recolección de datos la observación. Se desarrollan los trabajos de campo en la primera etapa, el estudio topográfico se efectuó con estación total al terreno de 416m² de área, consignado para el edificio de disipadores de energía de 8 niveles, con una pendiente menor al 1% sin relieves pronunciadas importantes, observándose que el terreno es relativamente plano. El diseño arquitectónico del edificio se realizó cumpliendo los requisitos de dimensiones mínimas de los ambientes destinados para vivienda (edificio multifamiliar), según las normas A.010 y A.020. Los departamentos serán de aproximadamente 120 m² con tres dormitorios, una sala y un hall, una cocina, un comedor, un baño completo y medio baño, siendo dos departamentos por piso, lo que nos da un total de 9 viviendas, ya que en el primer piso encontramos un estacionamiento, salón de usos múltiples y dos jardines. Posteriormente se realizó el EMS en el laboratorio de suelos de la UCV de Trujillo, realizando 3 calicatas de acuerdo a una profundidad de 3 m cada una, obteniendo como clasificación del suelo (SUCS) de los estratos recogidos, una arena mal graduada, con una capacidad portante de 1.28 kg/cm² a una profundidad de cimentación de 1.50 m. El análisis sismorresistente del edificio de 8 niveles con disipadores de energía se realizó con el software Etabs, permitiéndonos aproximarnos al comportamiento real de la

estructura con disipadores. El análisis final consistió en un Análisis Tiempo Historia conjuntamente con los disipadores elegidos para el proyecto, los disipadores Shear Link Bozzo, los cuales están basados inicialmente en el arriostramiento excéntrico de pórticos lo que permite potencialmente una disipación de energía óptima en toda el alma. Este análisis Tiempo Historia nos dio como resultados que los valores obtenidos del desplazamiento en el eje “X” y eje “Y” se encuentran en el rango permisible según la Norma E.030. Finalmente, la realización del diseño estructural de los elementos de concreto armado del edificio fue realizado mediante los softwares ETABS, SAFE y SAP, los cuales brindaron las cuantías de acero de manera rápida; contemplando los requerimientos mínimos establecidos por nuestras normas y combinaciones de cargas. (pg. 12).

La presente tesis nos aporta el conocimiento inicial de los estudios previos que se deben realizar para conseguir los mejores resultados. En primer lugar, nos brinda una idea de los datos necesarios que se deben tener en cuenta en un estudio topográfico, como son el área del terreno y la pendiente promedio. En segundo lugar, nos da alcances sobre los requerimientos arquitectónicos para viviendas en la ciudad de Trujillo, bajo las normativas del reglamento nacional de edificaciones y el tercer lugar, la investigación nos aporta la idea inicial sobre los trabajos y los datos necesarios para un estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación, para lo cual se deben realizar pozos de exploración llamados “calicatas” con una profundidad de 3m cada una, de las cuales se extrae las muestras de suelo que serán estudiadas para la buena clasificación del mismo, mediante el SUCS; además de brindarnos resultados como la capacidad portante del suelo y la profundidad de cimentación.

“Desempeño sísmico de una estructura de concreto armado con aisladores sísmicos LRB para uso esencial en la ciudad de Trujillo, región La Libertad, 2018”

(Tocto, 2018), determinó el desempeño sísmico de una estructura de concreto armado con aisladores sísmicos en la base para uso esencial ante diferentes niveles de amenaza sísmica. Esta investigación es del tipo descriptiva puesto que existe solo una variable, a la cual se estudiará sin modificaciones en ella, con un diseño de investigación del tipo no experimental, ya que solo cuenta con una variable y se sub clasifica en tipo transversal, debido a que se estudiara a la unidad de estudio en un solo periodo de tiempo. Para cumplir con el objetivo de la investigación en primer lugar se diseñó el sistema de aislamiento sísmico, luego se diseñó la estructura, se determinó las propiedades de ductilidad y finalmente por medio de un análisis inelástico se determinó el desempeño sísmico para diferentes niveles. Entre los principales resultados que se obtuvieron en la investigación tenemos que el desempeño sísmico de la estructura para sismos de servicio se encuentra en el rango operacional, mientras que, para sismos de moderada y severa intensidad, el comportamiento de la estructura aislada se encuentra en el rango de ocupación inmediata. (págs. 15-16)

Los resultados obtenidos mediante el análisis tiempo historia indican que la máxima deriva de entrepiso de la estructura aislada es de 1.32‰ para la dirección X-X y 1.48‰ para la dirección Y-Y. (pg. 194). Al realizar una comparación del desempeño de la estructura aislada con el desempeño de la estructura de base empotrada se concluyó que para el sismo de servicio ambas estructuras permanecen en el rango operacional, sin embargo para los sismos de diseño mientras que la estructura con aislamiento sísmico se encuentra en el rango de ocupación inmediata, la estructura de base empotrada se encuentra en el rango de seguridad de vida; del

mismo modo para el sismo máximo, mientras la estructura con aislamiento sísmico se encuentra en el rango de ocupación inmediata, la estructura de base empotrada se encuentra en el rango de prevención del colapso. (pg. 196).

La presente investigación nos aporta los pasos a seguir para realizar un buen diseño por desempeño sísmico de una estructura con protección sísmica, en este caso, aislamiento en la base tipo LRB; también nos da a conocer la influencia del uso de los aisladores sísmicos, en cuanto al comportamiento y desempeño de una edificación en la ciudad de Trujillo, además nos brinda información importante de acuerdo a los principales aportes de una protección sísmica en nuestra ciudad, comparándola con un sistema convencional de concreto armado, el cual podría sufrir daños importantes en edificaciones esenciales, las cuales no deberían tener un desempeño que solo garantice la prevención al colapso frente a sismo severos.

1.1.6. Bases teóricas

1.1.6.1. Desempeño sísmico

El desempeño se cuantifica de la cantidad de daño de un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento y ver si son tolerables, como se muestra en la Figura 1. (Aguilar, 2003). El diseño de edificaciones basado en el desempeño, se refiere a la metodología de diseño en la cual el criterio estructural se expresa en términos de selección de un objetivo de desempeño. En contraste al método convencional en el cual el criterio estructural se define por exigencias sobre los elementos, que resultan de un nivel predeterminado de fuerza cortante aplicada (ATC-40, 1996).

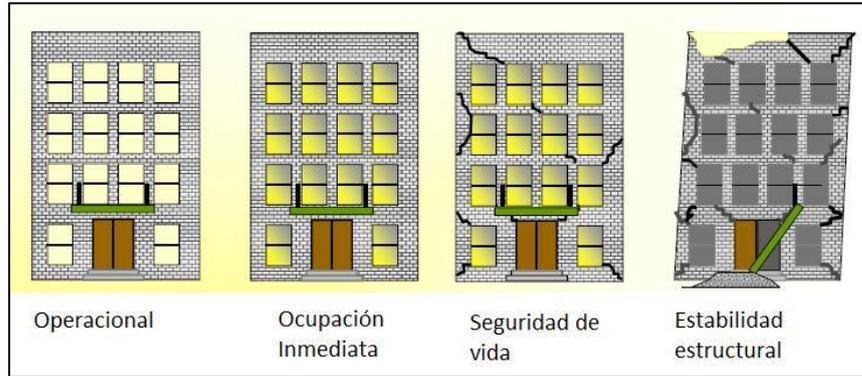


Figura 1: Niveles de desempeño sísmico. Adaptado del ATC-40

1.1.6.2. Disipadores de energía hysteréticos

(Genatios & Lafuente, 2016), mencionan que en los disipadores hysteréticos se aprovecha las propiedades de deformación inelástica del material constitutivo del dispositivo, se utilizan principalmente disipadores de acero, ya que este material, debido a su alta homogeneidad, permite una fácil caracterización mecánica. En general su comportamiento es modelado a partir de curvas fuerza-desplazamiento (ver Figura 12) y la energía que disipan se cuantifica a partir de los ciclos de histéresis característicos del dispositivo. Los dispositivos hysteréticos metálicos disipan energía a través de la fluencia de metales sometidos a esfuerzos de flexión, corte, o una combinación de ellos. Presentan un comportamiento estable y confiable a largo plazo y se comportan adecuadamente ante factores ambientales y cambios de temperatura.



Figura 2: Disipador hysterético tipo SLB. (L. Bozzo, 2019)

1.1.6.3. Sistema de Aislamiento Elastomérico

Consisten en elementos que permiten grandes deformaciones laterales. Son cilindros cortos con capas de material flexibles como pueden ser gomas de alta resistencia, alternadas con láminas o capas de acero (Figura 3). Estos dispositivos tienen gran resistencia a las cargas verticales que genera la estructura, principalmente debida a la presencia de las capas de acero, que restringen las excesivas deformaciones por abultamiento de las capas de goma, mientras que no tiene mayores efectos en los desplazamientos horizontales. El resultado es un elemento de aislamiento que posee una gran rigidez vertical, comparada con la rigidez lateral. Con el fin de limitar también el movimiento relativo y disipar energía, los aisladores deben generar altos valores de amortiguamiento. Para ello se incluyen núcleos de plomo que admiten grandes deformaciones y pueden producir un alto amortiguamiento, el cual varía en función del diámetro del núcleo de plomo. (Genatios & Lafuente, 2016)



Figura 3: Aislador de capas de goma y acero y núcleo de plomo. (Genatios & Lafuente, 2016)

1.1.6.4. Diseño de concreto armado

A mediados del siglo XX se aceptó el uso de un método de diseño por resistencia máxima que permite predecir la resistencia de los elementos llevando a los materiales hasta la falla. En este caso la sección se diseña para soportar unas

cargas mayoradas que consisten en las cargas de servicio esperadas en la estructura, amplificadas por unos factores de carga que permiten establecer un rango de seguridad. Tanto en el caso de las edificaciones como en el de las estructuras para obras civiles es necesario, no solo satisfacer el requisito de resistencia sino que se deben proporcionar otras provisiones como lo son: una suficiente rigidez para mantener las deflexiones dentro de un rango aceptable y una ductilidad apropiada para garantizar que, en el caso de que alguno o varios de los elementos que conforman la estructura sean cargados hasta la falla, esta se presente de manera controlada y diferida en el tiempo, permitiéndole al usuario tener una advertencia para abandonar la estructura antes de que la misma colapse. (Lamus & Andrade, 2015)

1.1.6.5. Topografía

Gámez (2015), nos menciona que la topografía es un estudio detallado de la superficie de la tierra. Con este estudio podemos determinar distancias ya sean verticales como horizontales entre puntos sobre el terreno a evaluar. También ayuda a determinar los ángulos de nuestras distancias ya determinadas.

Así mismo, la topografía se encarga de representar en un plano, una porción de tierra relativamente pequeña de acuerdo a una escala determinada.

A la acción de determinar la ubicación de puntos y luego graficarlos en un plano, se le nombra ‘‘levantamiento’’; este se basa en 2 etapas:

- a. Etapa de campo: consiste en la toma de datos, tales como ángulos, distancias, alturas, etc.
- b. Etapa de gabinete: corresponde al cálculo y dibujo de lo levantado en el campo. (Gámez, 2015)

1.1.6.6. Estudio de Mecánica de Suelos

Es el estudio de los suelos, es un tanto complejo, debido a la variedad de propiedades que este presenta, además de la gran diversidad que existe; es por ello que Gonzáles et al., (2004) manifiestan que es necesario seguir unos métodos enfocados en conceptos y maneras de evaluar las propiedades, de tal forma que se traten de agrupar y diferenciar la clasificación de los suelos universalmente, es por ello que se plantean 4 tipos de suelos en función a la granulometría:

- Gravas; estos tipos de suelos se caracterizan por tener granos de 8 a 10cm y 2 mm de tamaño en algunos casos; además estos materiales no retienen el agua, debido a los grandes vacíos que se forman entre partículas.
- Arenas; son granos más pequeños que las gravas, puesto que sus tamaños oscilan entre 2mm y 0.06mm. además, cuando son mezclados con agua, se dispersan en ella fácilmente.
- Limos; al ser más pequeños que las arenas, sus granos varían entre 0.060 y 0.002 mm; este material tiene la propiedad de retener el agua mejor que los granos mencionados anteriormente con mayores tamaños.
- Arcillas; son los granos más pequeños en la clasificación granulométrica, estos granos tienen tamaños inferiores a 0.002mm, y tienen como principal característica la gran capacidad de retención de agua.

1.1.6.6.1 Perfiles de Suelo

Según la NTE E0.30, en su artículo 12, clasifica a los suelos del territorio nacional en 5 perfiles, los cuales tienen distintas características como se muestra en la Tabla N° 1.

- a. Perfil Tipo S0: Roca dura

En este tipo de perfil, corresponden las rocas sanas, con \bar{V}_S mayor que 1500 m/s.

b. Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos

En este tipo de perfil, corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con \bar{V}_S , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyendo los siguientes casos:

b.1. Roca fracturada, con un q_u mayor o igual que 5 kg/cm²

b.2. Arena muy densa o grava arenosa densa, con \bar{N}_{60} , mayor que 50.

b.3. Arcilla muy compacta (espesor < 20 m.), con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u mayor que 1 kg/cm².

c. Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios

En este tipo de perfil, corresponden los suelos medianamente rígidos, con \bar{V}_S , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

c.1. Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , entre 15 y 50.

c.2. Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada \bar{S}_u , entre 0.5 kg/cm² y 1 kg/cm².

d. Perfil Tipo S3: Suelos Blandos

En este tipo de perfil, corresponden los suelos flexibles, con \bar{V}_S , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

d.1. Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , menores que 15.

d.2. Suelo cohesivo blando, con \bar{S}_u , entre 0.25 kg/cm^2 y 0.5 kg/cm^2 .

d.3. Cualquier perfil que no corresponda al tipo S_4 y que tenga más de 3 m. de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad mayor que 20, contenido de humedad mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u , menor que 0.25 kg/cm^2

e. Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales

A este tipo le corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en las cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio.

Tabla 1:
Clasificación de los perfiles de suelo, (NTE E0.30, 2018).

Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	$> 1500 \text{ m/s}$	-	-
S_1	$500 \text{ m/s a } 1500 \text{ m/s}$	> 50	$> 100 \text{ kPa}$
S_2	$180 \text{ m/s a } 500 \text{ m/s}$	$15 \text{ a } 50$	$50 \text{ kPa a } 100 \text{ kPa}$
S_3	$< 180 \text{ m/s}$	< 15	$25 \text{ kPa a } 50 \text{ kPa}$
S_4	Clasificación basada en el EMS		

1.1.6.7. Arquitectura

La arquitectura genera espacios específicos para estudiar en lugares apropiados con normas específicas y con zonas claramente señalizadas para obtener

mejores resultados en el aprendizaje lo que conduciría a lograr excelentes calificaciones.

La arquitectura como eje vincula espacios de diversas características tales como espacios cubiertos, al aire libre, semi cubiertos, espacios naturales, conexiones visuales, auditivas y sensoriales. (Niño, 2019)

1.1.6.8. Análisis Estructural

En Ingeniería, una estructura es el conjunto de elementos resistentes, convenientemente unidos entre sí, que reaccionan ante el efecto de cargas aplicadas a la construcción. Su finalidad es resistir las acciones internas y transmitir las cargas hacia los apoyos, manteniendo la forma general de un sólido. Es por ello que el análisis estructural se refiere a la determinación de esfuerzos, deformaciones, acciones internas y desplazamientos en los elementos de una estructura, por medio de teorías de la mecánica de sólidos y la resistencia de materiales. (Estrada, 2016)

Tipos de elementos estructurales:

- Elementos sometidos a tensión uniforme; son aquellos que soportan exclusivamente cargas en la dirección de su eje axial, las cuales tienden a estirarlo.
- Elementos sometidos a flexión y cortante; presentan deflexiones principalmente en dirección perpendicular a su eje longitudinal. Un caso típico de estos elementos son las vigas. El esfuerzo normal se distribuye de manera lineal en la sección transversal, siendo nulo en la posición del eje neutro, mientras que el esfuerzo cortante se distribuye, es nulo en los extremos y máximo alrededor del eje neutro, y su forma depende de la geometría de la sección transversal.

- Elementos sometidos a compresión uniforme; son elementos que soportan cargas exclusivamente en la dirección de su eje axial que tienden a acortarlo, pero no deben generar pandeo del elemento. Estos elementos pueden estar sometidos a cargas en dirección perpendicular a su eje longitudinal, pero de menor importancia. (Estrada, 2016)

La selección de un modelo analítico puede estar conformada por los siguientes aspectos: ver (Figura 4)

- Modelo geométrico; esquema que representa las principales características geométricas de la estructura.
- Uniones; se establecen las condiciones de frontera o ensamblaje entre diferentes elementos estructurales.
- Apoyos; se establecen los puntos de conexión de la estructura con el suelo y sus restricciones de desplazamiento.
- Comportamiento de materiales; debe suponerse una relación entre la acción de la respuesta o entre el esfuerzo y la deformación de los materiales que conforman la estructura.
- Cargas; las acciones que afectan la estructura en una condición dada se deben representar por fuerzas o desplazamientos aplicados en puntos específicos.

(Estrada, 2016)

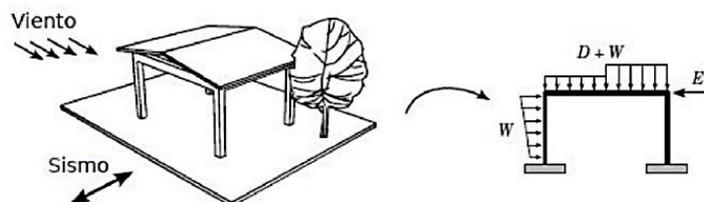


Figura 4: Ejemplo esquemático de la idealización de una estructura. (Estrada, 2016)

1.1.6.9. Dinámica de estructuras

1.1.6.9.1 Sistemas elásticos lineales

Para un sistema lineal la relación entre la fuerza lateral f_s y la deformación resultante u es lineal, es decir,

$$f_s = ku \quad (1.1.6.9.1)$$

Donde k es la rigidez lateral del sistema; sus unidades son fuerza/longitud.
(Chopra, 2014)

1.1.6.9.2 Fuerza de amortiguamiento

Según (Chopra, 2014), manifiesta que, a la acción de que la amplitud de la vibración libre disminuye constantemente, se le llama amortiguamiento. Además, mencionan que, en el amortiguamiento, la energía del sistema en vibración se disipa por diversos mecanismos, inclusive más de un mecanismo puede actuar al mismo tiempo.

Debido a la complejidad de poder idealizar la disipación de energía mediante el amortiguamiento en un modelo matemático de alguna estructura, (Chopra, 2014), menciona que: “El amortiguamiento real de una estructura de 1 GDL se puede idealizar de manera satisfactoria por medio de un amortiguador viscoso lineal”, cabe mencionar que este amortiguador en la vida real no está presente de manera física en la estructura, sino más bien representa la capacidad que tiene la estructura de disipar la energía por medio del amortiguamiento.

(Chopra, 2014), manifiesta que el coeficiente de amortiguamiento se escoge de modo que la energía disipada sea equivalente a la energía disipada en todos los mecanismos de amortiguamiento, combinados, presentes en la estructura real. Por lo anterior, esta idealización se denomina amortiguamiento viscoso equivalente.

En la Figura 5a se muestra un amortiguador viscoso lineal sometido a una fuerza f_D en la dirección del GDL u . La fuerza interna en el amortiguador es igual y opuesta a la fuerza externa f_D (figura 5b). Como se muestra en la Figura 5c, la fuerza de amortiguamiento de f_D se relaciona con la velocidad \dot{u} a través del amortiguador viscoso lineal por

$$f_D = c \dot{u} \quad (1.1.6.9.2)$$

Donde la constante c es el coeficiente de amortiguamiento viscoso; tiene unidades de fuerza*tiempo/longitud. (Chopra, 2014)

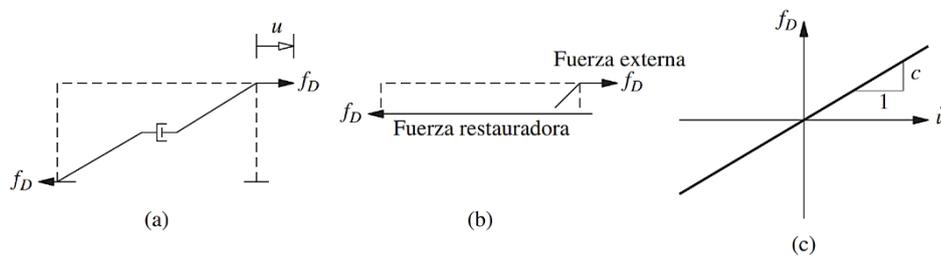


Figura 5: Fuerza de amortiguamiento. (Chopra, 2014)

1.1.6.9.3 Equilibrio dinámico

(Chopra, 2014) menciona que, en esta sección la ecuación que describe el desplazamiento para un pórtico idealizado es una alternativa muy conveniente. Bajo la acción de la fuerza externa $p(t)$, las condiciones del pórtico se describen mediante el desplazamiento $u(t)$, la velocidad $\dot{u}(t)$, y la aceleración $\ddot{u}(t)$, vea la figura 6a. Ahora al visualizar el pórtico como la combinación de tres componentes puros: (1) el componente de rigidez: el marco sin amortiguamiento o masa (figura 6b); (2) el componente de amortiguamiento: el marco con su propiedad de amortiguamiento, pero sin rigidez o masa (figura 6c) y (3) el componente de masa: la masa del techo sin la rigidez o el amortiguamiento del marco (figura 6d).

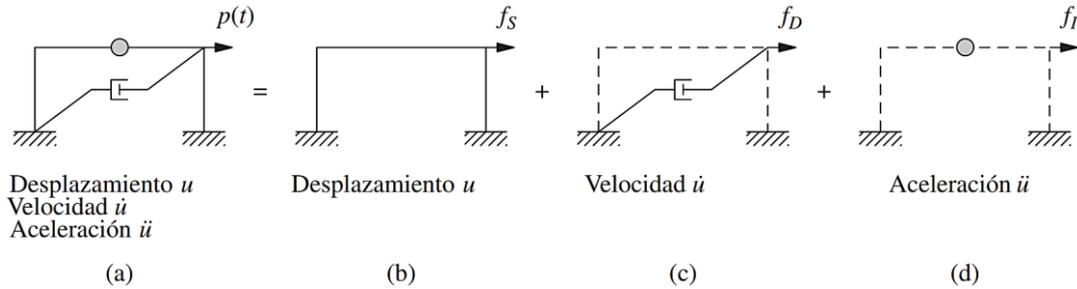


Figura 6: Componentes de rigidez, amortiguamiento y masa. (Chopra, 2014)

Después de sustituir las ecuaciones (1.3.9.1) y (1.3.9.2), esta ecuación se convierte en

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (1.3.9.3)$$

Ésta es la ecuación de movimiento que controla la deformación o el desplazamiento $u(t)$ de la estructura que se supone elástica lineal, sometida a una fuerza externa dinámica $p(t)$. (Chopra, 2014)

1.1.6.9.4 Ecuación de movimiento: excitación sísmica

El desplazamiento del terreno se indica por u_g , el desplazamiento total (o absoluto) de la masa por u^t , y el desplazamiento relativo entre la masa y el terreno por u (figura 5). En cada instante de tiempo, estos desplazamientos se relacionan mediante

$$u^t = u_g(t) + u(t) \quad (1.3.9.4.1)$$

Tanto u^t como u_g se refieren al mismo marco de referencia inercial y sus direcciones positivas coinciden.

(Chopra, 2014), menciona que la ecuación de movimiento para el pórtico idealizado de un nivel de la figura 7a, sometido a la excitación sísmica, puede deducirse por el concepto de equilibrio dinámico. A partir del diagrama de cuerpo libre que incluye la fuerza de inercia f_t , mostrada en la figura 7b, la ecuación de equilibrio dinámico es

$$f_t + f_D + f_s = 0 \quad (1.3.9.4.2)$$

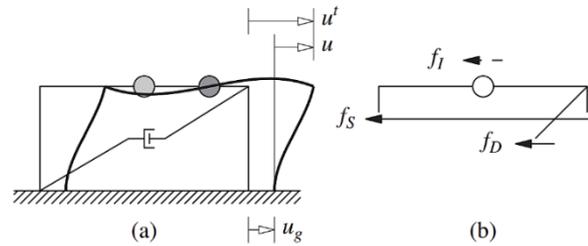


Figura 7: Excitación sísmica. (Chopra, 2014)

Sólo el movimiento relativo u entre la masa y la base, debido a la deformación estructural, produce fuerzas elásticas y de amortiguamiento (es decir, el componente de cuerpo rígido del desplazamiento de la estructura no produce fuerzas internas). Así para un sistema lineal, las ecuaciones (1.3.9.1) y (1.3.9.2) siguen siendo válidas.

La fuerza de inercia f_t se relaciona con la aceleración \ddot{u}^t de la masa mediante

$$f_t = m\ddot{u}^t \quad (1.3.9.4.3)$$

Al sustituir las ecuaciones (1.3.9.1), (1.3.9.2) y (1.3.9.4.3) en la ecuación (1.3.9.4.2) y utilizar la ecuación (1.3.9.4.1), se obtiene

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}^t(t) \quad (1.3.9.4.4)$$

Ésta es la ecuación de movimiento que controla el desplazamiento relativo o la deformación $u(t)$ de la estructura elástica lineal de la figura 7a, sometida a la aceleración del terreno $\ddot{u}_g(t)$. (Chopra, 2014)

1.1.6.9.5 Vibración libre no amortiguada

(Chopra, 2014), menciona que el movimiento de los sistemas lineales de 1 grado de libertad (GDL), visualizados como un marco idealizado de un nivel o un sistema masa-resorte-amortiguador, sometido a la fuerza externa $p(t)$ se rige por la ecuación (1.3.9.3). Si se establece $p(t)=0$, se obtiene la ecuación diferencial que rige

la vibración libre del sistema, que para los sistemas sin amortiguamiento ($c=0$) se especifica como

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (1.3.9.5.1)$$

La vibración libre se inicia al sacar al sistema de su posición de equilibrio estático, impartiendo a la masa cierto desplazamiento $u(0)$ y la velocidad $\dot{u}(0)$ en el tiempo cero, definido como el instante en que se inicia el movimiento:

$$u = u(0) \quad \dot{u} = \dot{u}(0) \quad (1.3.9.5.2)$$

La solución de la ecuación diferencial homogénea sujeta a estas condiciones iniciales se obtiene por métodos comunes.

$$u(t) = u(0) * \cos\omega_n t + \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} * \text{sen}\omega_n t \quad (1.3.9.5.3)$$

Donde
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.3.9.5.4)$$

La ecuación (1.3.9.5.3) se representa con la gráfica en la Figura 8. Ésta muestra que el sistema experimenta un movimiento vibratorio (u oscilatorio) alrededor de su posición de equilibrio estático (o no deformada, $u = 0$); y que este movimiento se repite después de cada $2\pi/\omega_n$ segundos. En particular, los estados (desplazamiento y velocidad) de la masa en dos instantes de tiempo, t_1 y $t_1+2\pi/\omega_n$, son idénticos: $u(t_1) = u(t_1 + 2\pi/\omega_n)$ y: $\dot{u}(t_1) = \dot{u}(t_1 + 2\pi/\omega_n)$.

El movimiento descrito por la ecuación (1.3.9.5.3) y mostrado en la Figura 8 se conoce como movimiento armónico simple.

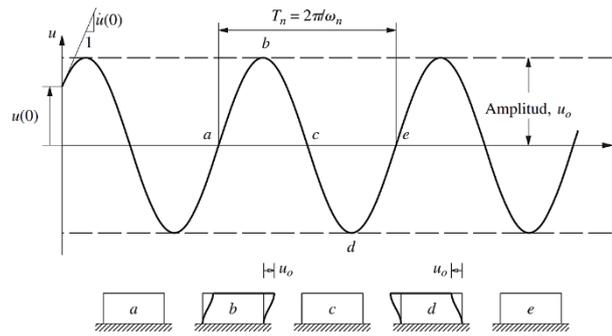


Figura 8: Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento. (Chopra, 2014)

La porción a-b-c-d-e de la curva de tiempo-desplazamiento describe un ciclo de vibración libre del sistema. A partir de su posición de equilibrio estático (o deformada) en a, la masa se mueve a la derecha, alcanzando su desplazamiento positivo máximo u_o en b, momento en el cual la velocidad es cero y el desplazamiento comienza a decrecer; luego la masa vuelve de nuevo a su posición de equilibrio c, momento en el cual la velocidad es máxima y por lo tanto la masa continúa moviéndose a la izquierda; después, la masa llega a su desplazamiento mínimo $-u_o$ en d, momento en el cual la velocidad es cero de nuevo y el desplazamiento comienza a disminuir otra vez hasta que la masa vuelve a su posición de equilibrio en el instante de tiempo e, $2\pi/\omega_n$ segundos después del instante de tiempo a, el estado (desplazamiento y velocidad) de la masa es el mismo que en el momento a, y la masa está lista para comenzar un nuevo ciclo de vibración.

El tiempo requerido para que el sistema no amortiguado complete un ciclo de vibración libre es el periodo natural de vibración del sistema, que se denomina como T_n y cuyas unidades son segundos. Se relaciona con la frecuencia circular de vibración, ω_n , en unidades de radianes por segundo es:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (1.3.9.5.5)$$

(Chopra, 2014)

1.1.6.10. Protección sísmica

El diseño estructural es concebido con base en una “filosofía de diseño” que incluye objetivos de desempeño, de manera tal que el comportamiento esperado de la estructura sea el siguiente:

Para sismos frecuentes, las estructuras no deben sufrir daño, ni en los elementos estructurales ni en los no estructurales o arquitectónicos, y deben mantenerse operativas y en funcionamiento.

Para sismos intermedios, poco frecuentes, la estructura puede sufrir daño que deben ser reparables.

Para sismos severos, se permite que la estructura sufra daños generalizados y hasta pueda llegar a quedar inservible, pero sin que ocurra el colapso global de la edificación, a fin de preservar las vidas humanas.

Las nuevas tecnologías de protección sísmica representan un importante salto en el conocimiento y la acción de la ingeniería sismorresistente; estas permiten, mediante un diseño adecuado, un comportamiento más seguro y confiable de las estructuras sometidas a terremotos.

Los sistemas más utilizados en la actualidad para controlar la respuesta sísmica de las estructuras se basan en mecanismos de aislamiento sísmico y disipación de energía. En general, estos sistemas tienen como objetivos principales, los de mantener la funcionalidad de la estructura, mejorar el confort de los ocupantes del edificio en caso de sismos, y proporcionar protección sísmica adicional en la ocurrencia de eventos severos. (Genatios & Lafuente, 2016)

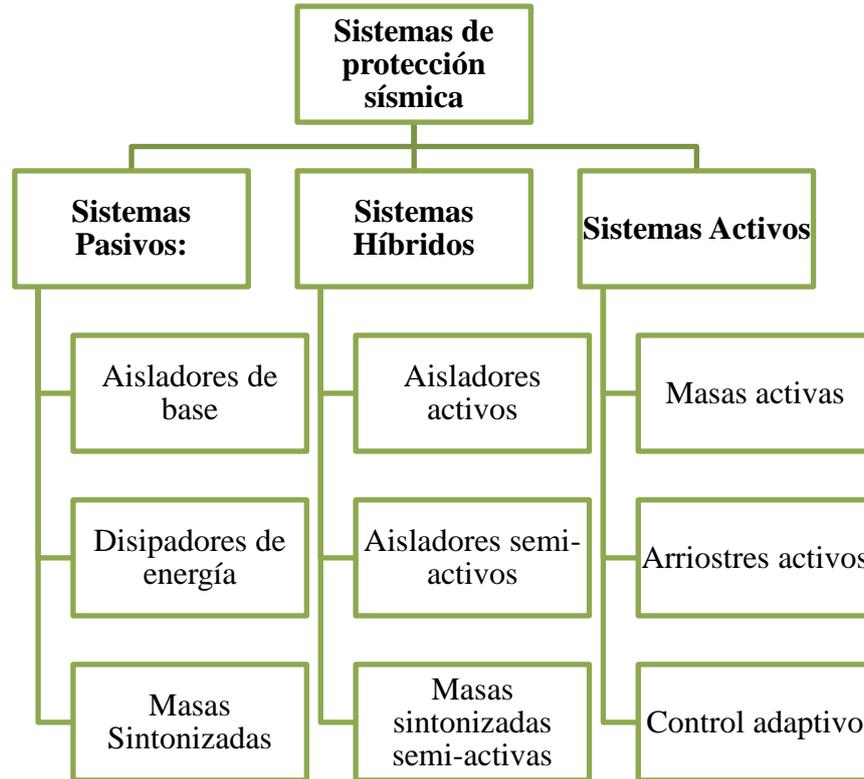


Figura 9: Sistemas de protección sísmica.

Los aisladores sísmicos, los disipadores de energía, y en general, los sistemas de control pasivo de respuesta, pueden ser utilizados con la finalidad de alcanzar diversos objetivos de desempeño considerados en los diseños estructurales. (Genatios & Lafuente, 2016).

1.1.6.10.1 Aislamiento sísmico

Un aislador sísmico es un elemento muy flexible que se coloca entre la estructura y la fundación, a fin de transmitir la menor cantidad de movimiento a la estructura, en el momento de ocurrencia de un terremoto. Los aisladores se incorporan al sistema estructural y cambian sus propiedades dinámicas. Por ser muy flexibles, contribuyen a incrementar el periodo fundamental de vibración del sistema estructural. (Genatios & Lafuente, 2016)

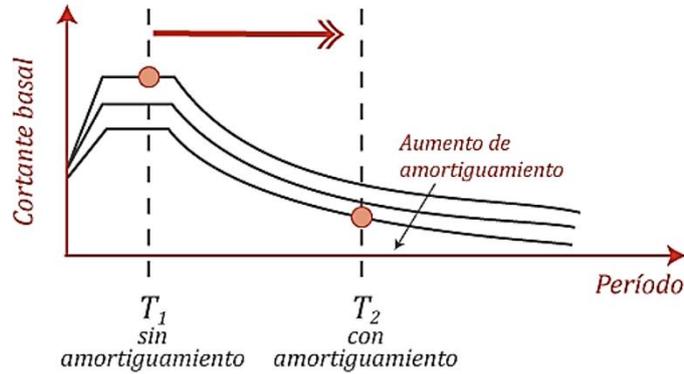


Figura 10: Disminución de la aceleración espectral por incorporación del aislador sísmico. (Genatios & Lafuente, 2016).

En el espectro de frecuencias del sismo (ver Figura 10), a estos altos periodos de vibración, corresponden valores bajos de aceleración, por lo que las fuerzas inducidas por el sismo sobre la estructura disminuyen significativamente. (Genatios & Lafuente, 2016)

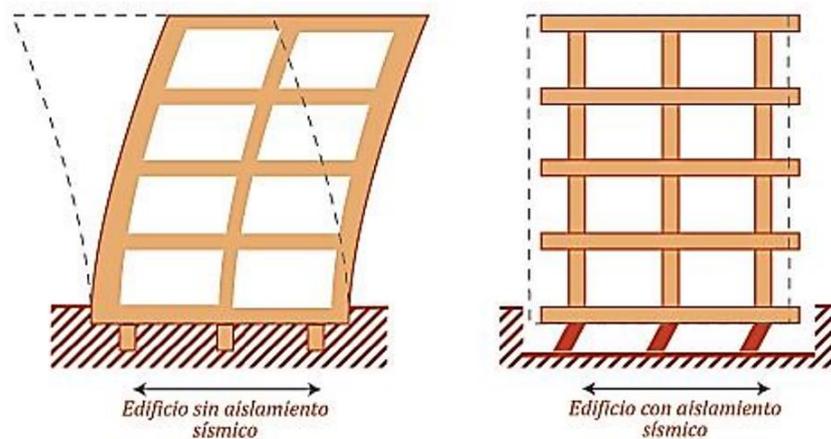


Figura 11: (a) edificación sin aislamiento sísmico y (b) edificación con aislamiento sísmico. (Genatios & Lafuente, 2016)

Al introducir aisladores sísmicos en el diseño estructural se procura que la estructura se comporte como un cuerpo rígido, colocado sobre los aisladores; de esta manera se reducen al mínimo las deformaciones de la estructura y se concentran en el aislador sísmico (ver figura 11b) esto permite que las derivas o desplazamientos relativos de entrepiso, sean mínimos. (Genatios & Lafuente, 2016)

1.1.6.10.2 Disipación de energía

(Genatios & Lafuente, 2016), mencionan que los dispositivos de disipación de energía utilizados en sistemas de control pasivo de estructuras, son, generalmente, dispositivos sencillos que muestran un comportamiento inelástico estable y predecible cuando son sometidos a cargas sísmicas. Estos dispositivos pueden mejorar el comportamiento sismorresistente de la estructura, si han sido contemplados cuidadosamente en el diseño estructural.

Un adecuado diseño sísmico permite que, gracias al comportamiento inelástico de los materiales, la estructura tenga una significativa capacidad de disipar la energía que inyecta el sismo, lo que hace posible que no colapse ante la acción de un sismo severo (Figura 14).

La ecuación de balance de energías para una estructura puede expresarse como lo indica la ecuación 1.3.10.2

$$E_K + E_a + E_h + E_d = E_s \quad (1.3.10.2)$$

Donde

E_K es a energía cinética absoluta.

E_a es la energía disipada por amortiguamiento.

E_h es la energía de deformación elástica (recuperable).

E_d es la energía disipada por efectos de deformación inelástica de los materiales

E_s es la energía introducida por las cargas dinámicas externas.

Esta energía introducida mide el trabajo efectuado por la fuerza de corte en la base de la estructura, por lo que incluye el efecto de las fuerzas inerciales de la estructura.

En un adecuado diseño sísmico usualmente es posible prever las zonas de la estructura donde se ubicará las principales fuentes de disipación de energía inelástica de materiales (E_d). Normalmente se prevé que se formen “rotulas plásticas” en las vigas primero que, en las columnas, y usualmente en zonas de las vigas cercanas a los nodos, de esta manera, con un buen diseño sísmico, se busca controlar los mecanismos de falla de la estructura y evitar el colapso prematuro que pudiera sobrevenir por la ocurrencia de las fallas frágiles y repentinas. Los avances de la ingeniería permiten considerar actualmente la inclusión de dispositivos adicionales de control de la respuesta sísmica, que se añaden a la estructura con el fin de minimizar el daño. Los dispositivos de control de la respuesta, también llamados protección sísmica funcionan de manera de incrementar la capacidad de disipación de energía de las estructuras (término de la izquierda del equilibrio energético de la ecuación (1.3.10.2). Es conveniente resaltar que, con la ocurrencia de deformaciones inelásticas, aumenta el término E_d de la ecuación (1.3.10.2), lo que tiene también el efecto de reducir la rigidez de la estructura, con lo que a su vez varia la energía de entrada, E_s . (Genatios & Lafuente, 2016)

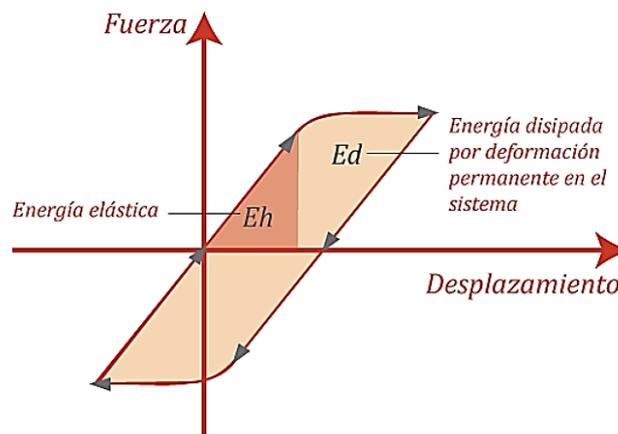


Figura 12: Ciclos de histéresis: Comportamiento lineal y no lineal. (Genatios & Lafuente, 2016)

Con los dispositivos adicionales de protección, se logra incrementar la disipación de energía para que, para una determinada cantidad de energía de entrada, la energía de deformación del sistema estructural original sea menor. Esto significa que la estructura sufrirá menos deformaciones para un nivel dado de energía suministrada cuando se instalan disipadores adicionales, minimizando el daño. (Genatios & Lafuente, 2016)

1.1.6.11. Evaluación del desempeño sísmico

1.1.6.11.1 Niveles de desempeño del ATC-40

Los niveles de desempeño definidos por el ATC-40 (1996), para las estructuras, corresponden a una combinación de los niveles utilizados para los elementos estructurales y los niveles correspondientes a los elementos no estructurales, ambos definidos de forma independiente.

a. Niveles para los elementos estructurales

(Mamani, 2018), menciona que se precisan tres niveles o estados de datos discretos: ocupación inmediata, seguridad y estabilidad estructural. Estos tres niveles pueden ser utilizados directamente para definir criterios técnicos en los procesos de evaluación y rehabilitación de estructuras. Adicionalmente, se establecen dos rangos intermedios: daño controlado y seguridad limitada. Estos rangos intermedios permiten discriminar, de una forma más adecuada y útil, el nivel de desempeño de la estructura. Esto es de gran utilidad en el caso de ser necesaria una evaluación o un reforzamiento de una estructura en particular, estos niveles se identifican por la abreviación, SP-n (SP son las siglas de “Structural

Performance” n es un número que varía entre 1 y 6). A continuación, se describen estos 6 niveles de desempeño.

- ✓ **Ocupación inmediata, SP-1:** Los daños son muy limitados y de tal magnitud, que el sistema resistente de cargas laterales y verticales permanece prácticamente en las mismas condiciones de capacidad y resistencia que antes de ocurrido el sismo. No se presentan pérdidas de vidas humanas y la estructura funciona con normalidad.
- ✓ **Daño controlado, SP-2:** Corresponde a un estado de daño que varía entre los límites de ocupación inmediata y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que éstos pueden verse afectados.
- ✓ **Seguridad, SP-3:** Los daños después del sismo no agotan por completo los márgenes de seguridad existentes frente a un posible colapso parcial o total de la estructura. Pueden producirse algunos heridos tanto en el interior como en el exterior, sin embargo, el riesgo de la vida de los ocupantes debido a un fallo de los elementos estructurales es muy bajo.
- ✓ **Seguridad limitada, SP-4:** Corresponde a un estado de daño entre los niveles de seguridad y estabilidad estructural, en el que algunas partes de la estructura pueden requerir un reforzamiento para poder garantizar el nivel de seguridad.
- ✓ **Prevención del colapso, SP-5:** Este nivel corresponde al estado de daño límite después de ocurrido un sismo en el cual el sistema estructural está muy cerca de experimentar un colapso parcial o total, se producen daños sustanciales, pérdida de rigidez y resistencia en los elementos estructurales. A pesar de que el sistema de cargas verticales continúa funcionando, hay un alto riesgo de que se produzca el colapso por causas de posibles réplicas. Es

muy probable que los daños en las estructuras más antiguas sean técnicamente y económicamente irreparables.

- ✓ **No considerado, SP-6:** Este no es un nivel de desempeño, pero es útil en algunas ocasiones que requieren evaluar los daños sísmicos no estructurales o realizar un reforzamiento.

b. Niveles para los elementos no estructurales

(Mamani, 2018), manifiesta que se consideran niveles de desempeño correspondientes a estos discretos de daño para los elementos no estructurales: operacional, ocupación inmediata, seguridad y amenaza reducida. Estos niveles se representan con la abreviación NP-n (NP son las siglas de “Nonstructural Performance” y n es una letra que toma valores entre A y E).

- ✓ **Operacional, NP-A:** Los elementos no estructurales, máquinas y sistemas del edificio continúan en su sitio y funcionando con normalidad después del sismo.
- ✓ **Ocupación inmediata, NP-B:** A pesar de que los elementos no estructurales y sistemas permanecen en su sitio, pueden presentarse algunas interrupciones en el funcionamiento de las maquinarias y equipos. Algunos servicios externos pueden no estar disponibles, aunque esto no compromete la ocupación del edificio.
- ✓ **Seguridad, NP-C:** Pueden presentarse daños severos en algunos elementos no estructurales tanto dentro como fuera del edificio, sin que se llegue al colapso, ni se ponga en peligro la seguridad de los ocupantes. Los sistemas, equipos y maquinarias pueden verse seriamente afectados, requiriendo, en algunos casos, ser reparados o, en el peor de los casos reemplazados.

- ✓ **Amenaza reducida, NP-D:** Se presentan daños severos en elementos no estructurales, contenidos y sistemas, pero sin llegar al colapso o al fallo de grandes elementos, como por ejemplo parapetos y muros exteriores de mampostería, entre otros, que pueden ocasionar heridas a grupos de personas.
- ✓ **No considerado, NP-E:** No es un nivel de desempeño y se usa para indicar que no se han evaluado los elementos no estructurales, a menos que tengan un efecto directo sobre la respuesta estructural. Como por ejemplo los muros de mampostería de relleno o las particiones.

Tabla 2:
Niveles de desempeño para edificaciones. (ATC-40, 1996):

NIVELES DE DESEMPEÑO DE LA EDIFICACIÓN						
NIVELES DE DESEMPEÑO NO ESTRUCTURAL	NIVELES DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL					
	SP-1 Ocupación Inmediata	SP-2 Daño Controlado	SP-3 Seguridad de Vida	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Prevención del Colapso	SP-6 No Considerado
NP-A Operacional	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación Inmediata	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad de Vida	1-C	2-C	3-C Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
NP-D Amenaza Reducida	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	5-E Prevención del colapso	No considerado

	Niveles de desempeño Fundamentales para la edificación
	Posibles combinaciones de desempeño de SP-NP
	Combinaciones No recomendables para SP-NP

c. Niveles para las estructuras

Describen los posibles estados de daño para la edificación, estos niveles de desempeño se obtienen de la apropiada combinación de los niveles de desempeño de los componentes estructurales y no estructurales. En la Tabla 1 se muestra las posibles combinaciones donde se han destacado e indicado los 4 niveles de desempeño de edificaciones más comúnmente referenciados; (1-A) operacional, (1-B) ocupación inmediata, (3-C) seguridad de vida y (5-E) prevención del colapso, así como otros niveles de desempeño posibles (2-A, 2-B, etc.). La designación NR corresponde a niveles de desempeño no recomendables en el sentido que no deben ser considerados en la evaluación.

- ✓ **Operacional, 1-A:** Los daños estructurales son limitados y los daños en los sistemas y elementos no estructurales no impiden que la estructura continúe funcionando con normalidad después del sismo. Adicionalmente, las reparaciones que son necesarias no impiden la ocupación del edificio, por lo cual este nivel *se asocia a un estado de funcionalidad*.
- ✓ **Ocupación inmediata, 1-B:** Corresponde al nivel de desempeño más utilizado para estructuras esenciales, como es el caso por ejemplo de los hospitales. Se espera que los diferentes espacios y sistemas de la estructura pueden seguir siendo utilizados después del sismo, a pesar de que pueden ocurrir algunos daños en los contenidos, *Se mantiene la seguridad de los ocupantes*.
- ✓ **Seguridad de vida, 3-C:** El objetivo de este nivel es lograr un estado de daño que presente una probabilidad extremadamente baja de amenaza a la seguridad de vida, ya sea por daños estructurales o por fallas o volcaduras de los componentes no estructurales del edificio, sin embargo, *los contenidos*

proporcionados por el usuario no están controlados y podrían crear riesgos de caídas o riesgos secundarios, como emisiones de químicos o incendios.

- ✓ **Prevención del colapso, 5-E:** El margen de seguridad del sistema resistente de cargas laterales se encuentra prácticamente al límite y la probabilidad del colapso ante la ocurrencia de posibles réplicas es bastante alta, no obstante, el sistema de cargas verticales continuas garantizando la estabilidad del edificio. Los daños no estructurales no requieren ser evaluados debido al elevado nivel de daños en los elementos estructurales. *No se garantiza la seguridad de los ocupantes ni transeúntes*, por lo que se sugiere desalojar y, en algunos casos, demoler la estructura.

1.1.6.11.2 Movimiento sísmico de diseño del ATC-40.

El ATC-40 (1996) utiliza tres niveles de movimientos sísmicos, para el diseño de estructuras: sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. Las principales características de estos tres sismos se describen a continuación. Las siglas S, D y M hacen referencia respectivamente a Servicio, Diseño y Máximo, mientras que E, conserva la inicial de la palabra inglesa “Earthquake”.

- ✓ **Sismo de servicio, SE:** Corresponde a un movimiento del terreno que tiene una probabilidad del 50% de ser excedido en un periodo de 50 años, o un periodo de retorno de 72 años. Este califica como un sismo frecuente ya que puede ocurrir más de una vez durante la vida de la estructura.
- ✓ **Sismo de diseño, DE:** Representa un movimiento sísmico poco frecuente de intensidad ente moderada y severa, y se entiende que puede ocurrir al menos una vez durante la vida de la estructura. Se define como el movimiento del terreno que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, es

decir, que tiene un periodo de retorno de 475 años. Este sismo como su nombre indica, es el que generalmente establecen los códigos para el diseño de estructuras convencionales.

- ✓ **Sismo máximo, ME:** Corresponde al máximo movimiento del terreno que puede ser esperado en el sitio donde se encuentra localizada la estructura, con una probabilidad del 5% de ser excedido en un periodo de 50 años, es decir con un periodo de retorno de aproximadamente 975 años. Este nivel de movimiento generalmente varía entre 1.25 y 1.50 veces el valor del sismo de diseño y, es utilizado para el diseño de estructuras esenciales.

1.1.6.11.3 Objetivo del diseño por desempeño

El código ATC-40, 1996, permite establecer varios niveles de desempeño para una estructura para diferentes niveles de sismo. Estos objetivos pueden ser asignados a una edificación bajo criterios de funcionalidad, economía, preservación, entre otros. La tabla 3 muestra diferentes combinaciones de desempeño. (ATC-40, 1996), citado por (Tocto, 2018).

Tabla 3:
Niveles de Desempeño para edificaciones. (ATC-40, 1996)

Movimiento Sísmico de Diseño	Niveles de Desempeño del Edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención del Colapso
Sismo de Servicio, SE	✓	NA	NA	NA
Sismo de Diseño, SD	✓	✓	✓	NA
Sismo Máximo, SM	✓	✓	✓	✓

NA: No Aplicable.

1.1.6.11.4 Capacidad Estructural

1.1.6.11.4.1 Análisis estático no lineal pushover

En análisis pushover, es una técnica que utiliza un patrón de cargas laterales, que se incrementa en cada iteración, llevando a la estructura más allá del rango elástico y posteriormente al colapso o hasta una deformación máxima. Durante el procedimiento la edificación incursionará en el rango no lineal y se observará la secuencia de la formación de rotulas plásticas y mecanismos de falla de los elementos estructurales. De esta manera, se obtiene una gráfica de fuerza – desplazamiento, conocida como curva de capacidad estructural o curva pushover, el cual nos indica cómo se comportará el edificio luego de exceder su límite elástico. (Mamani, 2018)

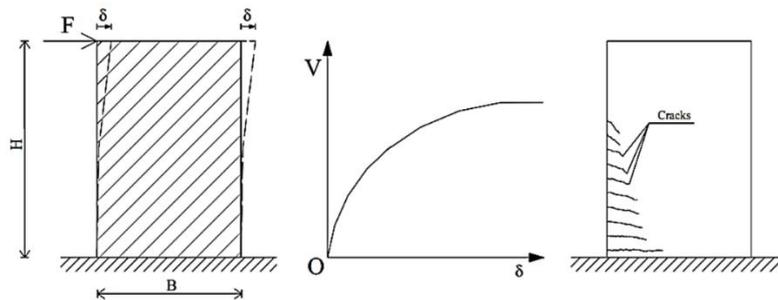


Figura 13: Curva de capacidad típica. (Mamani, 2018)

1.1.6.11.5 Demanda sísmica

La demanda sísmica es medida a partir del movimiento del suelo, durante un sismo se produce complejos patrones de deformación en la estructura, medida por desplazamientos (ATC-40, 1996).

El espectro de respuesta de diseño es un espectro de respuesta suave que especifica el nivel de resistencia sísmica requerida para un diseño. El análisis sísmico requiere que se especifique el espectro de diseño. A partir del conocimiento de las condiciones de sitio es posible establecer parámetros que presenten dichas condiciones para construir, posteriormente, el espectro de demanda correspondiente

a la zona en la que se va a realizar la evaluación estructural. Para el uso del espectro de demanda, este se debe construir, en primera instancia, si ningún tipo de reducción, considerando únicamente un amortiguamiento inherente del sistema en su fase elástica (típicamente del 5%) ver figura 14. Luego se construirá una familia de espectros que, partiendo del primero, ayudarán a encontrar el punto de desempeño de la estructura; esta reducción se puede realizar según distintos criterios usados en la actualidad (ATC-40, 1996), citado por (Mamani, 2018).

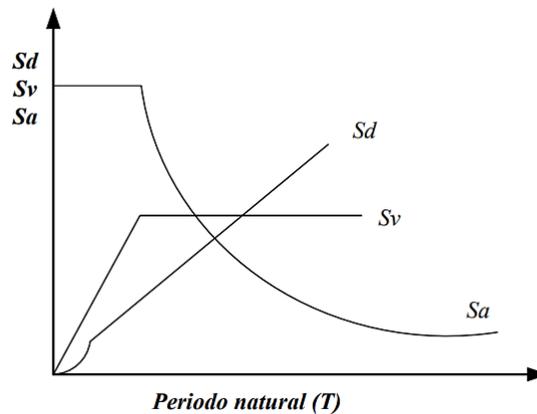


Figura 14: Espectros de respuesta con 5% de amortiguamiento. (Mamani, 2018)

1.1.6.11.6 Punto de desempeño

1.1.6.11.6.1 Método del espectro de Capacidad – Demanda, ATC-40

El punto de desempeño se obtiene de la combinación de las curvas del espectro de capacidad y del espectro de demanda, donde se dé la intercepción de ambas curvas se establece el punto de desempeño. Este concepto se ejemplifica de mejor manera en la Figura 15.

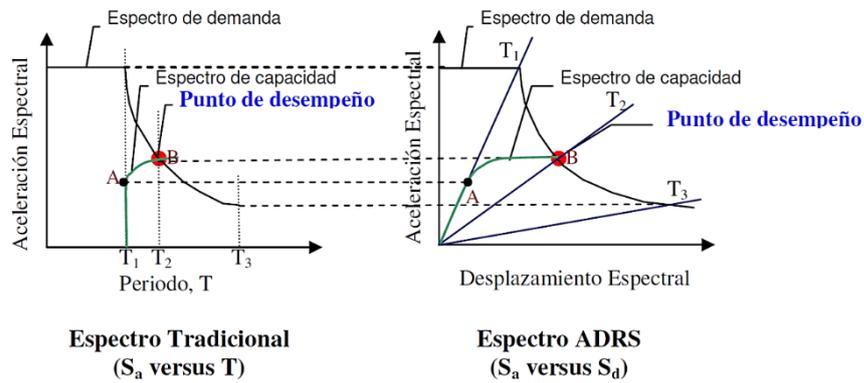


Figura 15: Determinación del punto de desempeño, por método gráfico. (ATC-40, 1996)

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético y un sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético y un sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1: Determinar las características topográficas y las propiedades del suelo de fundación.

OE2: Realizar el diseño arquitectónico de las edificaciones proyectadas.

OE3: Realizar la estructuración y el predimensionamiento de los elementos estructurales de concreto armado.

OE4: Determinar las solicitaciones sísmicas de las edificaciones sin protección sísmica, mediante el análisis modal espectral.

OE5: Realizar el diseño del sistema de disipación de energía histerético y el sistema de aislamiento elastomérico, mediante análisis no lineal Tiempo Historia.

OE6: Realizar el diseño de los elementos de concreto armado de las edificaciones con el sistema de disipación de energía histerético y el sistema de aislamiento elastomérico, según la norma E0.60.

OE7: Determinar el nivel de desempeño sísmico de las edificaciones sin protección sísmica, con el sistema de disipación de energía histerético y con el sistema de aislamiento elastomérico.

1.4. Hipótesis

El análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético y un sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado arrojan que; en las edificaciones de 16 pisos, se alcanza el nivel de ocupación inmediata frente a un sismo máximo, incorporando disipadores de energía histeréticos tipo SLB; mientras que, en las edificaciones entre 4 y 8 pisos, se alcanza el nivel de operacional frente a un sismo máximo, incorporando un sistema de aislamiento elastomérico tipo LRB.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Por el propósito:

La presente investigación es aplicada, porque tiene como objetivo principal la búsqueda y consolidación del saber, así como la aplicación de los conocimientos científicos previamente logrados, para la producción de tecnología al servicio de la sociedad (Pimienta Prieto et al., 2018).

2.1.2. Por su diseño de investigación:

La investigación es del tipo de diseño no experimental, porque son estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos (Hernández Sampieri, 2017). Así mismo, el diseño de la investigación es del tipo transversal porque (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) menciona que: “ Los diseños transversales son investigaciones que recopilan datos en un momento único”.

2.1.3. Según el nivel o alcance de investigación:

La investigación según el nivel o alcance es del tipo descriptiva, porque busca especificar las propiedades, características y perfiles de fenómenos que se someten a un análisis, con el fin de establecer su comportamiento. (Gallardo Echenique, 2017)



Figura 16: Diseño de la investigación.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Es el conjunto compuesto por la totalidad de los elementos, individuos o factores que forman parte de nuestro objeto de estudio, en un lugar y tiempo determinado, que poseen cualidades similares y observables (Pimienta Prieto et al.,2018).

Sistema de disipación de energía histerético y aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo 2022.

2.2.2. Muestra

Es una parte del total de la población, cuyas características resulten similares y por tanto representativas de la totalidad. Cabe mencionar que, cuando la población de nuestro estudio es demasiado grande, es importante realizar una muestra (Pimienta Prieto et al.,2018).

Sistema de disipación de energía histerético y aislamiento elastomérico en 3 edificación de concreto armado, en El Milagro, Trujillo.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnica de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación. (Hernández Mendoza & Duana Avila, 2020)

Las técnicas de recolección de datos de la presente investigación se basan en Observación de las normativas técnicas como el reglamento nacional de edificaciones, como son, los criterios y exigencias de la NTP E0.50 (Suelos

y Cimentaciones) para el correcto tratamiento de los datos del sitio y suelo de fundación. Para el diseño arquitectónico se realiza un estudio topográfico de la ubicación de la edificación a proyectar, mediante un levantamiento planimétrico y altimétrico, se obtuvieron los primeros datos geométricos para poder continuar con el diseño arquitectónico de las edificaciones proyectadas, para lo cual se realiza una revisión de las normativas de Arquitectura del reglamento nacional de edificaciones, para poder realizar un diseño bajo los requerimientos necesarios, con lo cual se logra una correcta distribución de ambientes, áreas, integración social, etc.

Para la recolección de datos respecto a las propiedades del suelo, se recopila información de la microzonificación geotécnica del C.C.P.P. El Milagro; puesto que la presenta investigación se realizó dentro del periodo de emergencia sanitaria por la COVID-19, y los laboratorios de la Universidad Privada del Norte, no estaban en funcionamiento.

Ahora bien, para la recolección de datos necesarios para el modelado, análisis estructural y el desempeño sísmico de la edificación con ambos sistemas de protección sísmica, se realiza la técnica de análisis documental, de las normativas peruanas como la E0.30, E0.31, E0.60 del reglamento nacional de edificaciones y de las normativas internacionales como ATC-40 y ASCE 7_16 (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles).

2.3.2. Instrumento de recolección de datos

Todo instrumento utilizado en la recolección de datos en una investigación científica debe ser confiable, objetivo y que tenga validez, si alguno de estos elementos no se cumple el instrumento no será útil y los

resultados obtenidos no serán legítimos. (Hernández Mendoza & Duana Avila, 2020)

El instrumento de recolección de datos que se usarán en esta investigación son guías de observación de datos las cuales nos servirán como sustento de cada dato o información que se ingresará a la investigación para la correcta obtención de los resultados; estas fichas de recolección de datos están divididas de la siguiente manera: Datos topográficos, datos del estudio de mecánica de suelos, datos arquitectónicos, datos de diseño en concreto armado, datos sísmicos normativos, datos de disipadores de energía SLB, datos de aisladores elastoméricos LRB.

2.4. Aspectos éticos

En cuanto a los aspectos éticos de investigación se consideró lo siguiente:

- En el desarrollo de la investigación no se manipularán los datos una vez recolectados.
- Se protegerá la identidad de los informantes.
- Se respetarán y citarán todas las ideas tomadas de los diferentes autores utilizando para ello la normativa de citación de las Normas APA 7 edición.

2.5. Procedimientos

La figura 17, muestra el diagrama del procedimiento que se realizó para el desarrollo de la presente investigación. Primero se realizó el estudio topográfico del terreno donde se proyectaron las 3 edificaciones, mediante un levantamiento topográfico para determinar las propiedades geométricas del terreno; Luego se procedió a recopilar información de la microzonificación geotécnica del C.C.P.P. El Milagro, para poder determinar las propiedades del suelo de fundación; con esta información se procedió a realizar el anteproyecto arquitectónico de las 3

edificaciones; cada una con un uso distinto, Centro comercial de 4 pisos, Oficinas de 8 pisos y Viviendas de 16 pisos, luego se realizó la estructuración y predimensionamiento de los elementos estructurales de cada edificación, posteriormente se realizó el análisis modal espectral de las estructuras sin protección sísmica para obtener las solicitaciones de cada una, después se pre dimensionó el sistema de aislamiento elastomérico LRB basándose en los criterios de la N.T.P. E.031, el cual se verificó con un análisis modal espectral, del mismo modo y de manera simultánea se construyó el modelo base de los disipadores de energía histeréticos SLB; para luego realizar el diseño iterativo de los dispositivos SLB mediante un análisis modal espectral, usando los criterios del capítulo 18 del código ASCE 7-16, seguidamente se realizó un análisis no lineal tiempo historia para determinar la respuesta de la estructura en el tiempo y realizar el diseño definitivo del sistema de aislamiento elastomérico y del sistema de disipación de energía histerético, luego se realizó el diseño de los elementos de concreto armado según la N.T.E. E0.60; para posteriormente, empleando el análisis no lineal estático denominado PUSHOVER, conseguir la capacidad de la estructura, y con la obtención de la demanda sísmica, se llegó a determinar el punto de desempeño de las edificaciones , para finalmente realizar el análisis comparativo de los resultados.

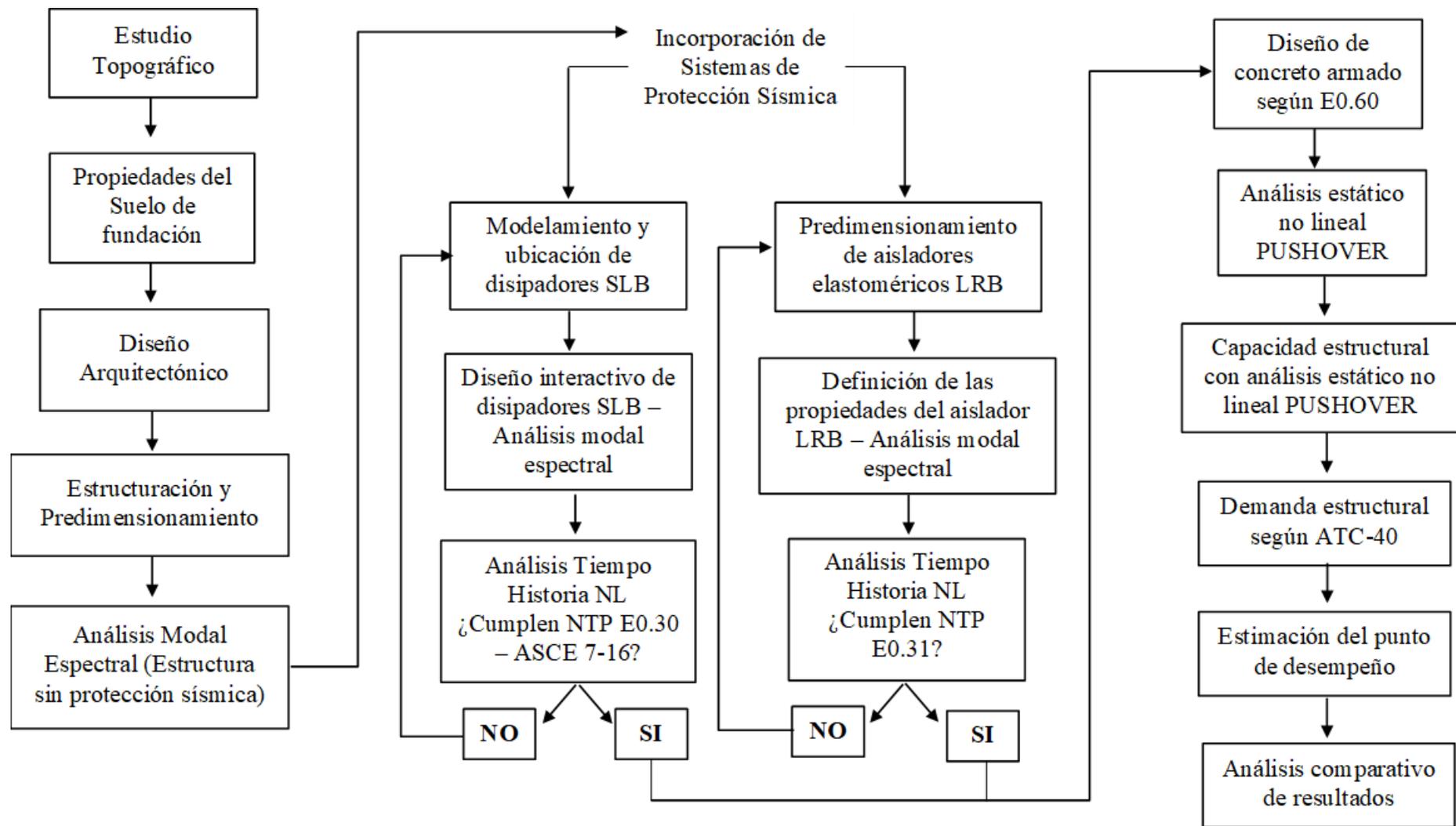


Figura 17: Esquema de procedimientos de la investigación.

2.5.1. Estudio topográfico

Mediante un levantamiento topográfico del terreno donde se proyectará las edificaciones; el cual se realizará con una estación total con precisión de 2", prisma y portaprisma de 2.50m, GPS navegador, cinta métrica, etc. para la obtención de coordenadas de los vértices, calles aledañas, líneas de electricidad, límites de lotes de terceros colindantes con el terreno antes mencionado.

Con la información recolectada se realiza la búsqueda catastral de la ubicación del terreno, plano perimétrico donde se presentan las medidas del terreno, ángulos internos y área total; luego se crea la superficie del terreno natural la cual se representa con las curvas de nivel para posteriormente poder elaborar el perfil del terreno y obtener las pendientes del mismo.

2.5.2. Microzonificación geotécnica

Para la determinación de las propiedades del suelo de fundación de las 3 edificaciones, se recurrió a los estudios realizados por el Dr. Enrique Luján, quién, en su tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias e Ingeniería, realiza la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo, el cual consistió en realizar un estudio de mecánica de suelos, en los cuales se contemplaron las pruebas de campo como calicatas, sondajes SPT y DPL; para posteriormente con los ensayos de laboratorio poder obtener las propiedades mecánicas de los suelos.

Con la información recopilada de dicha investigación, se determina el Tipo de suelo sobre el cual se proyectan las 3 edificaciones, a través de un cuadro resumen el cual presenta los parámetros que considera la NTE E0.30, para la clasificación de los perfiles de suelo; como se mencionaron en 1.1.1.1., del capítulo de bases teóricas.

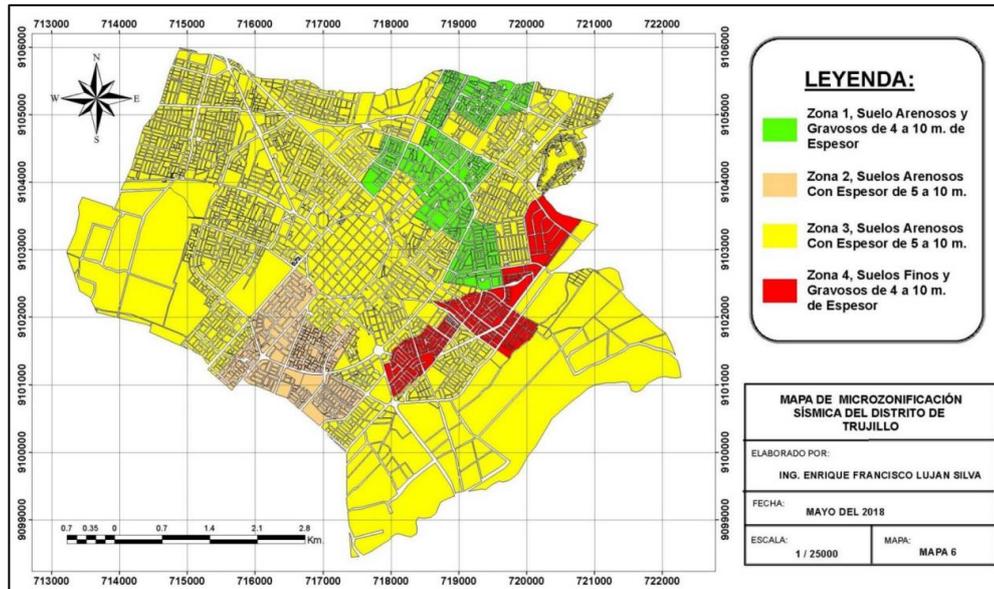


Figura 18: Mapa de Microzonificación Sísmica, (E. Luján, 2019)

2.5.3. Diseño arquitectónico

2.5.3.1. Requisitos normativos A.070 – Comercio

En el artículo 3: Alcance: Tipo = Locales comerciales agrupados /
Clasificación = Galería Comercial.

Artículo 7: Confort en los ambientes: 7.4 y el área mínima de los vanos debe ser superior al 10 % del ambiente que ventila.

Artículo 8: Para el cálculo de ocupantes en galería comercial es 2.00 m² por persona.

Artículo 9: La altura mínima de ambientes: 3.00m desde NTP hasta el cielo raso y 2.10 desde NTP hasta fondo de vigas.

Artículo 11: Vanos: a) Altura mínima = 2.10m, b) anchos mínimos = 1.00m (Principal), 0.90 (interiores), 0.80(SSHH), 0.90 (SSHH discapacitados).

Artículo 12: Pasajes de circulación: Consumo cotidiano = 0.90m, pasajes secundarios = 2.40m, pasajes principales = 3.00m.

Artículo 14: Organización y áreas mínimas de ambientes: centros comerciales =6.00m², frente =2.40m.

Artículo 15: Escaleras: Pasamano adicional =0.45 – 0.6m.NTP / Paso mínimo =0.28m / Contrapaso máximo =0.18m / Número de escaleras =2.

Artículo 16: Servicios Higiénicos: de 76 – 200 empleados = Hombres (3L, 3U, 3I), Mujeres (3L, 3I) / público entre 51 a 200 personas, + 400 personas = Hombres (2L, 2U, 2I), Mujeres (2L, 2I).

Artículo 17: Estacionamientos: Galería Comercial = 1 est c/25 personal administrativo y lest. c/20 pers. público.

2.5.3.2. Requisitos Normativos A.080 – Oficinas

Artículo 5: Área mínima de vanos para ventilación > 10% del área de los ambientes.

Artículo 6: Aforo = 9.5m² por persona

Artículo 7: La altura mínima de Ambientes es 2.4m desde NTP hasta cielo raso.

Artículo 10: Vanos: a) Altura mínima = 2.10m, b) anchos mínimos = 1.0m (Principal), 0.90m (interiores), 0.80m (SSHH).

2.5.3.3. Requisitos Normativos A.020 – Vivienda

Artículo 3: Clasificación de la vivienda

Artículo 5: Densidad habitacional = 3 dormitorios – 5 habitantes

Artículo 8: Área mín. techada = 40m²

Artículo 10: Ancho mínimo de escaleras = 0.90m

Artículo 12: Ancho mínimo de acceso = Unifamiliar = 0.90 / Multifamiliar = 1.0m

Artículo 15: Densidad mínima de estacionamiento = 1 por c/3 und. de vivienda.

Artículo 19: El alfeizar mínimo es de 0.90m.

Artículo 20: Ancho mínimo de tabique es 7cm.

Artículo 23: Altura mínima de parapeto es de 1.10m.

2.5.4. Estructuración y predimensionamiento

2.5.4.1. Materiales de los elementos estructurales

2.5.4.1.1. Propiedades estructurales de los materiales

Concreto: La norma E0.60 concreto armado del reglamento nacional de edificaciones, en el capítulo 21, Disposiciones especiales para el diseño sísmico, menciona que la resistencia mínima del concreto, $f'c$, no debe ser inferior a 21 MPa o su equivalente de 210 kg/cm². Además, en el capítulo 8, la norma menciona que para concretos de peso específico ($\gamma_c=2300$ kg/m³), el módulo de elasticidad, E_c , puede tomarse como:

$$E_c = 1500 * \sqrt{f'c} \quad (\text{en kg/cm}^2)$$

Acero: La norma E0.60 concreto armado del reglamento nacional de edificaciones, en el capítulo 21, Disposiciones especiales para el diseño sísmico, menciona que el refuerzo de acero longitudinal y transversal en todos los elementos con responsabilidad sísmica será corrugado y deberá cumplir con la ASTM A706M. Sin embargo, la norma permite el empleo de acero de fuerza ASTM A615M, grados 280 y 420, siempre y cuando se cumpla que:

(a) La resistencia real a la fluencia (obtenida en ensayos de laboratorio) no sea mayor que el esfuerzo de fluencia especificado f_y , en más de 125 MPa.

(b) La relación entre la resistencia de tracción (f_u) y el esfuerzo de fluencia (f_y), medida en el laboratorio, no sea menor de 1,25.

Referente al módulo de elasticidad del acero, la norma en el capítulo 8, menciona que el módulo de elasticidad del acero, E_s , puede tomarse como 200 000 MPa.

2.5.4.2. Estructuración

De acuerdo a la arquitectura de la edificación tanto en planta como en altura, se empieza por definir la ubicación de las columnas; empezando por colocarlas en todo el perímetro de la edificación, posteriormente trazar ejes en los centroides de las columnas y colocar columnas interiores tratando de distribuir las de manera simétrica; como segundo paso, se determina la forma que estas columnas deben tener, de acuerdo a las dimensiones de la planta de la edificación, pensando en columnas rectangulares, si la edificación tiene un lado $b > a$ como se muestra en la figura, se tiene que dimensionar la mayor medida de la columna, paralela al eje con menor dimensión en planta de la edificación.

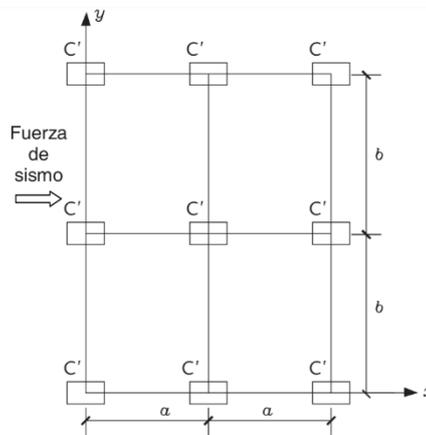


Figura 19: Estructuración inicial de una edificación de concreto armado

2.5.4.3. Predimensionamiento de Losa aligerada

Las losas aligeradas se comportan de forma flexible cuando se somete a cargas verticales y como diafragma rígido cuando se somete a cargas por sismo.

La dirección de losa se considera paralelo al lado más corto.

El peralte de las losas aligeradas incluye el espesor del ladrillo y el espesor de la losa superior de 5cm. Tener en cuenta que el espesor de ladrillo comercial es 12cm, 15cm, 20cm, 25cm.

$$H_{losa} = \frac{Lm}{25} \quad (2.6.4.1)$$

Donde:

H_{losa} = Peralte de losa aligerada

Lm = Longitud de lado menor

2.5.4.4. Predimensionamiento de Vigas

Las secciones de las vigas cuentan con 2 dimensiones siempre y cuando sean rectangulares, además dichas dimensiones aumentan a razón de 5cm.

$$H = \frac{Ln}{12} \quad (2.6.4.a)$$

Donde:

H = Peralte de la viga

Ln = Luz libre

Para dimensionar el ancho de la sección de la viga, se puede considerar

$$b = \frac{H}{2} \quad (2.6.4.2.b)$$

Donde:

b = Ancho de la viga

H = Peralte de la viga

Teniendo en cuenta que el ancho mínimo es de 25cm, para evitar el congestionamiento del acero de refuerzo y la generación de cangrejas en el elemento estructural.

2.5.4.5. Predimensionamiento de Columnas

Estos elementos estructurales soportan cargas axiales y momentos flectores simultáneamente, por este motivo se puede dimensionar las columnas con los siguientes criterios.

Columnas centradas:

$$\text{Área de columna} = \frac{P(\text{servicio})}{0.45 * f'c} \quad (2.6.4.3.a)$$

Columnas Excéntricas y esquinadas:

$$\text{Área de columna} = \frac{P(\text{servicio})}{0.35 * f'c} \quad (2.6.4.3.b)$$

Siendo:

$$\text{Peso (servicio)} = P * A * N \quad (2.6.4.3.c)$$

Donde:

A = Área Tributaria

N = Número de pisos

P = 1000 kg/m² para edificios categoría C

P = 1250 kg/m² para edificios categoría B

P = 1500 kg/m² para edificios categoría A

2.5.5. Análisis modal espectral

2.5.5.1. Modos de vibración

En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero se toma en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

2.5.5.2. Estimación del peso

El peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera:

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se toma el 50% de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se toma el 25% de la carga viva.
- c. En depósitos, se toma el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

2.5.5.3. Aceleración espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo-aceleración definido por:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g$$

(2.6.5.3.a)

- a. **Zonificación (Z):** De acuerdo a la zona donde se proyectará la edificación se determina el valor "Z" como porcentaje de la gravedad.

Tabla 4:

Factores de zona "Z". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

- b. **Categoría y Factor de uso (U):** El factor de uso, define en la Tabla 5.

Tabla 5:
Categoría de las edificaciones y factor "U". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A	A1: Establecimientos de salud 2° y 3° nivel	
Edificaciones Esenciales	A2: Establecimientos de salud no comprendidos en A1. Puertos, Aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones Estaciones de bomberos, cuarteles de fuerzas armadas y policía. Instituciones educativas, institutos y universidades.	1,5
B	Cine, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, museos y bibliotecas	1,3
C	Viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales	1,0

c. Perfiles de suelo:

- i. Perfil Tipo S₀: Roca Dura
- ii. Perfil Tipo S₁: Roca o suelos muy rígidos
- iii. Perfil Tipo S₂: Suelos intermedios
- iv. Perfil Tipo S₃: Suelos blandos

d. Parámetros de Sitio (S, T_P, T_L):

Tabla 6:
Factores de suelo "S". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)

FACTOR DE SUELO "S"					
ZONA	SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
	Z4		0.80	1.00	1.05
Z3		0.80	1.00	1.15	1.20
Z2		0.80	1.00	1.20	1.40
Z1		0.80	1.00	1.60	2.00

Tabla 7:
Periodos " T_p " y " T_L ". Adaptado de E0.30 (R.N.E.)

PERÍODOS " T_p " Y " T_L "				
	Perfiles de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T_p (s)	0.30	0.40	0.60	1.00
T_L (s)	3.00	2.50	2.00	1.60

e. Factor de amplificación sísmica (C):

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5 \quad (2.6.5.3.e.1)$$

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right) \quad (2.6.5.3.e.2)$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right) \quad (2.6.5.3.e.2)$$

T es el periodo de acuerdo a la siguiente expresión:

$$T = \frac{hn}{c_T} \quad (2.6.5.3.e.4)$$

Donde:

CT = 35 a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte

CT = 45 a) Pórticos de concreto armado con muros en ascensores y escaleras.

CT = 60 a) Edificios de concreto armado duales, de muros estructurales

f. Coeficiente de Reducción sísmica:

i. Coeficiente básico de reducción sísmica R_0 :

Tabla 8:
Sistemas estructurales. Adaptado de E0.60 (R.N.E.)

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema estructural	Coefficiente Básico de Reducción (R_0)
Concreto armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6

Pórticos: Por lo menos el 80% del cortante de la base actúa sobre las columnas.

Dual: Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos 25% del cortante en la base y los muros estructurales serán diseñados para las fuerzas obtenidas del análisis.

Dual Tipo I: Cuando la fuerza cortante en los muros sea mayor o igual al 60% del cortante total o menor o igual al 80%.

Dual Tipo II: Cuando la fuerza cortante en los muros sea menor al 60% del cortante total.

Muros Estructurales: Sistema en el que la resistencia está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 80% del cortante en la base.

ii. Factor de Irregularidad (I_a , I_p):

Tabla 9:
Irregularidad estructural en altura. Adaptado de E0.30 (R.N.E.)

IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA	Factor de Irregularidad I_a
Irregularidad de Rigidez - Piso Blando	0.75
Irregularidad de Resistencia - Piso Débil	
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50
Irregularidad Extrema de Resistencia	
Irregularidad de Masa o Peso	0.90
Irregularidad Geométrica vertical	0.90
Discontinuidad en los sistemas resistentes	0.80
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	0.60

Tabla 10:
Irregularidad estructural en planta. Adaptado de E0.30 (R.N.E.)

IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA	Factor de Irregularidad I_p
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.60
Esquinas entrantes	0.90
Discontinuidad del diafragma	0.85
Sistemas no paralelos	0.90

iii. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmica (R):

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p \quad (2.6.5.3.f)$$

2.5.5.4.Excentricidad accidental

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel, se considera como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis:

$$e_x = 0.05 \cdot L_x \quad (2.6.5.4.a)$$

$$e_y = 0.05 \cdot L_y \quad (2.6.5.4.b)$$

2.5.5.5.Distorsiones de entrepiso

Según la norma E0.30 diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas. Además, la norma menciona que la relación entre el máximo desplazamiento relativo de entrepiso y la altura de entrepiso (distorsión), no debe exceder el valor de 0.007 para estructuras de concreto armado.

Por otro lado, la norma E0.31 aislamiento sísmico del reglamento nacional de edificaciones, en su artículo 23, menciona que la máxima distorsión de entrepiso en la estructura por encima del nivel de base aislada, no debe exceder de 0.0035.

2.5.5.6.Fuerza cortante en la base

Según la norma E0.30 diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones, en el capítulo 34 referente a la redundancia estructural, cuando sobre un solo elemento de la estructura, muros o pórticos, actúa una fuerza mayor o igual al 30% del total de la fuerza cortante en cualquier entrepiso, este elemento se diseña para el 125% de la fuerza cortante que actúa sobre él.

2.5.6. Sistema de disipación de energía histerético con disipadores SLB

2.5.6.1.Construcción del modelo base de disipadores SLB

Los elementos NLINK para la modelización inicial de los disipadores SLB es más conveniente que el uso de los elementos Frame dado que la estructura estaría preparada para una verificación posterior con un análisis Tiempo Historia. (Bozzo, 2019)

Con la ayuda del software ETABS, se define un parámetro fundamental denominado “punto de deformación por corte” o “punto de momento nulo”, el cual representa la distancia al punto donde el momento como consecuencia del cortante en el “link” es cero, medido desde el punto “j”. Dicho punto representa físicamente en los disipadores SLB, la conexión almenada, por lo tanto, dicha distancia es 0mm o 155mm, según se inserte la conexión. (Bozzo, 2019)

En el caso de usar una conexión de los dispositivos a la estructura a través de muros desacoplados, los disipadores SLB se modelan como link con propiedades en el eje local 2 y su punto de inserción o “punto i” del NLINK es el extremo superior del muro y el punto “j” es la base de la viga (donde se coloca la conexión almenada). La distancia del nudo “j” al punto de momento nulo sería, por tanto, cero.

2.5.6.2. Diseño interactivo de los disipadores SLB

2.5.6.2.1. Importación de los dispositivos SLB estándares en el modelo ETABS

Se busca fijar el valor de la fuerza de corte en el disipador y, por lo tanto, la iteración consiste en reducir el tamaño del disipador en el modelo numérico (y no en la realidad) con el fin de lograr calibrar tal fuerza de corte transferida.

2.5.6.2.2. Procedimiento iterativo directo de diseño

Este procedimiento se realiza con el análisis dinámico modal espectral, tomando en cuenta las consideraciones de la NTP. E0.30, NTE0.31 y ASCE 7-16, como se han expuesto en los procedimientos antes presentados. Con este análisis dinámico se realizan los pasos mencionados a continuación, para finalmente controlar las distorsiones de entrepiso bajo las normativas mencionadas.

- a. **Primer paso:** Para iniciar el diseño de los disipadores, se asigna un disipador inicial a todos los elementos links definidos previamente en el modelo estructural. Asignadas las propiedades de los disipadores a los links se hace el primer análisis del modelo.
- b. **Segundo paso:** Al finalizar el análisis anterior se debe exportar dos tablas del modelo ETABS a Excel, que contengan los resultados de Load Comnitions>Envolvente. Para lo cual en Load Patterns y Load Cases se elige None.
- c. **Tercer paso:** En el explorador del modelo se selecciona las tablas “Link assignmets – Summary” y “Link Forces”. En ambas tablas mediante clic derecho en el explorador, se selecciona la opción “Show Table”. Para filtrar la tabla “Link Forces”, se hace clic derecho en Location y se elige solamente la opción J-End. De esta forma se tiene la fuerza máxima y mínima de la Envolvente para las fuerzas del link. Una vez se tengan las tablas filtradas, se exportan ambas a Excel.

- d. Cuarto paso:** Una vez que se tenga las tablas exportadas a Excel, se procede a seleccionar de la tabla de dispositivos simples el que más se acerque por debajo del valor de F_y . La relación “D/C” o “Demanda/Capacidad” se define como el cortante solicitante según resultados ETABS en esta iteración con el F_y del dispositivo seleccionado. Si no hubiera dispositivos simples con suficiente capacidad se procedería a emplear dispositivos dobles o triples o, alternativamente, cambiar el acero base a grado 50. Normalmente, por costo y rigidez, se prefiere usar dispositivos dobles o incluso triples a aumentar el grado del acero.
- e. Quinto paso:** Se realiza el análisis del modelo y se vuelve a exportar las tablas “Link assignmets –Summary” y “Link Forces”. Para este caso, la tabla de fuerzas se adiciona en la pestaña “iteración”. Al copiar la tabla en el archivo de Excel en la. Si la relación demanda capacidad es mayor a 1.5, indica que es necesario hacer una nueva iteración y mostrará el disipador a utilizar.
- f.** El siguiente paso es asignar los disipadores mostrados al modelo. En el archivo de Excel los datos que ahora se encuentran en la pestaña de iteración se copian a la pestaña inicio. Luego se ejecuta el análisis y la tabla de Link Forces se copia en la pestaña iteración, así como la tabla Link assignmets – Summary en la pestaña propiedades ETABS.
- g.** Se repite el mismo proceso anterior hasta que cumplan todos los disipadores.

2.5.7. Sistema de aislamiento elastomérico con aisladores LRB

2.5.7.1. Predimensionamiento de aisladores elastoméricos LRB

De acuerdo a la metodología presentada por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 7-16), específicamente el capítulo 17 denominado

“Requerimientos de Diseño para Estructuras sísmicamente aisladas”, se debe seguir el siguiente procedimiento:

2.5.7.1.1. Determinación de las características del sistema de aislamiento.

- a. Para el dimensionamiento de los aisladores se considera el Sismo Máximo (MCE).

$$MCE = 1.5 * DBE \quad (2.6.9.1.a)$$

Donde:

DBE: Sismo de Diseño (DBE)

- b. Establecer un periodo objetivo de la estructura aislada (TM).

$$T_M = (2.5seg. \text{ ó } 3.0seg.). T_{EMP} \quad (2.6.9.1.b)$$

Donde:

TE: Periodo de la estructura fija a la base.

- c. Calcular el desplazamiento máximo lateral (DM).

$$D_M = \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_M}{4 \cdot \pi^2 \cdot B_M} \quad (2.6.9.1.c)$$

Donde:

g: Aceleración de la gravedad

S_{M1}: Aceleración espectral máxima para un periodo de 1 segundo.

Z_{MCE}: Aceleración del suelo para el sismo máximo probable, se toma como 1.5 veces el factor de zona del sismo de diseño.

U: Factor de uso de la edificación. Para la edificación esencial se toma 1.

C: Factor de amplificación sísmica estipulado en la norma E0.60.

S: Factor de suelo.

- d. Asumir un amortiguamiento efectivo inicial B_M de 15% y de acuerdo a ello determinar el coeficiente B_M del sistema de aislamiento mediante la Tabla 11.

Tabla 11:
Coeficiente numérico asociado al amortiguamiento. (ASCE 7-16, 2016)

Amortiguamiento Efectivo (% del crítico)	Coeficiente B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

e. Calcular el desplazamiento máximo (DTM).

$$D_{TM} = DM \cdot \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \cdot \frac{12 \cdot e}{b^2 + d^2} \right] \quad (2.6.9.1.e)$$

Donde:

P_T : Razón entre los periodos efectivos traslacional y rotacional del sistema de aislamiento.

y : distancia el centro de rigidez del sistema de aislamiento y el elemento de interés, medido perpendicularmente a la dirección del sismo considerado.

b : Dimensión en planta más larga de la estructura.

e : Excentricidad actual en planta más la excentricidad accidental.

f. Calcular el peso sísmico indicado en la norma E0.30, dicho valor se obtiene mediante de acuerdo a lo indicado en la 3.1.4.2. del presente texto.

g. Determinar la rigidez lateral, K , de todo el sistema de aislamiento mediante la ecuación.

$$K = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot W}{T_M^2 \cdot g} \quad (2.6.9.1.g)$$

Donde:

W : Peso sísmico de toda la edificación sin incluir el nivel de aislamiento.

T_M : Periodo efectivo de la estructura aislada.

g : Valor de la gravedad.

2.5.7.1.2. Determinación de las dimensiones de las unidades de aisladores.

- a. Calcular el diámetro del aislador, D_I , se toma el valor más crítico de los siguientes:

$$D_I = 1.5 \cdot D_{TM} \quad (2.6.9.2.a.1)$$

$$D_I = \frac{P_{u_{m\acute{a}x}}}{\sigma_C} \quad (2.6.9.2.a.2)$$

Donde:

σ : Esfuerzo axial permisible del aislador.

- b. Calcular la altura del aislador, H_r , sin incluir las placas superior e inferior se emplea la ecuación.

$$H_r = \frac{D_{TM}}{\gamma_s} \quad (2.6.9.2.b)$$

Donde:

γ_s : Porcentaje de deformación lateral de los aisladores

- c. Calcular el diámetro del núcleo de plomo, D_P , del aislador.

$$D_P = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{1.1 \cdot Q_d}{\sigma_y}} \quad (2.6.9.2.c.1)$$

$$Q_d = 3\%(W) @ 10\%(W) \quad (2.6.9.2.c.2)$$

Donde:

W : Peso sísmico que le llega a cada uno de los aisladores.

σ_y : Se tomará como 10MPa para los aisladores usados en la investigación.

Q_d : Fuerza de histéresis del aislador. Para la presente investigación se tomó el 6%

- d. Asumir un espesor para las capas de caucho y determinar el factor de forma del aislador (S), el cual es recomendable que adopte un valor mayor a 10.

$$S = \frac{D_I^2 \cdot D_L^2}{4 \cdot D_I \cdot t_r} \quad (2.6.9.2.d)$$

Donde:

t_r : Espesor de las capas de caucho del aislador.

D_I : Diámetro del aislador.

D_L : Diámetro del núcleo de plomo.

- e. Asumir un valor, t_s , para el espesor de las capas de metal, las cuales irán de manera intercalada con las capas de caucho. Se debe tomar en cuenta que el esfuerzo en el acero, σ_s , no debe sobrepasar el esfuerzo admisible de $0.75 \cdot \sigma_y$.

$$\sigma_s = 1.5 \cdot \frac{t_r}{t_s} \cdot \sigma_s \leq 0.75 \cdot \sigma_y \quad (2.6.9.2.e)$$

Donde:

σ_c : Esfuerzo a la compresión del caucho.

σ_y : Esfuerzo de fluencia del acero A36 (250MPa).

- f. Determinar el número de capas de caucho dividiendo altura del bloque de caucho entre el espesor de una capa de este.

$$\# \text{capas} = \frac{H_r}{t_r} \quad (2.6.9.2.f)$$

- g. Determinar la altura total del aislador sumando los espesores de las capas intercaladas de acero, t_s , de caucho, t_r , y las placas superior e inferior del aislador.

2.5.7.1.3. Determinación de las propiedades mecánicas de las unidades de aisladores.

- a. Determinar el módulo de compresibilidad de la goma y las placas de acero mediante la siguiente expresión.

$$E_C = \left(\frac{1}{6.G.S^2} + \frac{4}{3.K_C} \right)^{-1} \quad (2.6.9.3.a)$$

Donde:

E_C : Módulo de compresibilidad de la unión acero-goma de caucho.

G : Módulo de cortante del caucho.

K_C : Módulo de elasticidad del caucho. Valor dado por el fabricante.

S : Factor de forma del aislador.

- b. Determinar la rigidez vertical, K_v , mediante la siguiente ecuación.

$$K_v = \frac{E_C.A}{H_r} + \frac{E_P.A_P}{H_r} \quad (2.6.9.3.b)$$

Donde:

E_P : Módulo de compresibilidad del plomo.

A_P : Área del núcleo de plomo.

A : Área en planta de la goma de caucho, es decir el área del aislador sin considerar el área del núcleo de plomo.

- c. Calcular la rigidez post fluencia de los aisladores, K_d .

$$K_d = \frac{\pi.(D_f^2 - D_L^2).G}{4.H_r} \quad (2.6.9.3.c)$$

- d. Rigidez inicial de los aisladores, K_e .

$$K_e = 10.K_d \quad (2.6.9.3.d)$$

- e. Calcular la fuerza de fluencia, F_y .

$$F_y = \frac{Q_d.K_e}{K_e - K_d} \quad (2.6.9.3.e)$$

- f. Calcular la rigidez efectiva de los aisladores, K_{eff} .

$$K_{eff} = K_d + \frac{Q_d}{D_{TM}} \quad (2.6.9.3.f)$$

- g. Calcular el amortiguamiento efectivo, B_{eff} .

$$B_{eff} = \frac{4 \cdot Q_d \cdot \left(D_{TM} - \frac{F_y}{10 \cdot K_d} \right)}{2\pi \cdot K_{eff} \cdot D_{TM}^2} \quad (2.6.9.3.g)$$

2.5.7.1.4. Determinación de los factores de seguridad de las unidades de aislamiento

- a. Determinar la deformación máxima angular de los aisladores (γ).

$$\gamma = \gamma_s \cdot \gamma_c \quad (2.6.9.4.a.1)$$

$$\gamma_s = \frac{D_M}{H_r} \quad (2.6.9.4.a.2)$$

$$\gamma_c = 6 \cdot S \cdot \frac{P_{umax}/A}{E_0 \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S^2)} \quad (2.6.9.4.a.3)$$

Donde:

γ_s : Deformación angular por corte.

γ_c : Deformación angular por compresión.

H_r : Altura total del caucho, se obtiene de la suma de los espesores de las capas.

A : Área del aislador, sin incluir el área del núcleo de plomo.

E_0 : Factor proporcionado por el fabricante.

k : Constante de dureza del material.

S : Factor de forma del aislador.

- b. Determinar la deformación angular máxima aceptable ($\gamma_{m\acute{a}x}$) y verificar que sea mayor que la deformación angular máxima (γ).

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \frac{0.85 \cdot \epsilon_b}{1.5} > \gamma \quad (2.6.9.4.b.1)$$

$$F.S = \frac{\gamma_{m\acute{a}x}}{\gamma} > 1.5 \quad (2.6.9.4.b.2)$$

Donde:

ϵ_b : Deformación de rotura de la goma, se recomienda usar un valor entre 5.5 y 6.0 para el caucho.

F.S: Factor de seguridad de deformación angular.

- c. Determinar la carga crítica que soporte el aislador y verificar que sea mayor que la carga axial actuante, de tal forma que el factor de seguridad entre ambos valores sea mayor que 2.

$$F.S = \frac{P_{crit}}{P_{u_{m\acute{a}x}}} > 2.5 \quad (2.6.9.4.c.1)$$

La carga critica que soporta el aislador se calcula como sigue:

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + 4 \cdot \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \quad (2.6.9.4.c.2)$$

$$P_s = G \cdot A \cdot \frac{H_I}{H_r} \quad (2.6.9.4.c.3)$$

$$P_E = \frac{\pi^2}{3 \cdot H_I^2} \cdot E_C \cdot I \cdot \frac{H_I}{H_r} \quad (2.6.9.4.c.4)$$

Donde:

P_s : Carga relacionada con la rigidez efectiva.

P_E : Carga de pandeo.

I : Momento de inercia del aislador.

H_r : altura efectiva de las láminas de goma del aislador

- d. Verificar el volteo del aislador mediante las siguientes expresiones:

$$F.S = \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_D} > 1.5 \quad (2.6.9.4.d.1)$$

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{P \cdot D_I}{P + K \cdot H_I} \quad (2.6.9.4.d.2)$$

Donde:

P : Carga total que le llega al sistema de aisladores.

K : Es la rigidez del sistema de aislamiento.

H_I : Altura total del aislador.

D_I : Diámetro de los aisladores

- e. A partir de la segunda iteración verificar la rigidez efectiva del sistema de aislamiento mediante la siguiente expresión.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k.g}} \quad (2.6.9.4.e)$$

Donde:

T_M : Periodo objetivo de la estructura.

W : Peso sísmico efectivo de la estructura sobre el nivel de aislamiento.

K : Rigidez efectiva del sistema de aislamiento sísmico.

2.5.7.2. Análisis modal espectral según NTE E0.31

En el procedimiento de análisis dinámico modal espectral, el modelo estructural de la edificación, incluyendo el sistema de aislamiento, debe encontrarse conforme lo dispuesto en la NTE E0.30 y los siguientes requerimientos:

- a. El sistema de aislamiento sísmico se modela usando las características de deformación de los dispositivos LRB.
- b. Los desplazamientos y fuerzas laterales deben ser calculados de forma separada para las propiedades límite superior e inferior del sistema de aislamiento sísmico.
- c. El sistema de aislamiento sísmico se debe modelar de forma detallada.

- d. El desplazamiento total (D_{TM}) en el sistema de aislamiento sísmico, es calculado mediante un modelo matemático que incorpora el sistema resistente a fuerzas laterales y las características fuerza-deformación de los dispositivos no lineales tipo LRB.
- e. Respecto a la estructura aislada, el análisis del sistema de aislamiento y la superestructura, se realizará por separado para las propiedades límite superior e inferior y se usa para el diseño el resultado más crítico para cada parámetro de respuesta de interés.
- f. Para los modos de vibración asociados al aislamiento sísmico, se debe emplear el menor valor entre el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico y el 30% del amortiguamiento crítico.

2.5.8. Análisis Tiempo Historia

En análisis dinámico tiempo – historia puede emplearse como un procedimiento complementario a al análisis modal espectral. En este tipo de análisis se utiliza un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento hysterético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

2.5.8.1. Registros de Aceleración

Según la norma E0.31 del reglamento nacional de edificaciones, nos indica que el análisis se usa como mínimo siete conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno con dos componentes horizontales de aceleración, alejados de eventos individuales y escalados, como se indica a continuación.

Para el escalamiento de los registros se puede realizar mediante el escalamiento de amplitudes o del ajuste de frecuencias hacia espectros definidos; además, para cada par de componentes horizontales, se construye un espectro de pseudoaceleraciones tomando la SRSS de los valores espectrales calculados separadamente para cada componente escalada, con 5% de amortiguamiento crítico; por otro lado si se usara el escalamiento de amplitudes, se debe usar el mismo factor para cada componene.

Para registros espectro-compatibles, cada par de componentes horizontales se deben escalar de modo que el rango de periodos entre $0.2 T_M$, calculado usando el límite superior par las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, y $1.25 T_M$, calculado con el límite inferior, el espectro de respuesta del componente en la dirección de análisis no sea menor que el 90% de la correspondiente ordenada dada por la ecuación 5.

2.5.8.2. Modelo para el Análisis

Según el artículo N° 30.2. de la norma E0.30 del R.N.E., el comportamiento de los elementos es modelado de modo consistente con resultados de ensayos de laboratorio y toma en cuenta la fluencia, la degradación de resistencia, la degradación de rigidez, el estrechamiento de los lazos histeréticos, y todos los aspectos relevantes del comportamiento estructural indicado por los ensayos.

La resistencia de los elementos es obtenida en base a los valores esperados sobre resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.

2.5.8.3. Tratamiento de Resultados

Según la NTP E0.30, en el caso que se utilicen por lo menos siete juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones en los elementos y las distorsiones de entrepiso se evalúan a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos obtenidos en los distintos análisis. Si se utilizaran menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso son evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Según la NTP E0.31, en todos los casos los resultados usados para el diseño de los elementos de la estructura, no serán menores que los obtenidos por el análisis dinámico modal espectral.

2.5.9. Diseño de elementos estructurales

2.5.9.1. Fuerzas de Diseño

De acuerdo a la norma E0.60 del reglamento nacional de edificaciones, la resistencia requerida de los elementos de concreto armado tienen que ser como mínimo:

$$U1 = 1.4CM + 1.7CV \quad (2.6.11.1.a)$$

$$U2 = 1.25(CM + CV) \pm CS \quad (2.6.11.1.b)$$

$$U3 = 0.9CM \pm CS \quad (2.6.11.1.c)$$

Donde:

Wu: Carga última

CM: carga muerta

CV: Carga viva

2.5.9.2. Diseño de elementos a flexión

Toda sección de concreto armado con solicitaciones de flexión como vigas y viguetas de losas aligeradas deben cumplir la siguiente condición de resistencia:

$$\phi Mn \geq Mu \quad (2.6.11.2.a)$$

Dicha relación controla que la resistencia de las secciones de los elementos estructurales, reducida por el valor ϕ , sea mayor o igual a las fuerzas internas actuantes factoradas. Para el diseño por flexión la reducción el valor de $\phi=0.90$.

Cuando el momento de diseño “Mu” es mayor a la capacidad de la sección solo de concreto, se diseña el refuerzo requerido mediante las siguientes expresiones:

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot bw} \quad (2.6.11.2.b)$$

$$As = \frac{Mn}{fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (2.6.11.2.c)$$

Donde:

a: Profundidad del bloque rectangular equivalente

As: Área de acero requerida

f'c: Esfuerzo a la compresión cilíndrica del concreto

bw: Ancho efectivo de la sección

d: peralte efectivo de la sección

Mn: Momento nominal de la sección

Además, el As mínima es el mayor de:

$$As_{mín} = \frac{1.4}{fy} * bw * d \quad (2.6.11.2.d)$$

$$As_{mín} = 0.25 * \frac{\sqrt{f'c}}{fy} * bw * d \quad (2.6.11.2.e)$$

Se debe garantizar una falla dúctil de la sección o una falla controlada por tracción donde la deformación de la barra de acero más alejada desde la fibra superior del bloque de compresiones sea $\epsilon_t \geq 0.005$.

2.5.9.3. Diseño de elementos por fuerza cortante

De acuerdo a la norma E0.60 del reglamento nacional de edificaciones, toda sección de concreto armado con solicitaciones de fuerza cortante como vigas, columnas y viguetas de losas aligeradas deben cumplir la siguiente condición de resistencia:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.6.11.3.a)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.6.11.3.b)$$

Donde:

V_n : Resistencia nominal de la sección.

V_u : Cortante actuante amplificada.

V_c : Resistencia al cortante proporcionada por el concreto.

V_s : Resistencia al cortante que proporciona el acero de refuerzo.

ϕ : Factor de reducción de capacidad para cortante = 0.85

El aporte del concreto a la resistencia al cortante, en una sección se determina de la siguiente manera:

$$V_c = 0.17 * \sqrt{f'c} * bw * d \quad (2.6.11.3.c)$$

El aporte del refuerzo de acero a la resistencia al cortante, en una sección se determina de la siguiente manera:

$$V_s = \frac{A_v * f_y t * d}{s} \quad (2.6.11.3.d)$$

Donde:

A_v : Área transversal de los elementos de refuerzo a cortante, tomando en cuenta el número de ramas del refuerzo.

f_{yt} : Esfuerzo de fluencia del acero usado como refuerzo a cortante.

s : Espaciamiento del refuerzo por corte.

2.5.9.4. Diseño de elementos sometidos a flexo-compresión.

El diseño de las columnas y pedestales de concreto armado se realiza mediante un proceso iterativo, donde inicialmente se coloca el área de acero en función de la cuantía que estas secciones de concreto armado deben tener entre el siguiente rango:

$$1\% \leq \rho_{col} \leq 6\%$$

A partir de esta distribución inicial del refuerzo, se elabora un diagrama de interacción la cual depende de la fuerza axial nominal “ P_n ” y el momento flector nominal “ M_n ” que resiste dicha sección de columna, este diagrama se ajusta de acuerdo al límite “ $P_o=0.75P_n$ ” y los factores de reducción que pertenecen a cada una de las zonas del diagrama las cuales se determinan mediante la deformación unitaria en el acero más alejado de la fibra extrema en compresión, estas 3 zonas son las siguientes: zona controlada por compresión donde $\phi=0.75$ y $\epsilon_t \leq 0.020$, zona de transición $0.75 < \phi < 0.95$ y $0.020 < \epsilon_t < 0.005$, y la zona controlada por tracción donde $\phi=0.90$ y $\epsilon_t \geq 0.005$. De este modo, se realiza el diagrama de interacción, para que finalmente se compruebe que las combinaciones de P_u y M_u estén dentro del diagrama reducido.

2.5.9.5. Diseño de muros estructurales

El diseño de los muros estructurales (placas), se realiza primero a flexo-compresión, determinando el diagrama de interacción que representa capacidad del elemento frente a las solicitaciones de P_u y M_u simultáneamente, determinados del análisis sísmico, aplicando las combiaciones de cargas previstas anteriormente.

Al igual que en las columnas, se inicia con una distribución de acero longitudinal aproximada en los extremos del elemento, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A_s = \frac{0.5 * M_u}{f_y * 0.8 * d}$$

Posteriormente, para la parte interna se colocan los acelos longitudinales con la cuantía mínima $\rho_{min} = 0.025$, según la NTP E0.60. Con esta distribución inicial se procede a construir el diagrama de interacción en la dirección paralela al plano del elemento, y se verifica que las combinaciones de carga (P_u , M_u), se ubiquen dentro del diagrama reducido.

Una vez se cumpla con la condición antes mencionada, se procede a verificar si es necesario considerar elementos de borde en los extremos del muro estructural, para ello siguiendo los lineamientos de la NTP E0.60, se debe verificar la siguiente ecuación:

$$C > \frac{lm}{600 * (\delta u / hm)} , \delta u / hm = 0.005$$

El valor de “c” corresponde a la mayor profundidad del eje neutro calculada para la fuerza axial amplificada y la resistencia nominal a momento asociada a dicha fuerza axial.

Según la NTP E0.60, donde se requiera elementos confinados de borde, el refuerzo del mismo debe extenderse verticalmente desde la sección crítica a una distancia no menor que el mayor valor entre

$$l_m, \quad \frac{M_u}{4V_u}$$

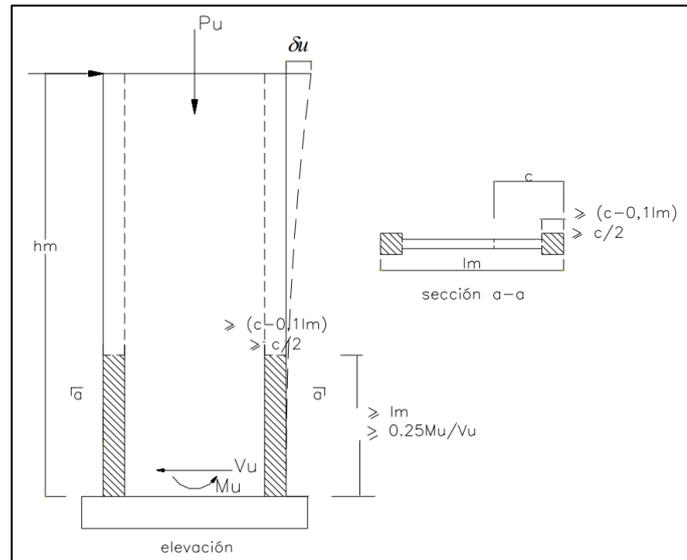


Figura 20: Elementos confinados de borde en muros.(NTE E0.60, 2009)

De acuerdo a la NTP E0.60, la resistencia al corte V_n de muros estructurales se determina de acuerdo a la siguiente ecuación

$$V_n \leq 0.83 * \sqrt{f'_c} * A_{cw}$$

Donde:

A_{cw} : Área de corte de sección transversal

En todas las zonas de los muros o segmentos de muro donde se espere fluencia por flexión del refuerzo vertical como consecuencia de la respuesta sísmica inelástica de la estructura, el cortante de diseño V_u deberá ajustarse a la capacidad en flexión instalada del muro o segmento de muro mediante:

$$V_n \geq V_{ua} * \left(\frac{M_n}{M_{ua}} \right)$$

Donde V_u y M_u son el cortante y el momento amplificados provenientes del análisis y M_n es el momento nominal resistente del muro, calculado con los aceros realmente colocados en el muro estructural, asociado a la carga P_u . Además el cociente M_n/M_u no debe tomarse mayor que el coeficiente de reducción R , utilizado en la determinación de las fuerzas laterales de sismo.

2.5.10. Desempeño sísmico

2.5.10.1. Comportamiento de Materiales

El comportamiento del concreto, en esta oportunidad nos apoyamos en el modelo matemático denominado “Mander”, el cual considera un diagrama de esfuerzo deformación para el concreto sin confinar frente a las cargas axiales, dicho modelo supone una deformación máxima de 0.006m/m y deformación del concreto asociada a la máxima resistencia a la compresión f'_c , es de 0.022m/m; la siguiente gráfica muestra dicho modelo, considerado para las 3 edificaciones, puesto que, estas estructuras fueron diseñadas con una resistencia a la compresión f'_c , de 280 kg/cm².

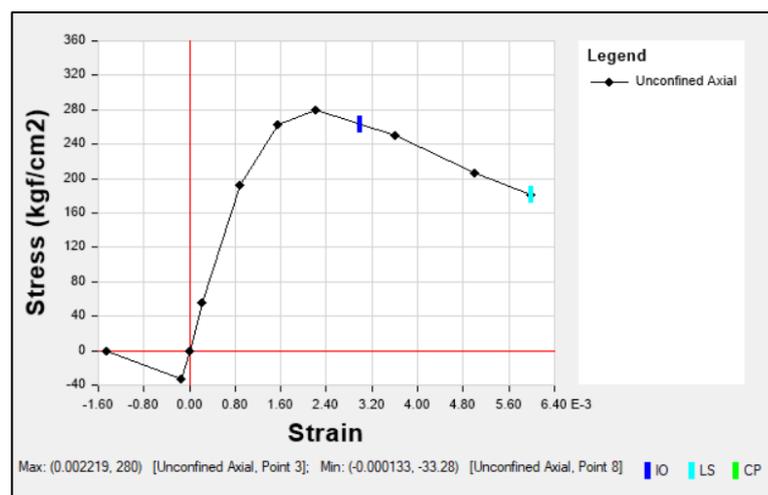


Figura 21: Modelo matemático de esfuerzo deformación para el concreto sin confinar.

2.5.10.2. Comportamiento de Elementos estructurales

El estudio del comportamiento de los elementos estructurales, como columnas, pedestales (dados de concreto), vigas, etc. Se realiza mediante los diagramas de momento curvatura y momento de giro, para la obtención de dichos diagramas se emplean los modelos de esfuerzo deformación del concreto y del acero presentados en la gráfica anterior. En esta investigación, el diagrama de momento curvatura se obtuvo mediante la herramienta del programa de cálculo estructural ETABS, llamada “Sección designer”, en el cual, se ingresa el acero de refuerzo que se obtiene del diseño de los elementos de concreto armado. Las siguientes gráficas, muestran los diagramas de las secciones principales de los elementos estructurales contemplados en la estructuración de cada edificación.

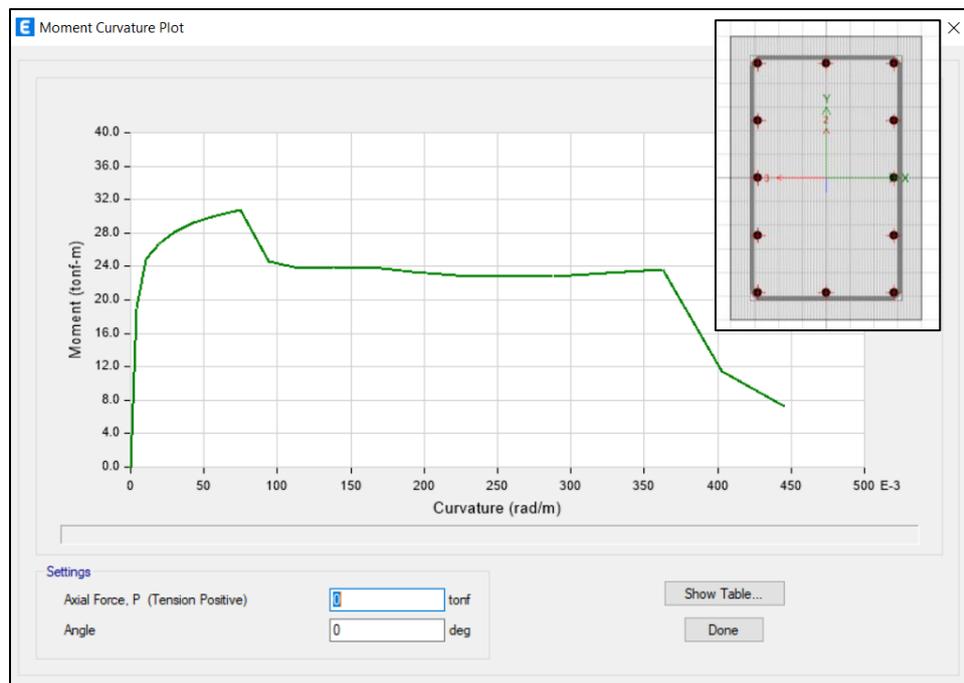


Figura 22: Diagrama de momento curvatura para las secciones de las columnas 40X60, de la edificación de 4 pisos.

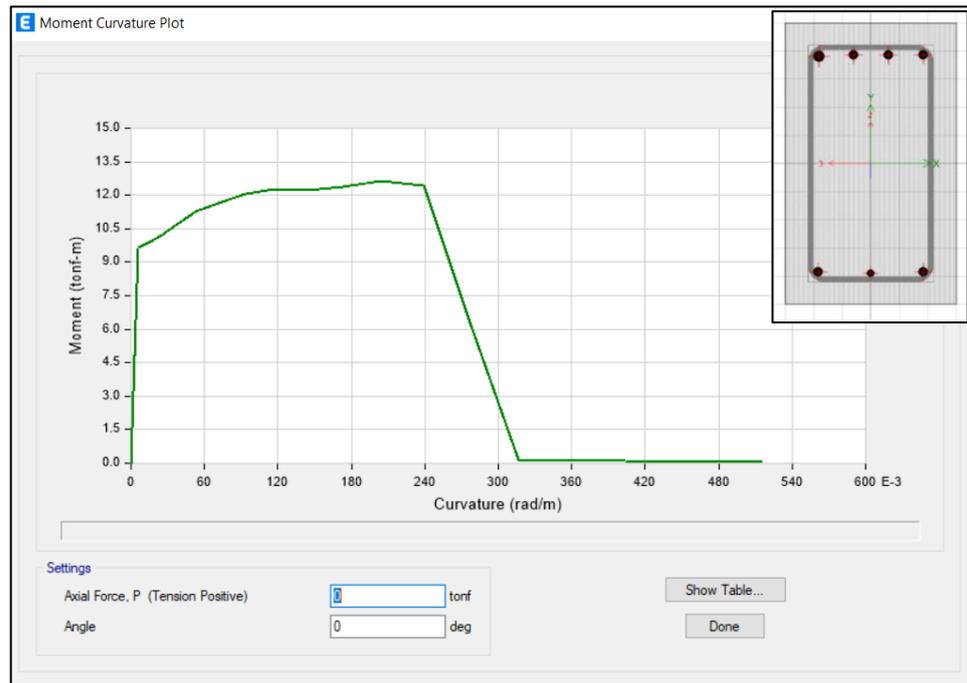


Figura 23: Diagrama de momento curvatura para las vigas transversales de 30x50, de la edificación de 4 pisos.

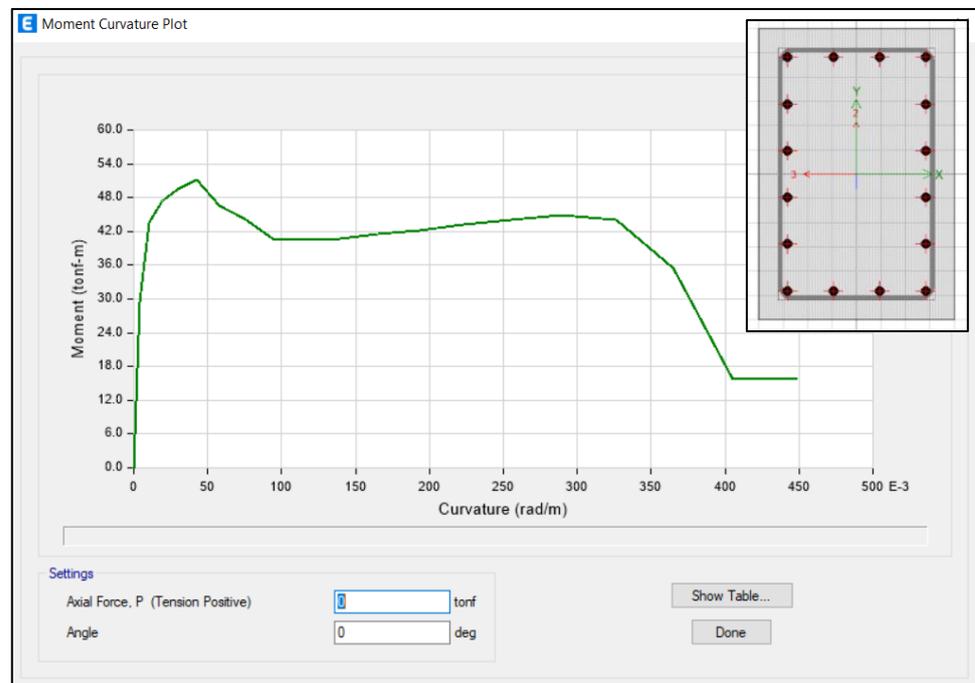


Figura 24: Diagrama de momento curvatura para las secciones de las columnas 40X60, de la edificación de 8 pisos.

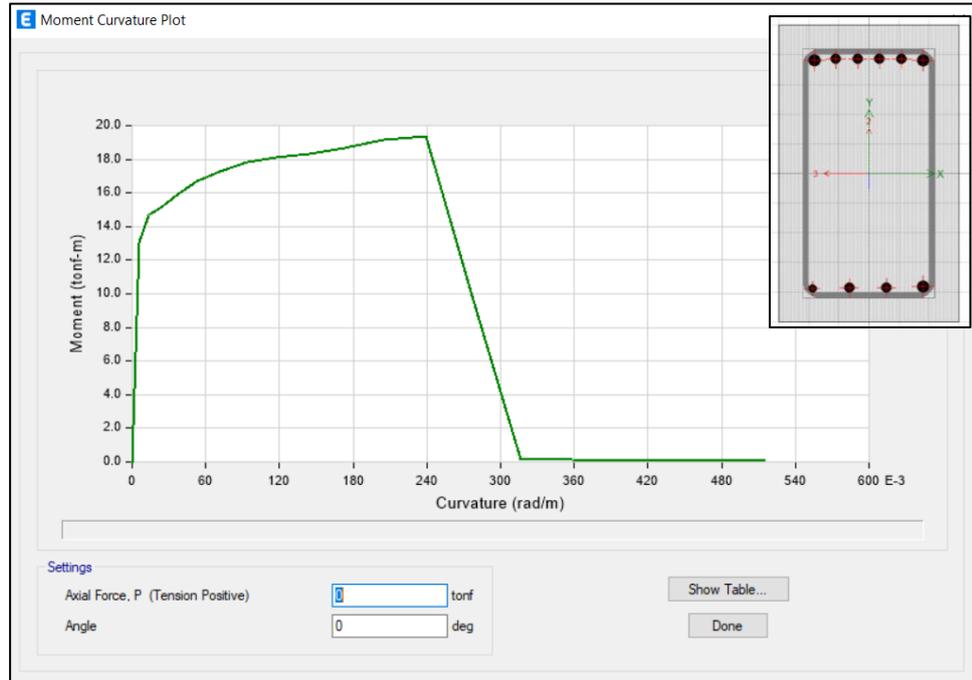


Figura 25: Diagrama de momento curvatura para las vigas transversales de 30x50, de la edificación de 8 pisos.

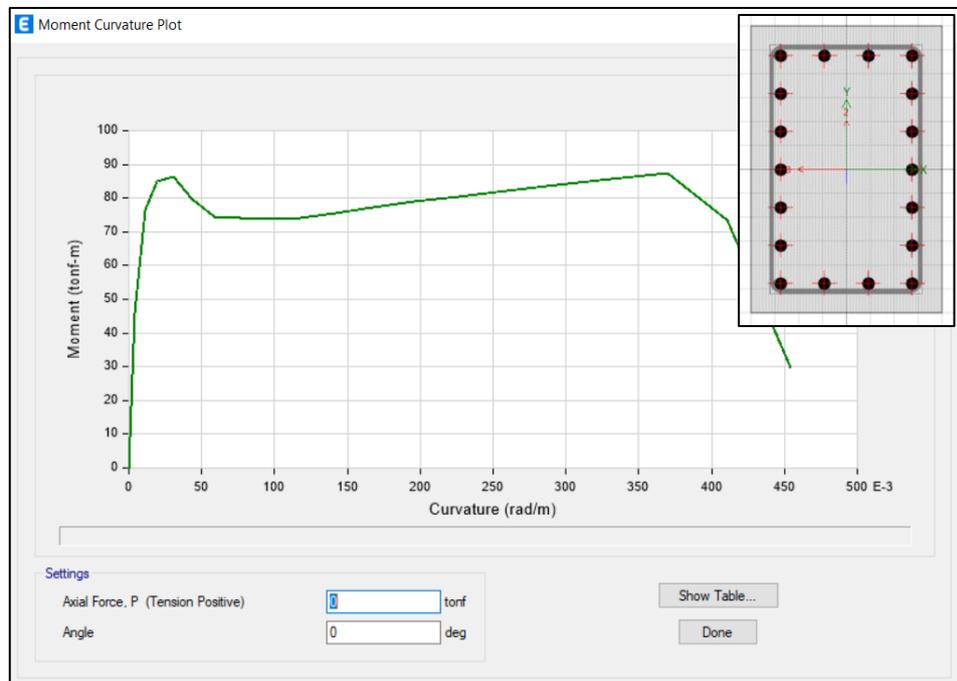


Figura 26: Diagrama de momento curvatura para las secciones de las columnas excéntricas 40X60, de la edificación de 16 pisos.

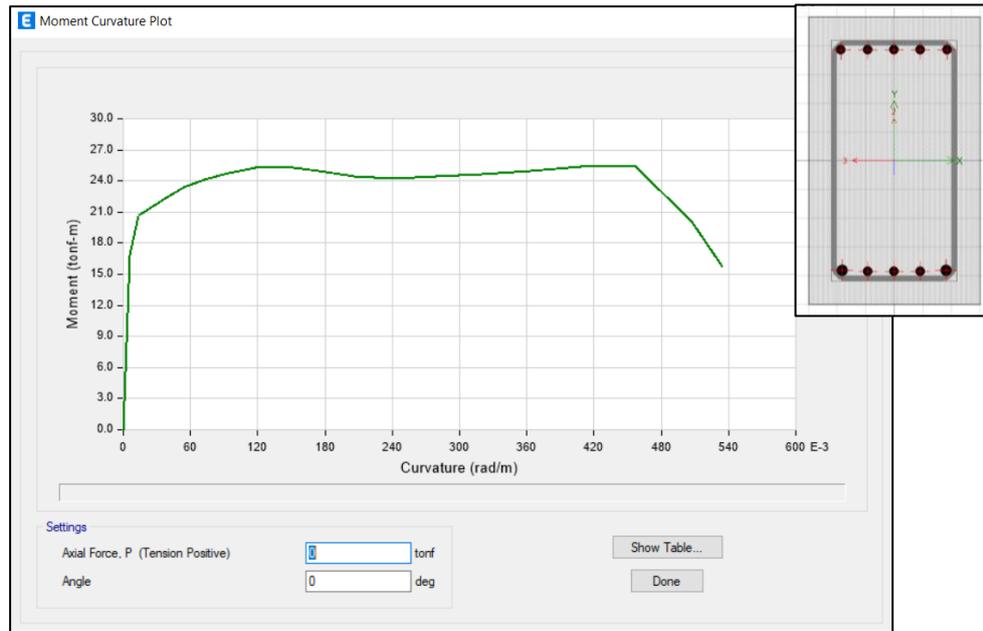


Figura 27: Diagrama de momento curvatura para las vigas transversales de 30x50, de la edificación de 16 pisos.

2.5.10.3. Análisis Estático No Lineal

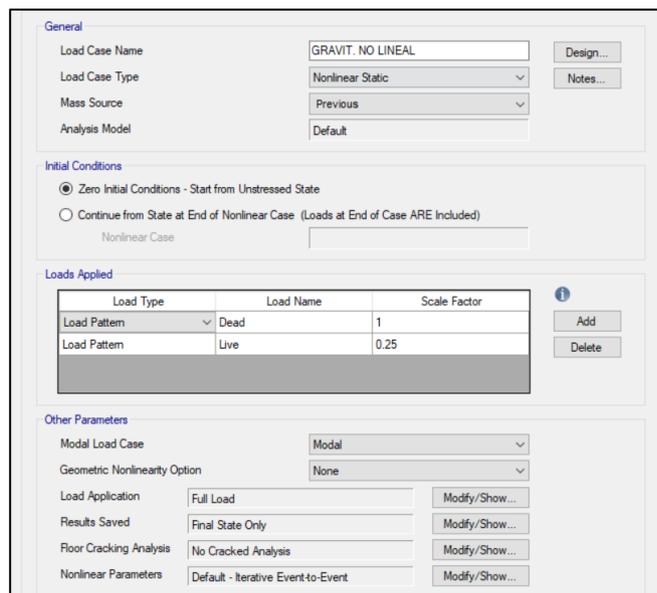
El análisis estático no lineal “Pushover” se realizará para las 3 edificaciones convencionales y con sistema de aislamiento elastomérico, sin embargo para las estructuras con el sistema de disipación de energía, solo se realizará para la estructura de 4 y 8 pisos; debido que, para la edificación de 16 pisos con disipadores, la demanda de capacidad computacional es mucho mayor a las demás edificaicones; por lo tanto, se determinó el desempeño sísmico en función a las distorsiones de entrepiso obtenidas en el análisis tiempo historia no lineal, en comparación con el articulo científico realizado por Medina, R. y Music, J. (2018), quienes mencionan, que para distorsiones menor o igual al 0.2%, le corresponde el nivel de desempeño “Totalmente Operacional”, para distorsiones mayores a 0.2% y menor o igual 0.5%, le corresponde el nivel de desempeño “Operacional”, asimismo, para distorsiones mayores a 0.5% y menor o igual 1.5%, le corresponde el nivel de desempeño “Seguridad de Vida”; del mismo modo, para distorsiones mayores a 1.5% y menor

igual a 2.5%, le corresponde el nivel de desempeño “Pre colapso”, finamente para distorsiones mayores a 2.5%, le corresponde el nivel de “Colapso”

2.5.10.3.1. Casos de carga

Se define los patrones de carga que se emplean para el análisis estático no lineal, como son, la Carga Gravitacional No Lineal y el Empuje No Lineal también llamado “Pushover”.

La Carga Gravitacional No Lineal, considera la carga que soporta la estructura tales como carga muerta y carga viva, las cuales están factoradas por ciertos valores, como se muestra en la Figura 28.



Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	Live	0.25

Figura 28: Caso de carga Gravitacional no lineal, para las 3 edificaciones.

El empuje no lineal o Pushover, se aplica en las 2 direcciones ortogonales de la estructura analizada, el cual considera la aplicación de carga lateral a la estructura y empieza a actuar posterior al estado de carga Gravitacional No Lineal, como se muestra en la Figura 29 y 30. Este caso de carga Pushover, es controlado por un desplazamiento límite, asociado al desplazamiento máximo considerado en el análisis dinámico de cada una de las estructuras, como se muestra en la Tabla N° 12.

Tabla 12:
Desplazamientos monitoreados en caso de carga Pushover.

N° Pisos	Estructura	Despl. Monitoreado	
		UX	UY
4 pisos	Convencional	0.08 m.	0.07 m.
	Aisladores	0.75 m.	0.65 m.
	Disipadores	0.05 m.	0.04 m.
8 pisos	Convencional	0.10 m.	0.09 m.
	Aisladores	0.85 m.	0.75 m.
	Disipadores	0.12 m.	0.09 m.
16 pisos	Convencional	0.20 m.	0.25 m.
	Aisladores	1.00 m.	0.95 m.
	Disipadores	----	----

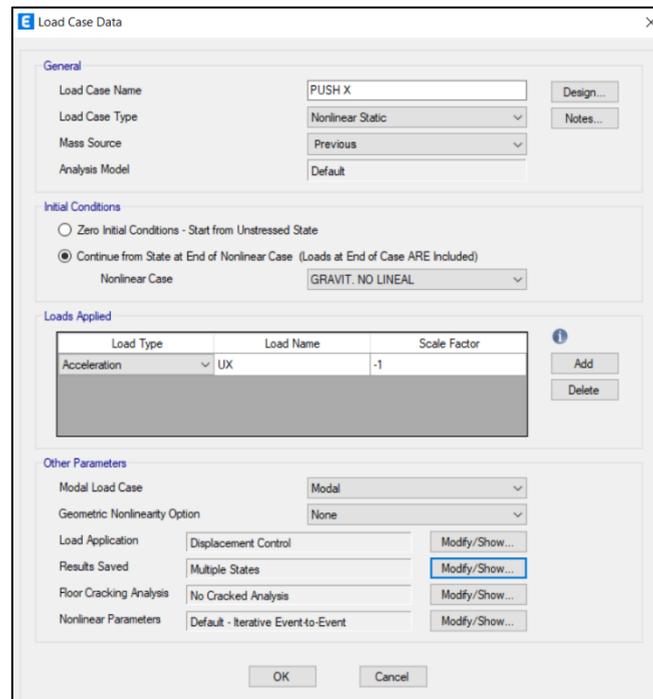


Figura 29: Caso de carga lateral a la estructura en la dirección X, para las 3 edificaciones.

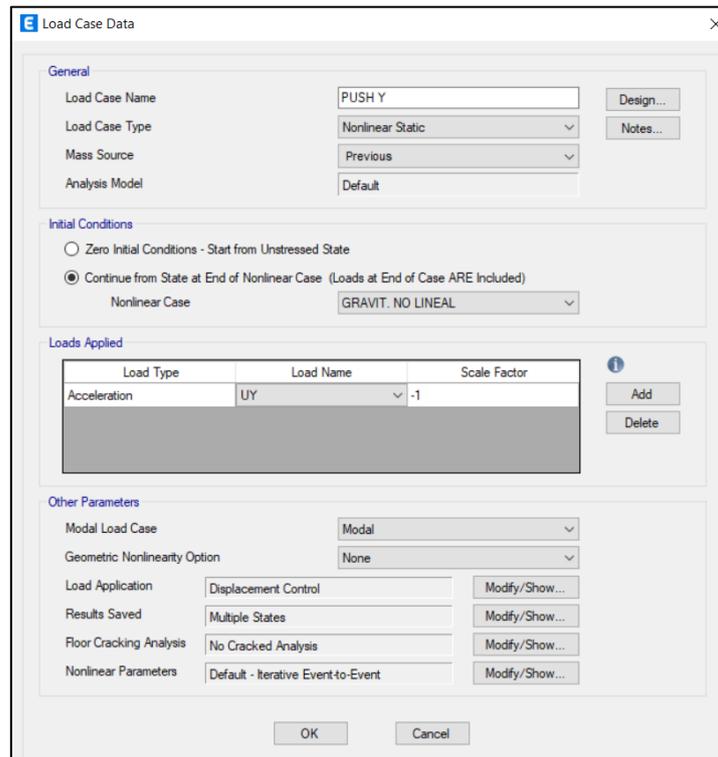


Figura 30: Caso de carga lateral a la estructura en la dirección Y, para las 3 edificaciones.

2.5.10.3.2. Asignación de rótulas plásticas

A continuación, se aplican las propiedades de rótulas plásticas a los elementos de concreto armado, basándose en las tablas del ASCE 41-13, tanto para las vigas como para las columnas de cada una de las 3 estructuras, la Figura 31, muestra parámetros considerados para la aplicación de las rotulas plásticas en las vigas, para las cuales se asume que la pérdida de rigidez se da producto de la flexión de su eje perpendicular a la acción de las cargas gravitacionales. Por otro lado, la Figura 32, muestra los parámetros considerados para la aplicación de las rotulas plásticas en las columnas, para este caso se asume que las fuerzas que causan la pérdida de rigidez son las cargas axiales y la flexióncompresión biaxial de la sección.

Figura 31: Parámetros para la asignación de rótulas plásticas en las vigas de concreto armado.

Figura 32: Parámetros para la asignación de rótulas plásticas en las columnas de concreto armado.

2.6. Matriz de operacionalización de la variable.

Tabla 13:

Matriz de operacionalización de la variable.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	SUB INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA DE MEDICIÓN
Desempeño sísmico	El desempeño sísmico es una metodología basada en controlar los daños causados en elementos estructurales, no estructurales y el contenido de los edificios en rangos de seguridad que se relacionan a diferentes niveles de movimientos sísmicos. (ATC-40, 1996)	El nivel de desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (ATC-40, 1996)	Análisis estructural	Análisis Estático	Fuerza Cortante en la Base Desplazamientos laterales Fuerzas equivalentes mínimas	Guías de observación (Tablas de frecuencia y graficos lineales)	Nominal
				Análisis Modal Espectral	Modos de vibración Fuerza cortante en la base Desplazamientos laterales	Guías de observación (Tablas de frecuencia y graficos lineales)	Nominal
				Análisis Dinámico Tiempo Historia	Registros de aceleración Tratamiento de resultados con R=1 Tratamiento de resultados con R=2	Guías de observación (Tablas de frecuencia y graficos lineales)	Nominal
			Niveles de desempeño	Análisis No lineal Estático - Pushover	Caso de carga Asignación de rótulas plásticas	Guías de observación (Tablas de frecuencia y graficos lineales)	Ordinal
				Punto de desempeño estructural	Curvas de capacidad Formación de rótulas plásticas Espectro de capacidad Espectro de demanda	Guías de observación (Tablas de frecuencia y graficos lineales)	Ordinal

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Estudio topográfico

3.1.1. Descripción del área de estudio

El terreno o área donde se proyectan las 3 edificaciones tiene la siguiente ubicación política.

- Zona : Urb. Sol naciente II
- CC.PP. : El Milagro
- Distrito : Huanchaco
- Provincia : Trujillo
- Región : La Libertad

De igual manera, la ubicación geográfica del terreno es la siguiente

- Sistema de coordenadas : UTM - WGS 84
- Coordenadas de centroide : E 717 662.183
N 9 111 077.252

La ruta más recomendable para llegar al terreno, desde el centro de Trujillo, es tomar la Av. Nicolas de Pierola, en dirección norte, luego seguir por Av. José Grabiél Condorcanqui aproximadamente 5.2 km, posteriormente seguir por Av. Miguel Grau 350 m. para luego ingresar a la derecha en la Av. Independencia, y recorrer aproximadamente 850 metros para llegar al terreno donde se proyectan las 3 edificaciones. El tiempo estimado para llegar desde el centro de Trujillo en automóvil es de 20 minutos aproximadamente.

3.1.2. Planos topográficos

Para la representación topográfica del terreno, se elaboró un plano a curvas de nivel como se muestra en la Figura 33, del mismo modo se realizó el perfil

longitudinal como se muestra en la Figura 34, donde se puede observar una inclinación del terreno, en la zona de ingreso colidante con la Av. Independencia.

Además la cota promedio es de 136.55 m.s.n.m.

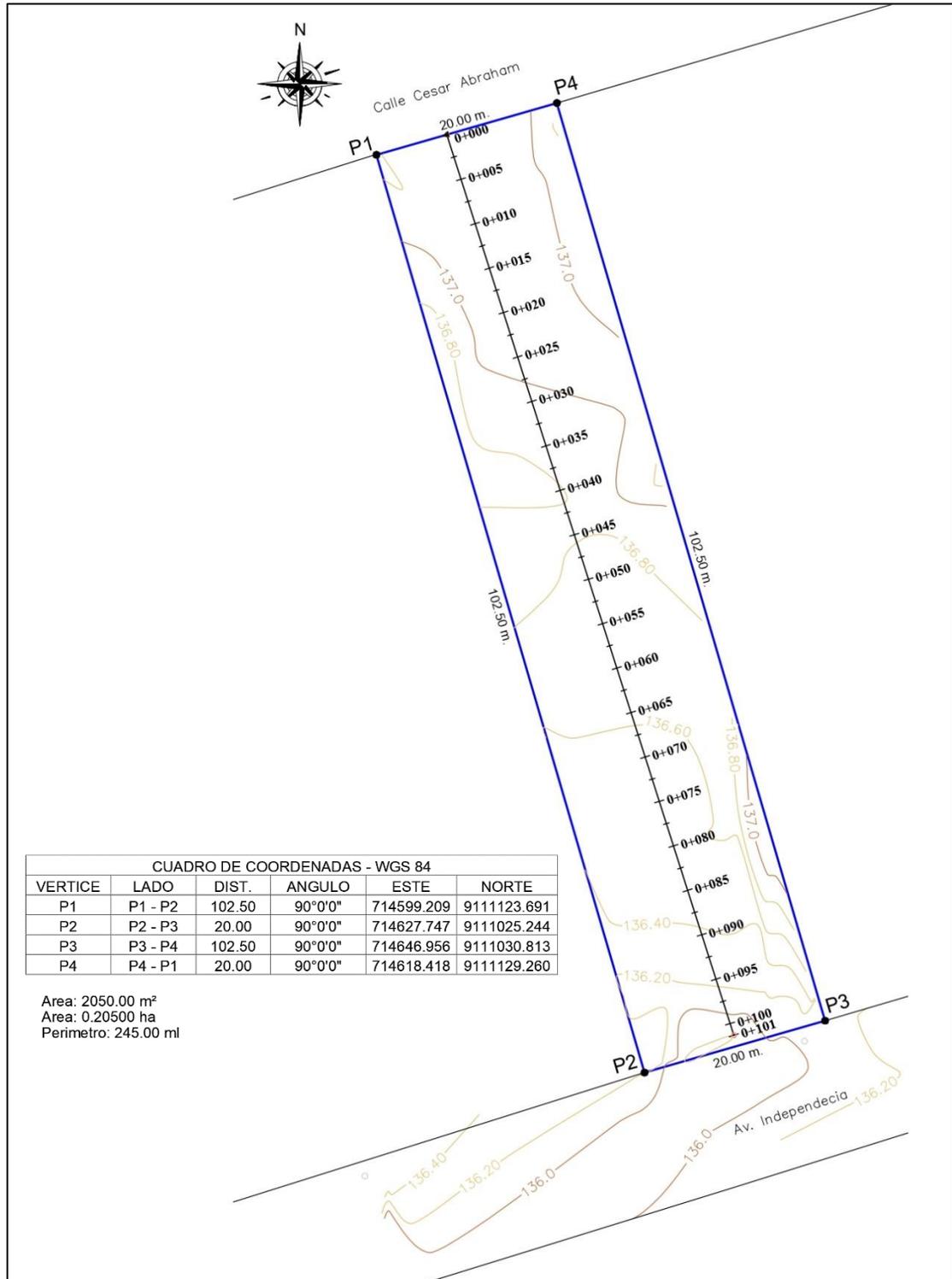


Figura 33: Plano topográfico de terreno con curvas de nivel

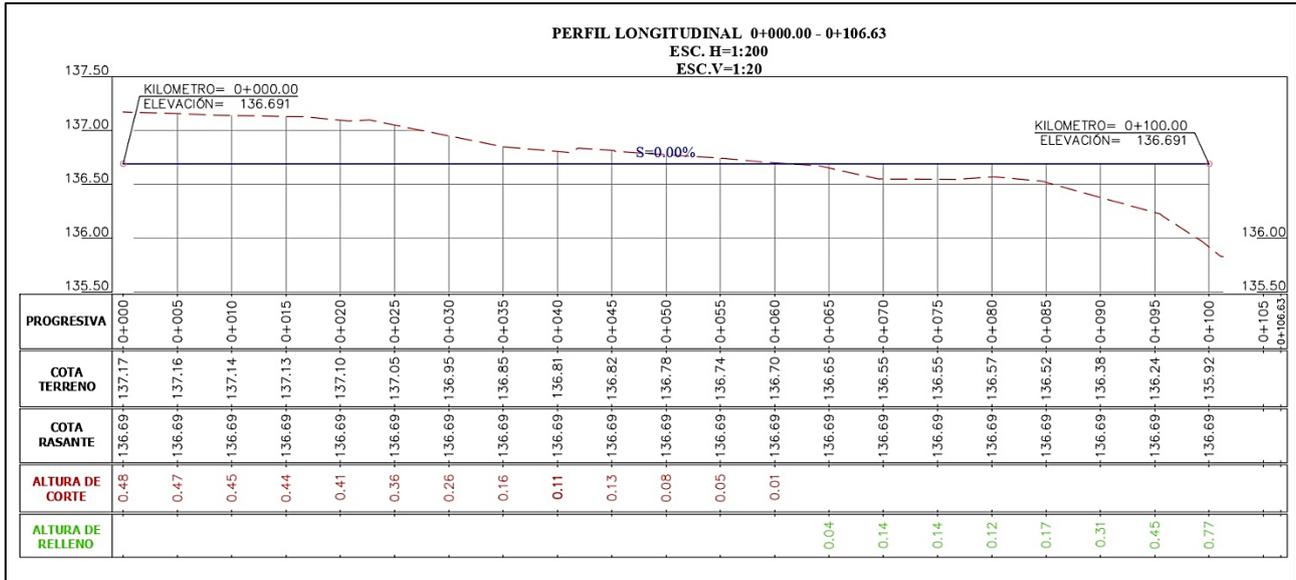


Figura 34: Perfil longitudinal y trazo de rasante para nivelación de terreno.

3.2. Microzonificación geotécnica

3.2.1. Propiedades del suelo de fundación

El estudio realizado por el Dr. Enrique Luján, el cual se toma como referencia, es la tesis titulada, “UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO”, Esto debido que, la presente investigación se realizó dentro del estado de emergencia sanitaria por la COVID-19, por tal motivo los laboratorios de mecánica de suelos de la Universidad Privada del Norte se encontraban sin funcionamiento.

Los resultados recopilados de la tesis del Dr. Enrique Luján, se tomaron de la zona más cercana al CC.PP. El Milagro, el cuál pertenece a la ZONA III, según la microzonificación sísmica de dicho autor.

Con la intención de obtener y aprovechar de la mejor manera los resultados obtenidos en la tesis del Dr. Enrique Luján, se realizó un resumen de la información más importante y que nos ayudaría a poder determinar el Tipo de perfil que posee el

suelo de fundación donde se proyectan las 3 edificaciones, de acuerdo a la clasificación de suelos que presenta la NTE E0.30. Por ello se presentan en la Tabla N° 14, dicho resumen con las propiedades necesarias para poder realizar dicha clasificación.

Tabla 14:

Propiedades de EMS, de microzonificación sísmica de Trujillo, adaptado de (E. Luján, 2019)

Estudio de Mecánica de Suelos	
Parámetros	Información recopilada
Zona	ZONA III
Técnicas de exploración	Calicatas y SPT
<i>Profundidad calicatas</i>	1.30 m - 3.00 m
<i>Profundidad SPT</i>	9 m
Perfil estatigráfico	
<i>Material predominante</i>	Arena pobremente graduada
Contenido de Humedad	15.16% - 17.48%
Gravedad Específica	2.69 Gs
Límite Líquido	NP - 23.00%
Límite Plástico	NP - 17.00%
Índice de Plásticidad	NP - 6.00
Clasificación	
<i>SUCS</i>	SP / SP-SM
<i>AASHTO</i>	A-3 / A-2-6
Peso específico	1.70 tn/m ³
Capacidad Portante	
<i>qu (kg/cm²)</i>	2.742 - 3.297
<i>qadm (kg/cm²)</i>	0.914 - 1.099
Tipo de onda	Onda S
Velocidad de ondas de corte (Vs)	385 m/s
Ensayo de penetración estándar SPT	
<i>N₆₀</i>	35

3.3. Diseño arquitectónico

La presente investigación contempla el diseño arquitectónico de 3 edificaciones, con 3 distintos usos, como centro comercial, oficinas y vivienda multifamiliar. Estas variaciones en los usos de las edificaciones, obedecen a un

patrón tradicional en la ciudad de Trujillo, donde la mayoría de edificaciones con uso destinado a Centros comerciales oscilan entre los 2 y 5 pisos de altura, por otro lado las edificaciones que contienen oficinas, están en un rango de 4 a 12 pisos de altura, y finalmente las edificaciones destinadas a viviendas multifamiliares, tiene una altura entre 8 y 20 pisos. Por lo tanto, ante este patrón se determinó que las edificaciones con uso de centro comercial, oficinas, y vivienda multifamiliar, tendrían 4 pisos, 8 pisos y 16 pisos respectivamente.

3.3.1. Arquitectura de Centro comercial de 4 pisos

Este edificio fue diseñado siguiendo los lineamientos de la norma A0.70 y A0.10 del reglamento nacional de edificaciones, dicha edificación cuenta con cuatro niveles o pisos, cuya altura de entrepiso es de 3.00 m. para todos los niveles, la forma global de la edificación en planta es rectangular, con un lado largo de 20 m. y un lado corto de 15 m. Dicho edificio cuenta con un ascensor y una escalera, los cuales se encuentran en el centro de la edificación con la intención de darle mayor simetría.

La distribución de ambientes en cada nivel cuenta con 14 stand o galerías con área entre 8.00 m². y 9.50 m². Cada stand o galería cuenta con ventilación e iluminación natural directa, además cada piso cuenta con servicios higiénicos para varones y mujeres; por otro lado, se consideró 2 ingresos peatonales de 3.52 m. de ancho, 5 pasadizos con dimensiones entre 1.55 m. y 3.52 m. de ancho para la buena circulación de las personas. Dicha distribución arquitectónica se repite en los pisos superiores, como se muestra en la Figura 35.

En la arquitectura exterior, esta edificación cuenta con estacionamiento destinado para 24 vehículos, jardinería natural de 60 m². en todo el contorno de la edificación y pasajes peatonales directos desde el ingreso principal colindante con la calle hasta el ingreso al centro comercial.

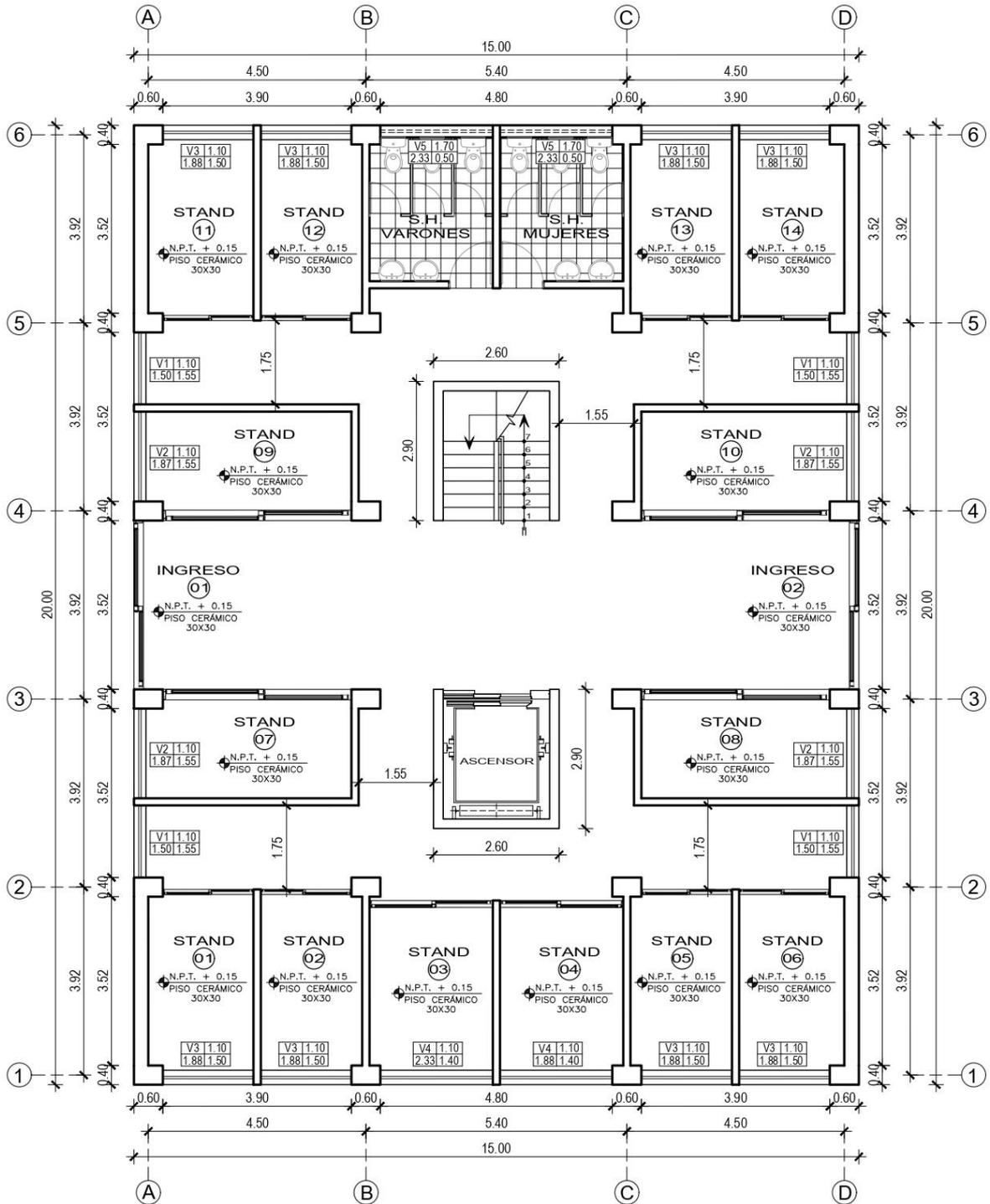


Figura 35: Plano arquitectónico de planta típica de Centro Comercial de 4 pisos.

3.3.2. Arquitectura de Oficinas de 8 pisos

Este edificio fue diseñado siguiendo los lineamientos de la norma A0.80 y A0.10 del reglamento nacional de edificaciones, dicha edificación cuenta con ocho niveles o pisos, cuya altura de entrepiso es de 3.00 m. para todos los niveles, la forma global de la edificación en planta es rectangular, con un lado largo de 20 m. y un lado corto de 15 m. Dicho edificio cuenta con un ascensor y una escalera, los cuales se encuentran en el dentro geométrico de la edificación con la intención de darle mayor simetría a la estructura.

La distribución arquitectónica se divide en dos oficinas por cada nivel de 125 m² cada una aproximadamente, las cuales cuentan con una sala de recepción de aproximadamente 12 m², sala para atención al cliente, sala de trabajo de 17 m², una oficina privada para gerencia, una sala de reuniones de 10 m², y dos servicios higienicos independientes tanto para varones como para mujeres, todos los ambientes mencionados cuentan con ventilación e iluminación natural directa. Adicionalmente cada centro de oficinas cuenta con un ingreso privado y dos ingresos comunes con 1.75 m. y 3.52 m. de ancho respectivamente. Dicha distribución arquitectónica se repite en los pisos superiores, como se muestra en la Figura 36.

En la arquitectura exterior, está edificación cuenta con estacionamiento destinado para 24 vehículos, jardinería natural de 60 m². en todo el contorno de la edificación y pasajes peatonales directos desde el ingreso principal colindante con la calle hasta el ingreso a las oficinas.

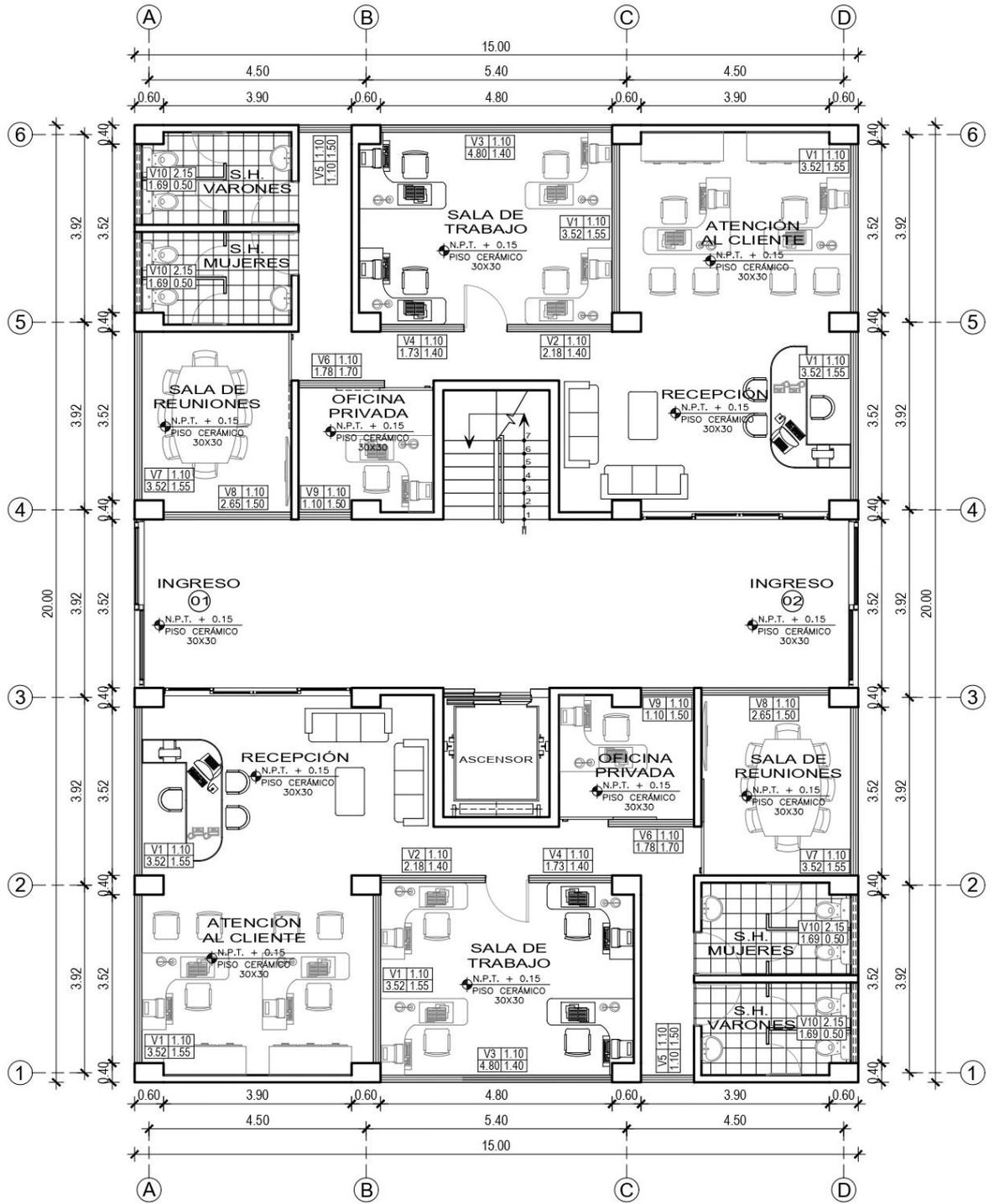


Figura 36: Plano arquitectónico de planta típica de Oficinas de 8 pisos.

3.3.3. Arquitectura de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Este edificio fue diseñado siguiendo los lineamientos de la norma A0.20 y A0.10 del reglamento nacional de edificaciones, dicha edificación cuenta con ocho niveles o pisos, cuya altura de entrepiso es de 3.00 m. para todos los niveles, la forma global de la edificación en planta es rectangular, con un lado largo de 20 m. y un lado corto de 15 m. Dicho edificio cuenta con un ascensor y una escalera, los cuales se encuentran en el dentro geométrico de la edificación con la intención de darle mayor simetría a la estructura.

La distribución arquitectónica del edificio se divide en dos departamentos por piso, con un área de 125 m² cada uno, los departamentos cuentan con sala y comedor de 24 m² de área entre los dos, cocina con desayunador, lavandería, un dormitorio principal de 15 m² con baño interno, dos dormitorios secundarios de 13 m² cada uno y un baño común completo, además todos los ambientes mencionados cuentan con ventilación e iluminación natural directa. Adicionalmente cada departamento cuenta con un ingreso privado y dos ingresos comunes con 1.00 m. y 3.52 m. de ancho respectivamente. Dicha distribución arquitectónica se repite en los pisos superiores, como se muestra en la Figura 37.

En la arquitectura exterior, está edificación cuenta con estacionamiento destinado para 24 vehículos, jardinería natural de 60 m². en todo el contorno de la edificación y pasajes peatonales directos desde el ingreso principal colindante con la calle hasta el ingreso a los departamentos.

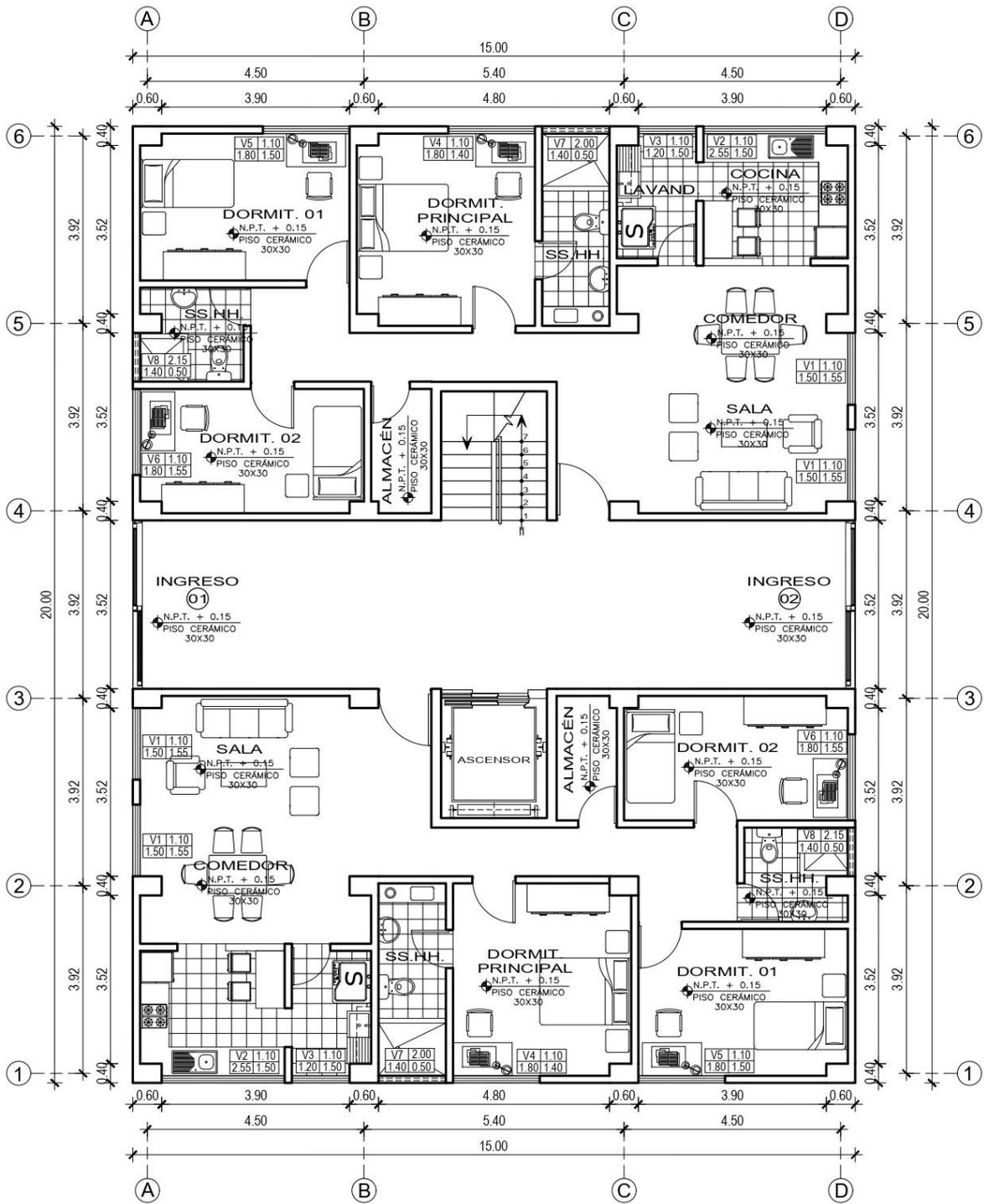


Figura 37: Plano arquitectónico de planta típica de Vivienda multifamiliar de 16 pisos.

3.4. Estructuración y predimensionamiento

3.4.1. Propiedades de los materiales

Los materiales y sus propiedades mecánicas que se consideraron para la estructuración del modelo de las 3 edificaciones de concreto armado son los que se presentan en la Tabla N° 15.

Tabla 15:

Propiedades de materiales empleados en la estructuración de las 3 edificaciones.

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO		
Descripción	Símbolo	Valor
Resistencia a la compresión	$f'c$	280 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	E_c	250998.01 kg/cm ²
Peso específico	γ	2400 kg/m ³
Módulo de poisson	μ	0.2
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO		
Descripción	Símbolo	Valor
Esfuerzo de fluencia	f_y	4200 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	E_s	2000000 kg/cm ²

3.4.2. Predimensionamiento de elementos estructurales

Las dimensiones de los elementos estructurales se uniformiza para las 3 edificaciones, con la intención de poder comparar los resultados de manera más eficiente.

3.4.2.1. Predimensionamiento de losa aligerada

Para la losa aligerada se considera viguetas de sección rectangular con ladrillos de techo que aligeran el peso de la losa, formando secciones tipo "T", como se muestra en la Figura 38, este detalle es referencial, puesto que el refuerzo por temperatura es recomendable que este ubicado lo más cercano posible; respetando el recubrimiento, a la fibra superior de la losa.

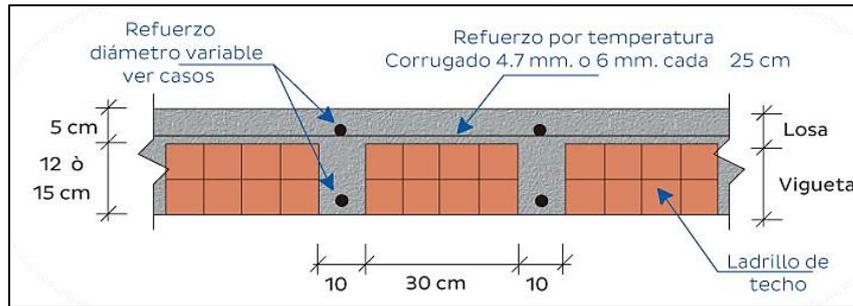


Figura 38: Detalle referencial de losa aligerada. (Aceros arequipa, 2019)

Por otro lado, para el valor de luz libre, se mide la longitud paralela al lado más corto de cada paño, con la intención de lograr que la deflexión de la losa se realice en la dirección más corta, además se considera un ladrillo de techo con dimensiones comerciales de 0.15 m. como se muestra en la Tabla N° 16.

Tabla 16:

Predimensionamiento de losa aligerada para las 3 edificaciones.

PREDIMENSIONAMIENTO DE LOSA ALIGERADA				
Luz Libre	Factor	Espesor teórico	Espesor Final	Altura de ladrillo
4.73 m.	1/25	0.19 m	0.20 m	0.15 m.
Ancho de alma	Altura de alma	Ancho de losa sup.	Altura de losa sup.	Separa. Interna almas
0.10 m.	0.15 m.	0.40 m.	0.05 m.	0.30 m

3.4.2.2. Predimensionamiento de Columnas

Para el dimensionamiento de las columnas, se toman los datos de la edificación con uso de vivienda multifamiliar de 16 pisos, puesto que, dicha edificación nos proporcionaría las secciones más robustas para las columnas como se muestra en la Tabla N° 17. E clasificarón las columnas en tres tipos, columnas esquineras, columnas de borde y colymnas centrales, esta clasificación obedece a la variación del área tributaria de cada tipo.

Como se había mencionado se busca uniformizar las dimensiones de los elementos estructurales de las 3 edificaciones, por lo tanto se estableció que todas las columnas tengan secciones C1 de 0.40m. x 0.60m.

Tabla 17:
Predimensionamiento de columnas de las 3 edificaciones.

PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS							
Tipo	Peso estim. [kg/m ²]	N° pisos	Área tribut. [m ²]	Acol [cm ²]	Ancho (b) [cm]	Largo (D) [cm]	Dimensiones finales [cm]
Esquinera	1000	16	6.76	1103	40	27.6	40x60
Borde	1000	16	7.82	1276	40	31.9	40x60
Central	1000	16	18.81	2389	40	59.7	40x60

3.4.2.3. Predimensionamiento de vigas

Para el dimensionamiento de las vigas, estas se clasifican en tres tipos V-01, V-02, las cuales están en dirección “X” y las vigas V-03 que están en la dirección “Y”, debido que en todos los pisos y en las tres edificaciones las luces que cubren estos elementos; entre caras de columnas, es la misma.

Además se estableció que el ancho mínimo de para “Vigas X” es de 0.30 m., puesto que estas vigas son perpendiculares a la dirección de las viguetas, por tal motivo son los elementos encargadas de transmitir el mayor porcentaje de cargas hacia las columnas; por otro lado las “Vigas Y”, al ser vigas secundarias, se consideró un ancho mínimo de 0.25 m., como se muestra en la Tabla N° 18.

Tabla 18:
Predimensionamiento de vigas de las 3 edificaciones.

PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS					
Tipo	Ln [m]	Factor	Peralte (h) [m]	Base (b) [m]	Peralte final (b) [m]
Vigas X-1	4.80	1/10	0.48	0.30	0.50
Vigas X-2	3.90	1/10	0.39	0.30	0.40
Vigas Y	3.52	1/10	0.35	0.25	0.35

3.4.3. Estructuración de edificaciones

La estructuración de las tres edificaciones; a consecuencia de su arquitectura y los elementos estructurales que las contemplan, terminan siendo iguales con 6 ejes en la dirección “X” y 4 ejes en la dirección “Y”.

Como se muestra en la Figura 39, estas estructuras contiene por piso 20 columnas de sección rectangular de 0.40m x 0.60 m. con su dimensión mayor (0.60 m.) paralela al lado corto de toda la edificación (15 m.), 12 vigas de sección 0.30 m. x 0.40 m. y 6 vigas de sección 0.30 m. x 0.50 m. en la dirección “X”, 20 vigas de sección 0.25m. x 0.35 m. en la dirección “Y”, también se consideró dos muros estructurales “placas” tipo “C” de 0.20 m. de espesor para el funcionamiento del ascensor y las escaleras; además de 13 paños de losas aligeradas en la dirección “Y” y 2 paños de losas macizas en 2 dirección, dichas losas macizas se encargan de controlar las deformaciones producidas por los muros estructurales antes mencionados.

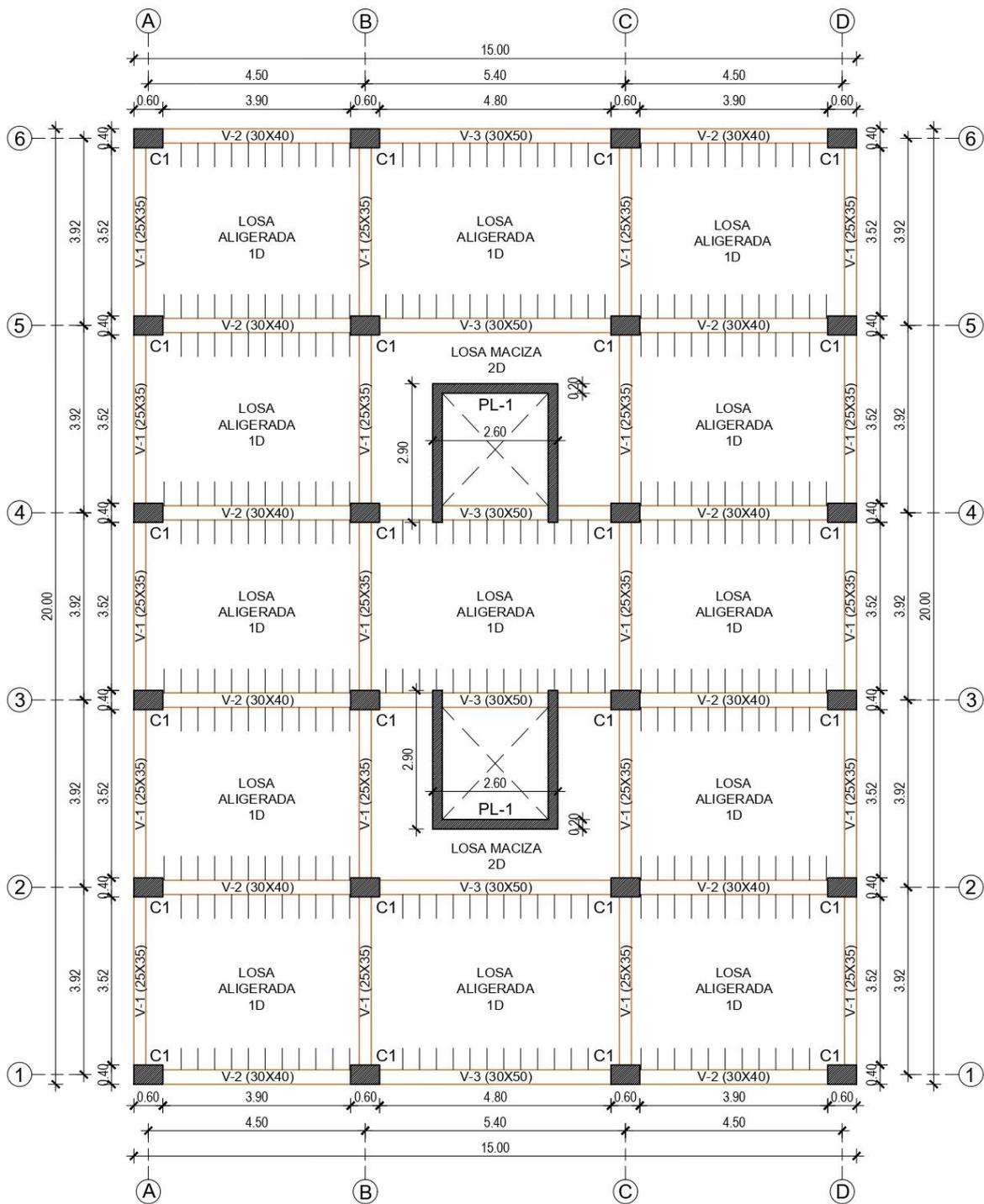


Figura 39: Estructuración típica de las 3 edificaciones

3.4.4. Cargas gravitacionales

3.4.4.1. Cargas vivas

Las cargas vivas consideradas para el análisis se obtuvieron de la norma E0.20 del reglamento nacional de edificaciones, dicha norma nos brindó las cargas vivas dependiendo del uso de cada edificación como se muestra en la Tabla N° 19.

Tabla 19:
Cargas vivas repartidas consideradas para las 3 edificaciones.

CARGAS VIVAS REPARTIDAS	
Ocupación o Uso	Carga repartida
Centro comercial	
Galerías	500 kg/ cm ²
Corredores y escaleras	500 kg/ cm ²
Oficinas	
Salas de computación	250 kg/ cm ²
Corredores y escaleras	400 kg/ cm ²
Tabiquería movil	50 kg/cm ²
Viviendas	
Ambientes	200 kg/ cm ²
Corredores y escaleras	200 kg/ cm ²

3.4.4.2. Cargas permanentes

Las cargas permanentes o cargas muertas que se consideran en cada edificación tienen los mismos valores; debido que los tabiques, ladrillos de techo, acabados, etc. tienen las mismas características para las tres edificaciones.

Estas cargas se clasifican en 2 tipos, cargas repartidas; donde se considera el peso de ladrillo de techo y acabados como se muestra en la Tabla N° 20, y las cargas distribuidas; donde se considera el peso de los tabiques de albañilería; con peso específico para unidades huecas de 1350 kg/m³ según la NTE E0.20, como se presenta en la Tabla N° 21.

Tabla 20:
Cargas muertas repartidas para las 3 edificaciones.

CARGAS MUERTAS REPARTIDAS	
Tipo de Carga	Carga
Ladrillo de Techo	
<i>N° de ladrillos x m²</i>	9.00 lad/m ²
<i>Peso unitario de ladrillo</i>	10.00 kg/lad
Peso de ladrillo de techo	90 kg/m ²
Acabados	
Tarrajeo cielo raso (e=0.015 m)	30 kg/m ²
Contrapiso (e=0.50 m)	115 kg/m ²
Piso (cerámico)	22.23 kg/m ²
Peso Entrepiso	257.23 kg/m²
Peso Azotea	235.00 kg/m²

 Tabla 21:
Cargas muertas distribuidas para las 3 edificaciones.

CARGAS MUERTAS DISTRIBUIDAS	
Tipo de Carga	Carga
Muros bajos	
Asentado de canto	202.35 kg/m
Espesor de tabique	0.09 m.
Altura de tabique	1.10 m.
Tarrajeo de muro (e=0.015)	68.70 kg/m
Asentado de sogá	262.95 kg/m
Espesor de tabique	0.13 m
Altura de tabique	1.10 m.
Tarrajeo de muro (e=0.015)	69.90 kg/m
Asentado de cabeza	414.45 kg/m
Espesor de tabique	0.23 m.
Altura de tabique	1.10 m.
Tarrajeo de muro (e=0.015)	72.90 kg/m
Muros Altos	
Asentado de sogá	612.30 kg/m
Espesor de tabique	0.13 m.
Altura de tabique	2.60 m.
Tarrajeo de muro (e=0.015)	156 kg/m
Asentado de cabeza	963.30 kg/m
Espesor de tabique	0.23 m.
Altura de tabique	2.60 m.
Tarrajeo de muro (e=0.015)	156 kg/m

3.5. Estructura Convencional sin protección sísmica

3.5.1. Modelado estructural de las edificaciones

El modelado tridimensional se realizó en el software de análisis y diseño de edificios ETABS en su versión 2019. Este modelo contempla a las estructuras con base fija, con la intención de evaluar su comportamiento y lograr una comparación con las estructuras con protección sísmica, en las cuales se incorpora los aisladores elatoméricos LRB y los disipadores hysteréticos SLB. La Figura 40, Figura 41 y Figura 42 muestran una vista del modelo tridimensional de la estructura de las tres edificaciones de 4 pisos, 8 pisos y 16 pisos respectivamente. En las cuales se puede observar que se tomaron en cuenta todos los elementos estructurales como columnas, vigas, losas y muros estructurales (placas).

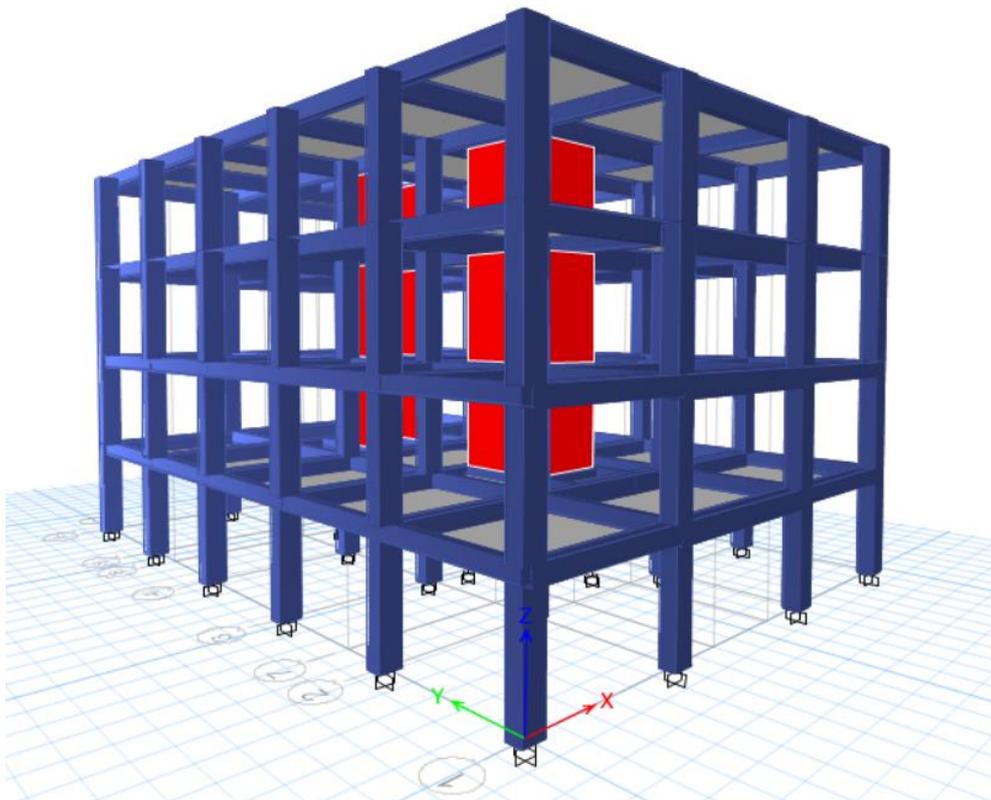


Figura 40: Modelo estructural 3D de edificio de 4 pisos, sin protección sísmica.

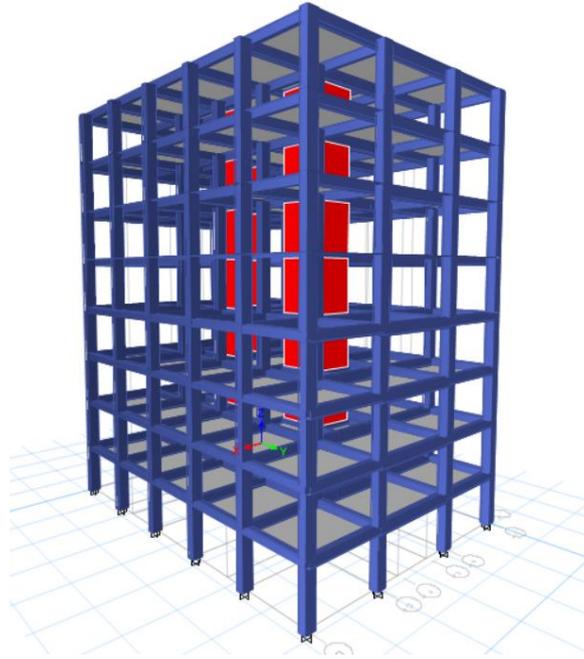


Figura 41: Modelo estructural 3D de edificio de 8 pisos, sin protección sísmica.

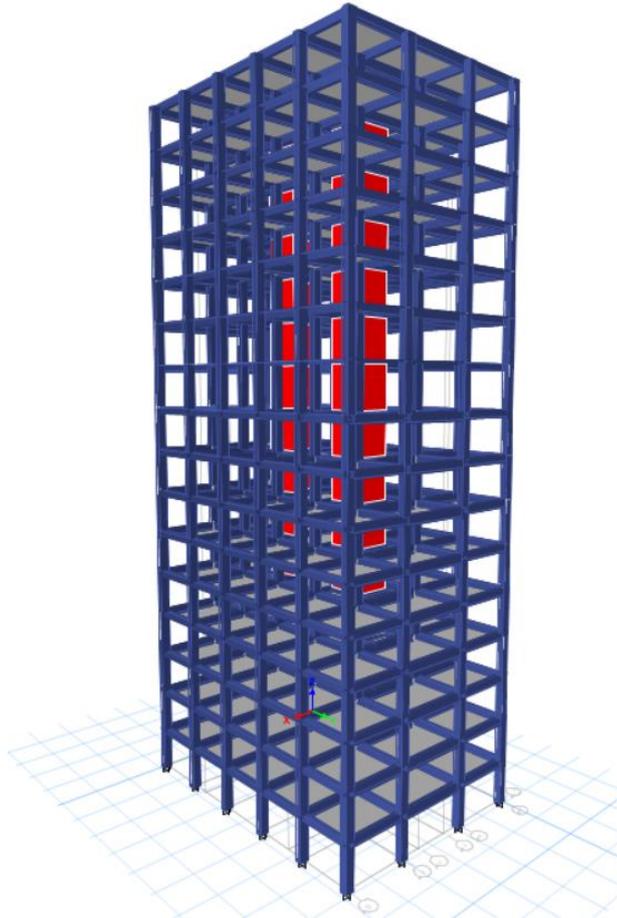


Figura 42: Modelo estructural 3D de edificio de 16 pisos, sin protección sísmica.

3.5.2. Análisis dinámico modal espectral

3.5.2.1. Parámetros sísmicos

a. Zonificación (Z).

Las edificaciones por estar proyectadas en el CC.PP. El Milagro, Trujillo, la norma E0.30, las clasifica como zona 4, por tal motivo el factor “Z” toma el valor de 0.45; según la Tabla N° 4 de la presente investigación.

b. Factor de uso (U).

Este factor es independiente para las 3 edificaciones, debido que las tres tienen usos distintos. Por tal motivo la edificación de uso Centro Comercial de 4 pisos toma el valor de $U=1.30$, por otro lado las edificaciones con uso de Oficinas y Vivienda multifamiliar toman el valor de $U=1.00$.

c. Periodo fundamental de vibración (T_n).

El periodo fundamental de vibración de cada una de las tres edificaciones se tomará del análisis estructural, con la intención de lograr mayor exactitud en los resultados, sin embargo en la Tabla N° 22, se presentan los periodos fundamentales aproximados de las tres edificaciones, que obedecen a la ecuación 2.6.5.3.e.4.

Tabla 22:

Estimación del periodo fundamental de las 3 edificaciones.

ESTIMACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN					
Uso	Sistema Estructural	N° pisos	hn (m)	Ct	Tn (seg.)
Centro Comercial	Pórticos + Muros en cajas de ascensores	4	12	45	0.2667
Oficinas	Pórticos + Muros en cajas de ascensores	8	24	45	0.5333
Vivienda Multif.	Pórticos + Muros en cajas de ascensores	16	48	45	1.0667

d. Parámetros de sitio (S, TP, TL).

De acuerdo a las propiedades del suelo de fundación, recopiladas de la microzonificación del Dr. Enrique Luján, las edificaciones se proyectan sobre arena pobremente graduada, con Vs entre 180 m/s y 500 m/s y SPT N60 entre 15 y 50, según la clasificación de la norma E0.30, es un suelo intermedio (Tipo S2); por tal motivo el factor de suelo $S=1.05$. Además los valores de periodos TP Y TL son 0.60 seg. y 2.0 seg. respectivamente.

e. Coeficiente de reducción sísmica (R).

Para determinar el coeficiente R, de cada edificación, se siguen los lineamientos de la Tabla N° 8 de la presente investigación; por tal motivo en la Tabla N° 23, se presenta los coeficientes para las edificaciones de 4 pisos, 8 pisos y 16 pisos, los cuales se determinarán con un análisis dinámico modal espectral de manera iterativa, empezando con un $R=8$.

Tabla 23:
Coeficiente de reducción sísmica para las 3 edificaciones.

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN SÍSMICA							
Dirección	Edificación	Vb Total	Vmuro (Tn)	Vmuro (%)	Vcol (Tn)	Vcol (%)	R
X-X	Centro Comercial	236.601	137.977	58.32%	98.624	41.68%	7
	Oficinas	330.836	236.286	71.42%	94.550	28.58%	7
	Vivienda Multif.	305.490	217.070	71.06%	88.420	28.94%	7
Y-Y	Centro Comercial	265.123	209.120	78.88%	56.003	21.12%	7
	Oficinas	266.179	229.615	86.26%	36.564	13.74%	6
	Vivienda Multif.	243.770	209.870	86.09%	33.900	13.91%	6

Además, cabe mencionar que cuando se realiza el análisis comparativo del desempeño sísmico de cada estructura, se emplea $R=1$, tanto para las estructuras con protección sísmica y sin protección sísmica.

3.5.2.2. Función espectral

La función espectral para todos los análisis dinámicos realizados en la presente investigación obedecen al Sismo Máximo Considerado (SMC). Los espectros de pseudo-aceleraciones para las 3 edificaciones se presentan en las siguientes figuras. La Figura 43, presenta la gráfica del espectro utilizado para el análisis dinámico en la edificación de 4 pisos; por otro lado, la Figura 44, presenta dos gráficas de funciones espectrales utilizadas para el análisis dinámico en la edificación de 8 pisos y 16 pisos, debido que estas ultimas edificaciones, tienen los mismos parámetros sísmicos para la construcción de sus funciones espectrales.

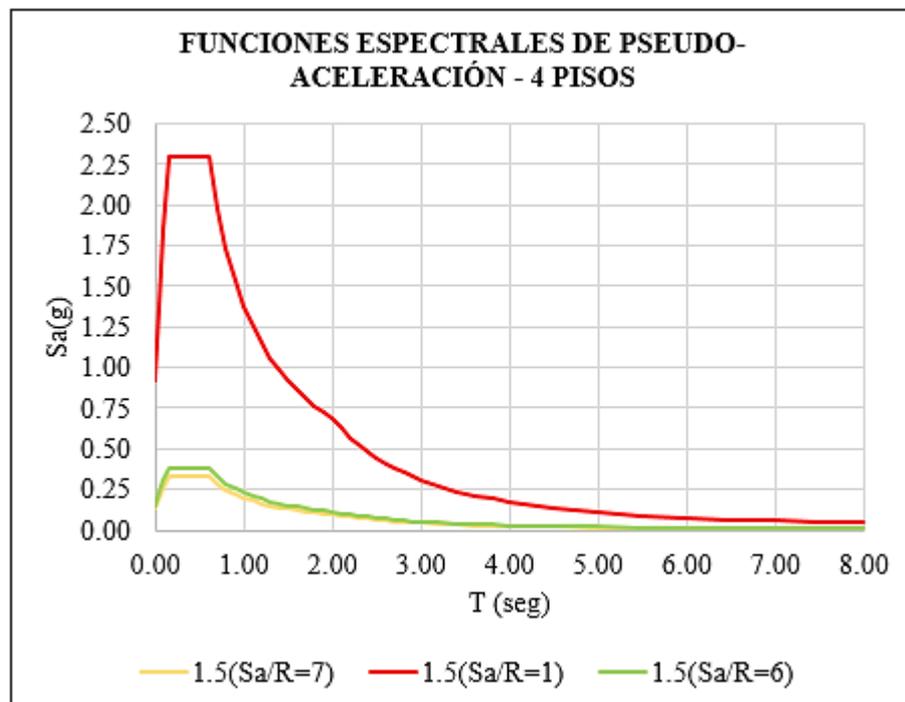


Figura 43: Función espectral de pseudo-aceleraciones para edificación de 4 pisos.

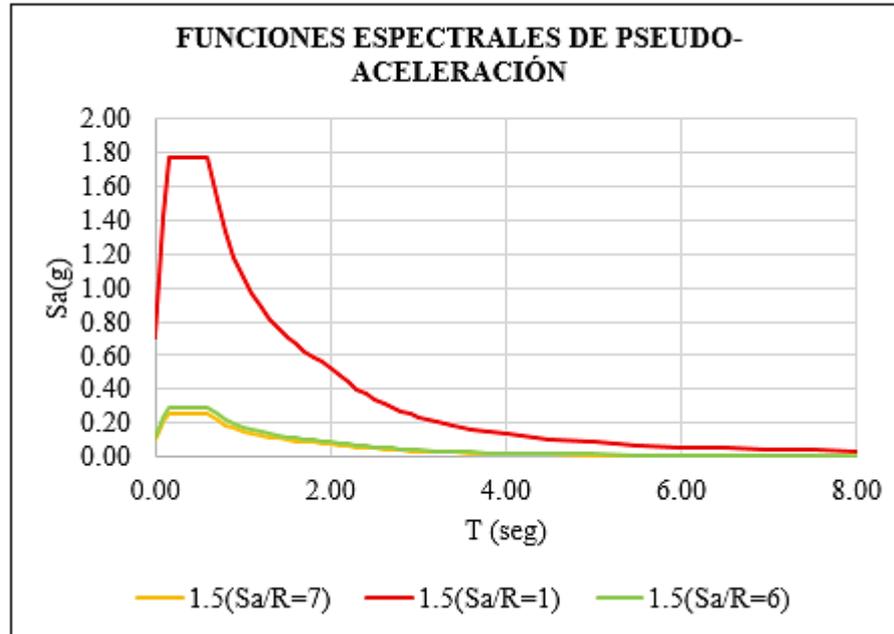


Figura 44: Función espectral de psuedo-aceleraciones para edificación de 8 y 16 pisos.

3.5.2.3. Formas modales y masa participativa

Como se observa en la Tabla N° 24, para la estructura de 4 pisos, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 6 y en la dirección “Y” en el modo 5; sin embargo, se observa que en el primer modo predomina la rotación en el eje Z con un periodo de 0.296 seg. y una participación del 81%, lo cual no es lo adecuado, puesto que en los 2 primeros modos debería predominar la traslación en “X” o “Y”.

Tabla 24:

Formas modales y Masa participativa de estructura de 4 pisos sin protección sísmica.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA - 4 PISOS								
Modo	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.358	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.810	0.810
2	0.352	0.000	0.760	0.000	0.000	0.760	0.000	0.810
3	0.296	0.802	0.000	0.000	0.802	0.760	0.000	0.810
4	0.101	0.000	0.000	0.000	0.802	0.760	0.144	0.954
5	0.082	0.000	0.182	0.000	0.802	0.942	0.000	0.954
6	0.082	0.150	0.000	0.000	0.952	0.942	0.000	0.954

7	0.053	0.000	0.000	0.000	0.952	0.942	0.036	0.989
8	0.043	0.035	0.000	0.000	0.986	0.942	0.000	0.989
9	0.039	0.000	0.045	0.000	0.986	0.987	0.000	0.989
10	0.038	0.000	0.000	0.000	0.986	0.987	0.009	0.999
11	0.031	0.008	0.000	0.000	0.994	0.987	0.000	0.999
12	0.027	0.000	0.008	0.000	0.994	0.995	0.000	0.999

Por otro lado, como se observa en la Tabla N° 25, para la estructura de 8 pisos, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 8 y en la dirección “Y” en el modo 9; sin embargo, se observa que en el segundo modo predomina la rotación en el eje Z, con un periodo de 0.599 seg. y una participación del 75.8%, lo cual no es lo adecuado, puesto que en los 2 primeros modos debería predominar la traslación en “X” o “Y”.

Tabla 25:

Formas modales y Masa participativa de estructura de 8 pisos sin protección sísmica.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA - 8 PISOS							
Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.735	0.000	0.713	0.000	0.713	0.000	0.000
2	0.698	0.000	0.000	0.000	0.713	0.758	0.758
3	0.599	0.741	0.000	0.741	0.713	0.000	0.758
4	0.203	0.000	0.000	0.741	0.713	0.142	0.900
5	0.186	0.000	0.159	0.741	0.872	0.000	0.900
6	0.167	0.154	0.000	0.896	0.873	0.000	0.900
7	0.103	0.000	0.000	0.896	0.873	0.052	0.952
8	0.082	0.054	0.000	0.950	0.873	0.000	0.952
9	0.081	0.000	0.063	0.950	0.936	0.000	0.952
10	0.067	0.000	0.000	0.950	0.936	0.024	0.976
11	0.053	0.025	0.000	0.975	0.936	0.000	0.976
12	0.049	0.000	0.000	0.975	0.936	0.013	0.989
13	0.047	0.000	0.033	0.975	0.968	0.000	0.989
14	0.039	0.000	0.000	0.975	0.968	0.007	0.996
15	0.038	0.013	0.000	0.988	0.968	0.000	0.996
16	0.034	0.000	0.000	0.988	0.968	0.003	0.999
17	0.032	0.000	0.018	0.988	0.986	0.000	0.999
18	0.031	0.000	0.000	0.988	0.986	0.001	1.000
19	0.031	0.007	0.000	0.996	0.986	0.000	1.000
20	0.026	0.004	0.000	0.999	0.986	0.000	1.000

21	0.024	0.000	0.009	0.999	0.995	0.000	1.000
22	0.023	0.001	0.000	1.000	0.995	0.000	1.000
23	0.02	0.000	0.004	1.000	0.999	0.000	1.000
24	0.018	0.000	0.001	1.000	1.000	0.000	1.000

Asimismo, como se observa en la Tabla N° 26, para la estructura de 16 pisos, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 9 y en la dirección “Y” en el modo 8; sin embargo, se observa que en el segundo modo predomina la rotación en el eje Z, con un periodo de 1.518 seg. y una participación del 75.5%, lo cual no es lo adecuado, puesto que en los 2 primeros modos debería predominar la traslación en “X” o “Y”.

Tabla 26:

Formas modales y Masa participativa de estructura de 16 pisos sin protección sísmica.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA - 16 PISOS							
Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	1.800	0.000	0.721	0.000	0.721	0.000	0.000
2	1.518	0.000	0.000	0.000	0.721	0.755	0.755
3	1.383	0.725	0.000	0.725	0.721	0.000	0.755
4	0.504	0.000	0.133	0.725	0.855	0.000	0.755
5	0.460	0.000	0.000	0.725	0.855	0.125	0.879
6	0.392	0.149	0.000	0.874	0.855	0.000	0.879
7	0.241	0.000	0.000	0.874	0.855	0.048	0.927
8	0.238	0.000	0.053	0.874	0.907	0.000	0.927
9	0.194	0.051	0.000	0.924	0.907	0.000	0.927
10	0.156	0.000	0.000	0.924	0.907	0.026	0.953
11	0.140	0.000	0.030	0.924	0.937	0.000	0.953
12	0.123	0.027	0.000	0.951	0.937	0.000	0.953
13	0.112	0.000	0.000	0.951	0.937	0.015	0.968
14	0.092	0.000	0.019	0.951	0.956	0.000	0.968
15	0.088	0.016	0.000	0.967	0.956	0.000	0.968
16	0.086	0.000	0.000	0.967	0.956	0.010	0.978
17	0.070	0.000	0.000	0.967	0.956	0.007	0.984
18	0.068	0.010	0.000	0.977	0.956	0.000	0.984
19	0.066	0.000	0.013	0.977	0.969	0.000	0.984
20	0.059	0.000	0.000	0.977	0.969	0.005	0.989
21	0.054	0.007	0.000	0.984	0.969	0.000	0.989
22	0.051	0.000	0.000	0.984	0.969	0.003	0.993
23	0.050	0.000	0.009	0.984	0.979	0.000	0.993

24	0.046	0.005	0.000	0.989	0.979	0.000	0.993
25	0.045	0.000	0.000	0.989	0.979	0.003	0.995
26	0.040	0.000	0.000	0.989	0.979	0.002	0.997
27	0.040	0.000	0.007	0.989	0.985	0.000	0.997
28	0.039	0.004	0.000	0.992	0.985	0.000	0.997
29	0.037	0.000	0.000	0.992	0.985	0.001	0.998
30	0.034	0.003	0.000	0.995	0.985	0.000	0.998
31	0.034	0.000	0.000	0.995	0.985	0.001	0.999
32	0.033	0.000	0.005	0.995	0.990	0.000	0.999
33	0.032	0.000	0.000	0.995	0.990	0.001	1.000
34	0.031	0.002	0.000	0.997	0.990	0.000	1.000
35	0.031	0.000	0.000	0.997	0.990	0.000	1.000
36	0.030	0.000	0.000	0.997	0.990	0.000	1.000
37	0.028	0.000	0.004	0.997	0.994	0.000	1.000
38	0.028	0.001	0.000	0.998	0.994	0.000	1.000
39	0.026	0.001	0.000	0.999	0.994	0.000	1.000
40	0.025	0.000	0.003	0.999	0.996	0.000	1.000
41	0.024	0.001	0.000	1.000	0.996	0.000	1.000
42	0.023	0.000	0.000	1.000	0.996	0.000	1.000
43	0.023	0.000	0.000	1.000	0.996	0.000	1.000
44	0.022	0.000	0.002	1.000	0.998	0.000	1.000
45	0.021	0.000	0.001	1.000	0.999	0.000	1.000
46	0.019	0.000	0.001	1.000	1.000	0.000	1.000
47	0.018	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
48	0.018	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000

3.5.2.4. Control de distorsiones de entrepiso

Como se muestra en la Tabla N° 27, la estructura de la edificación de 4 pisos al incursionar en el rango inelástico con el sismo máximo considerado (SMC) y $R=1$, las distorsiones de entrepiso en la dirección X-X no sobrepasan el límite de 7.0%, mientras que en la dirección Y-Y si sobrepasan dicho límite alcanzado un valor máximo de 7.90%.

Tabla 27:

Distorsiones de entrepiso de estructura de 4 pisos convencional con sismo de diseño.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA CONVENCIONAL - 4 PISOS – 1.5ZUCS/R

Piso	Dirección	Factor
------	-----------	--------

		Deriva Elástica		Deriva Inelástica	≤ 7.0% (E0.30)
4	X	0.004890	1	4.89 ‰	Si
3	X	0.005924	1	5.92 ‰	Si
2	X	0.006107	1	6.11 ‰	Si
1	X	0.004316	1	4.32 ‰	Si
4	Y	0.007469	1	7.47 ‰	No
3	Y	0.007904	1	7.90 ‰	No
2	Y	0.007189	1	7.19 ‰	No
1	Y	0.004300	1	4.30 ‰	Si

Asimismo, como se muestra en la Tabla N° 28, la estructura de la edificación de 8 pisos al incursionar en el rango inelástico con el sismo máximo considerado, las derivas de 7 niveles en la dirección “X” y en la dirección “Y” sobrepasan el límite permisible de 7%, con un valor máximo de 13.63‰ en X-X y 15.24‰ en Y-Y, bajo los parámetros sísmicos de la norma E0.30 con el sismo máximo considerado (SMC) y R=1.

Tabla 28:

Distorsiones de entrepiso de estructura de 8 pisos convencional con sismo de diseño.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA CONVENCIONAL - 8 PISOS – 1.5ZUCS/R					
Piso	Dirección	Deriva Elástica	Factor	Deriva Inelástica	≤ 7.0% (E0.30)
8	X	0.00956	1	9.56 ‰	No
7	X	0.01124	1	11.24 ‰	No
6	X	0.01258	1	12.58 ‰	No
5	X	0.01346	1	13.46 ‰	No
4	X	0.01363	1	13.63 ‰	No
3	X	0.01278	1	12.78 ‰	No
2	X	0.01060	1	10.60 ‰	No
1	X	0.00571	1	5.71 ‰	Si
8	Y	0.01247	1	12.47 ‰	No
7	Y	0.01364	1	13.64 ‰	No
6	Y	0.01468	1	14.68 ‰	No
5	Y	0.01524	1	15.24 ‰	No
4	Y	0.01495	1	14.95 ‰	No
3	Y	0.01344	1	13.44 ‰	No

2	Y	0.01024	1	10.24 ‰	No
1	Y	0.00463	1	4.63 ‰	Si

Por otro lado, como se muestra en la Tabla N° 29, la estructura de la edificación de 16 pisos al incursionar en el rango inelástico, las derivas de 15 niveles en la dirección “X” y “Y” sobrepasan el límite permisible de 7‰, con un valor máximo de 15.91‰ en X-X y 18.99‰ en Y-Y, bajo los parámetros sísmicos de la norma E0.30 con el sismo máximo considerado (SMC) y R=1.

Tabla 29:

Distorsiones de entrepiso de estructura de 16 pisos convencional con sismo de diseño.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA CONVENCIONAL - 16 PISOS - ZUCS/R					
Piso	Dirección	Deriva Elástica	Factor	Deriva Inelástica	≤ 7.0‰ (E0.30)
16	X	0.01050	1	10.50 ‰	No
15	X	0.01160	1	11.60 ‰	No
14	X	0.01258	1	12.58 ‰	No
13	X	0.01350	1	13.50 ‰	No
12	X	0.01429	1	14.29 ‰	No
11	X	0.01494	1	14.94 ‰	No
10	X	0.01542	1	15.42 ‰	No
9	X	0.01575	1	15.75 ‰	No
8	X	0.01591	1	15.91 ‰	No
7	X	0.01588	1	15.88 ‰	No
6	X	0.01561	1	15.61 ‰	No
5	X	0.01503	1	15.03 ‰	No
4	X	0.01401	1	14.01 ‰	No
3	X	0.01239	1	12.39 ‰	No
2	X	0.00989	1	9.89 ‰	No
1	X	0.00525	1	5.25 ‰	Si
16	Y	0.01263	1	12.63 ‰	No
15	Y	0.01359	1	13.59 ‰	No
14	Y	0.01467	1	14.67 ‰	No
13	Y	0.01574	1	15.74 ‰	No
12	Y	0.01669	1	16.69 ‰	No
11	Y	0.01749	1	17.49 ‰	No
10	Y	0.01813	1	18.13 ‰	No
9	Y	0.01861	1	18.61 ‰	No
8	Y	0.01892	1	18.92 ‰	No
7	Y	0.01899	1	18.99 ‰	No

6	Y	0.01875	1	18.75 ‰	No
5	Y	0.01804	1	18.04 ‰	No
4	Y	0.01665	1	16.65 ‰	No
3	Y	0.01428	1	14.28 ‰	No
2	Y	0.01049	1	10.49 ‰	No
1	Y	0.00461	1	4.61 ‰	Si

3.6. Sistema de disipación de energía hysterético con disipadores SLB

3.6.1. Modelado de disipadores SLB

La incorporación de los dispositivos SLB en el modelo tridimensional, se crean como elementos tipo Links y las diagonales de sección tubular metálicas, en el software ETABS; los dispositivos SLB están definidos en el eje local 2 con la intención de que los elementos links tengan la capacidad a deformarse en la dirección paralela a su plano, y se pueda representar de esta forma, el comportamiento real de los dispositivos SLB en interacción con la estructura de cada edificación.

En la estructura de 4 pisos la ubicación más estratégica en la cual se colocan los dispositivos, para lograr mayor eficacia en la protección sísmica de la estructura, son en los ejes 1 y 6, en los vanos extremos y en los ejes A y D, en el vano central; como se muestra en la Figura 45.

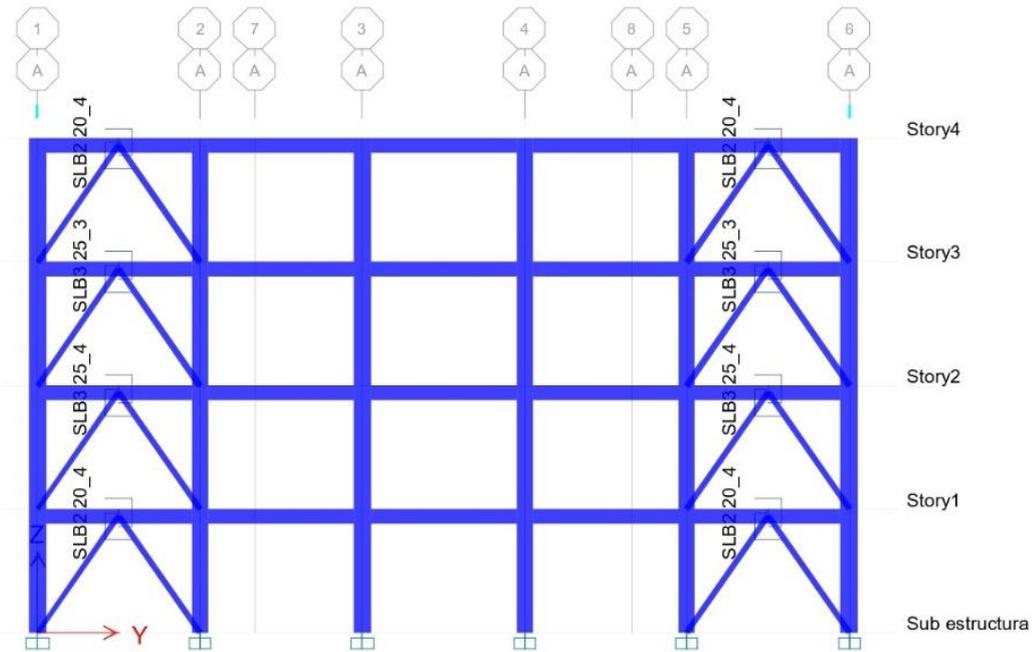


Figura 45: Modelado Tridimensional de disipadores SLB en eje A, en estructura de 4 pisos.

En la estructura de 8 pisos la ubicación más estratégica en la cual se colocan los dispositivos, para lograr mayor eficacia en la protección sísmica de la estructura son, en los ejes 1, 6, B y D; en los vanos extremos y en todos los niveles, como se muestra en la Figura 46.

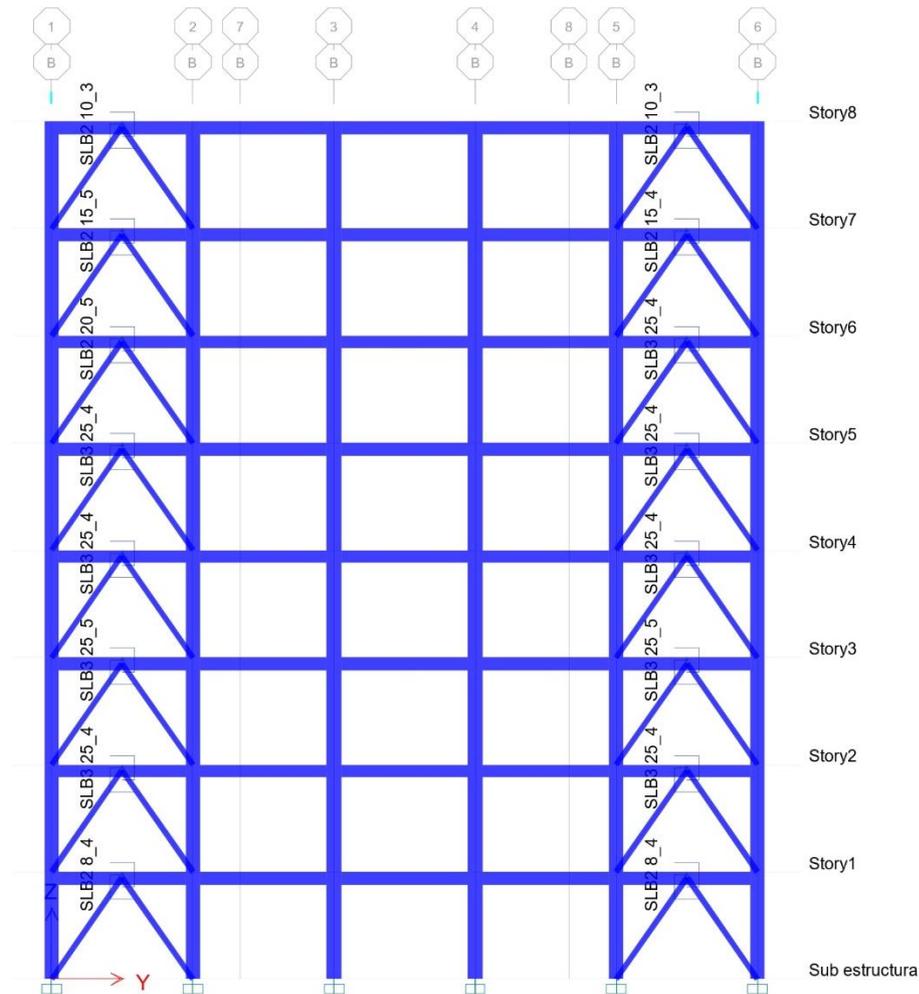


Figura 46: Modelado Tridimensional de disipadores SLB en eje B, en estructura de 8 pisos.

En la estructura de 16 pisos la ubicación más estratégica en la cual se colocan los dispositivos, para lograr mayor eficacia en la protección sísmica de la estructura son, en los ejes 1 y 6; en los vanos extremos de los niveles 2° al 16°, en los vanos de borde en los niveles 3° al 16° y en los vanos centrales de los niveles 6° al 16°, como se muestra en la Figura 46; mientras que para los ejes A y D; en los vanos extremos en los niveles 4° al 16° y en los vanos centrales en los niveles 2° al 16° y en todos los niveles.

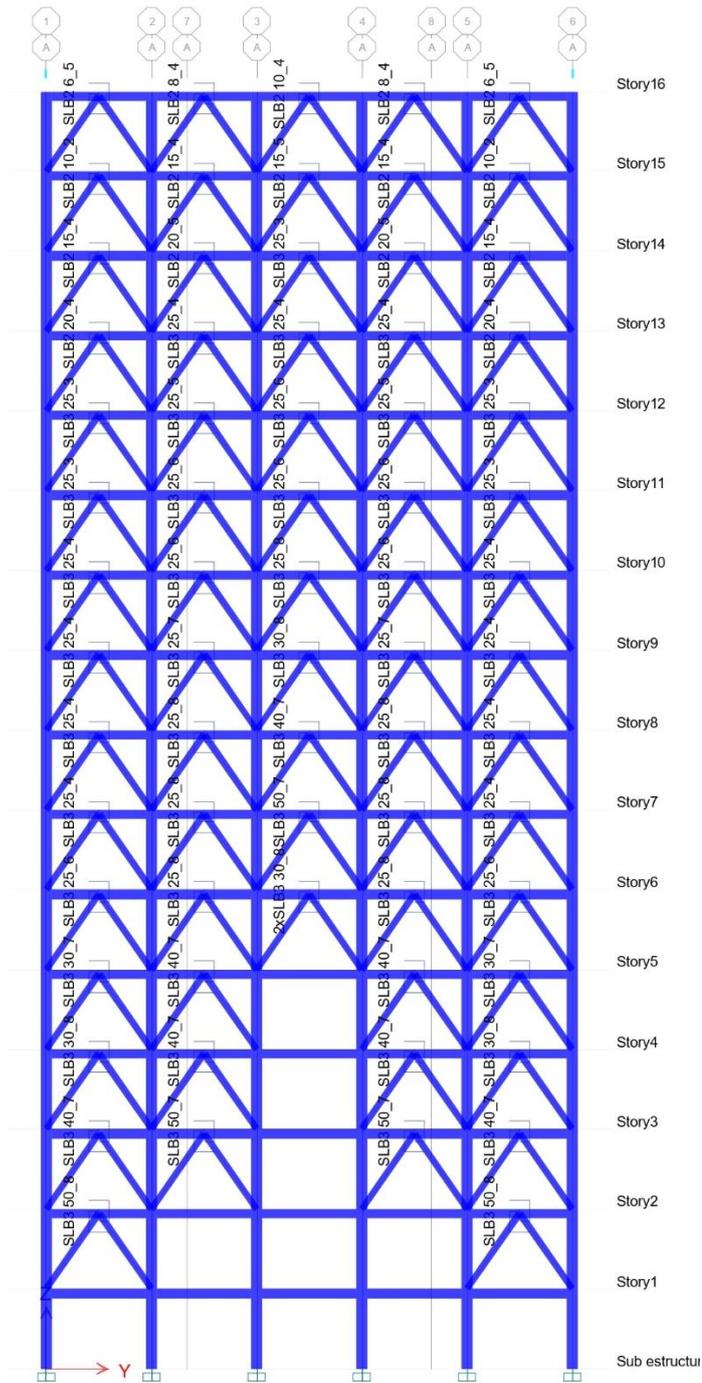


Figura 47: Modelado Tridimensional de disipadores SLB en eje A, en estructura de 16 pisos.

3.6.2. Análisis sísmico y diseño de disipadores SLB

3.6.2.1. Formas modales y masa participativas con disipadores SLB

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos.

Como se observa en la Tabla N° 30, para la estructura de 4 pisos con disipadores SLB, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 4 y en la dirección “Y” en el modo 6; asimismo, se observa que los dos primeros modos de vibración; con periodos de 0.270 seg. en “Y” y 0.264 seg. en “X”, son de traslación y el tercer modo; con periodo de 0.234 seg., es de rotación.

Tabla 30:

Formas modales y masa participativa de estructura de 4 pisos con disipadores SLB.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA - ESTRUCTURA DE 4 PISOS CON DISIPADORES SLB							
Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.270	0.000	0.778	0.000	0.778	0.000	0.000
2	0.264	0.802	0.000	0.802	0.778	0.000	0.000
3	0.234	0.000	0.000	0.802	0.778	0.824	0.824
4	0.077	0.149	0.000	0.951	0.778	0.000	0.824
5	0.077	0.000	0.000	0.951	0.778	0.135	0.959
6	0.073	0.000	0.169	0.951	0.947	0.000	0.959
7	0.043	0.000	0.000	0.951	0.947	0.032	0.991
8	0.041	0.035	0.000	0.986	0.947	0.000	0.991
9	0.036	0.000	0.041	0.986	0.987	0.000	0.991
10	0.031	0.000	0.000	0.986	0.987	0.008	0.999
11	0.029	0.008	0.000	0.994	0.987	0.000	0.999
12	0.025	0.000	0.008	0.994	0.995	0.000	0.999

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos.

Como se observa en la Tabla N° 31, para la estructura de 8 pisos con disipadores SLB, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 5 y en la dirección “Y” en el modo 9; asimismo, se observa que los dos primeros modos de vibración; con periodos de 0.506 seg., participación del 69.9% en “Y” y 0.472 seg. de periodo y participación del 71.4%. en “X”, son de traslación y el tercer modo; con periodo de 0.434 seg. y participación del 75.9%, con rotación en “Z”.

Tabla 31:
Formas modales y masa participativa de estructura de 8 pisos con disipadores SLB.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA - ESTRUCTURA DE 8 PSOS CON DISIPADORES SLB							
Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.506	0.033	0.699	0.033	0.699	0.000	0.000
2	0.472	0.714	0.033	0.747	0.732	0.000	0.000
3	0.434	0.000	0.000	0.747	0.732	0.759	0.759
4	0.146	0.001	0.155	0.748	0.887	0.000	0.759
5	0.141	0.154	0.001	0.902	0.888	0.000	0.759
6	0.139	0.000	0.000	0.902	0.888	0.155	0.914
7	0.075	0.000	0.000	0.902	0.888	0.047	0.961
8	0.072	0.051	0.000	0.953	0.888	0.000	0.961
9	0.071	0.000	0.057	0.953	0.945	0.000	0.961
10	0.051	0.000	0.000	0.953	0.945	0.021	0.981
11	0.047	0.024	0.000	0.977	0.945	0.000	0.981
12	0.043	0.000	0.028	0.977	0.973	0.000	0.981
13	0.039	0.000	0.000	0.977	0.973	0.010	0.991
14	0.035	0.012	0.000	0.989	0.973	0.000	0.991
15	0.032	0.000	0.000	0.989	0.973	0.005	0.997
16	0.030	0.000	0.015	0.989	0.988	0.000	0.997
17	0.028	0.007	0.000	0.996	0.988	0.000	0.997
18	0.028	0.000	0.000	0.996	0.988	0.003	0.999
19	0.025	0.000	0.000	0.996	0.988	0.001	1.000
20	0.024	0.003	0.000	0.999	0.988	0.000	1.000
21	0.023	0.000	0.008	0.999	0.996	0.000	1.000
22	0.022	0.001	0.000	1.000	0.996	0.000	1.000
23	0.020	0.000	0.003	1.000	0.999	0.000	1.000
24	0.018	0.000	0.001	1.000	1.000	0.000	1.000

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos.

Como se observa en la Tabla N° 32, para la estructura de 16 pisos con disipadores SLB, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 4 y en la dirección “Y” en el modo 5; asimismo, se observa que los dos primeros modos de vibración; con periodos de 0.891 seg., participación del 74.10% en “X” y 0.820 seg. de periodo y participación del 76.30%. en “Y”, son de traslación y el tercer modo; con periodo de 0.504 seg. y participación del 92.20%, con rotación en “Z”.

Tabla 32:

Formas modales y masa participativa de estructura de 16 pisos con disipadores SLB.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA - ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON DISIPADORES SLB							
Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.891	0.741	0.000	0.741	0.000	0.000	0.000
2	0.820	0.000	0.763	0.741	0.763	0.000	0.000
3	0.504	0.000	0.000	0.741	0.763	0.922	0.922
4	0.271	0.182	0.000	0.923	0.763	0.000	0.922
5	0.260	0.000	0.149	0.923	0.912	0.000	0.922
6	0.167	0.000	0.000	0.923	0.912	0.052	0.974
7	0.133	0.034	0.000	0.957	0.912	0.000	0.974
8	0.132	0.000	0.033	0.957	0.945	0.000	0.974
9	0.097	0.000	0.000	0.957	0.945	0.012	0.986
10	0.088	0.000	0.019	0.957	0.965	0.000	0.986
11	0.087	0.015	0.000	0.972	0.965	0.000	0.986
12	0.069	0.000	0.000	0.972	0.965	0.006	0.992
13	0.065	0.000	0.011	0.972	0.976	0.000	0.992
14	0.064	0.010	0.000	0.982	0.976	0.000	0.992
15	0.053	0.000	0.000	0.982	0.976	0.004	0.996
16	0.051	0.008	0.000	0.990	0.976	0.000	0.996
17	0.049	0.000	0.007	0.990	0.983	0.000	0.996
18	0.043	0.000	0.000	0.990	0.983	0.002	0.998
19	0.043	0.004	0.000	0.994	0.983	0.000	0.998
20	0.039	0.000	0.005	0.994	0.988	0.000	0.998
21	0.037	0.000	0.000	0.994	0.988	0.001	0.999
22	0.036	0.002	0.000	0.996	0.988	0.000	0.999
23	0.033	0.000	0.004	0.996	0.992	0.000	0.999
24	0.032	0.000	0.000	0.996	0.992	0.000	0.999
25	0.031	0.001	0.000	0.997	0.992	0.000	0.999
26	0.028	0.000	0.003	0.997	0.995	0.000	0.999
27	0.028	0.001	0.000	0.998	0.995	0.000	0.999
28	0.028	0.000	0.000	0.998	0.995	0.000	1.000
29	0.025	0.001	0.000	0.999	0.995	0.000	1.000
30	0.025	0.000	0.000	0.999	0.995	0.000	1.000
31	0.025	0.000	0.002	0.999	0.997	0.000	1.000
32	0.023	0.001	0.000	1.000	0.997	0.000	1.000
33	0.023	0.000	0.000	1.000	0.997	0.000	1.000
34	0.022	0.000	0.001	1.000	0.999	0.000	1.000
35	0.022	0.000	0.000	1.000	0.999	0.000	1.000
36	0.021	0.000	0.000	1.000	0.999	0.000	1.000
37	0.021	0.000	0.000	1.000	0.999	0.000	1.000
38	0.020	0.000	0.001	1.000	0.999	0.000	1.000
39	0.020	0.000	0.000	1.000	0.999	0.000	1.000
40	0.019	0.000	0.000	1.000	0.999	0.000	1.000

41	0.018	0.000	0.000	1.000	0.999	0.000	1.000
42	0.018	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
43	0.018	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
44	0.017	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
45	0.017	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
46	0.017	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
47	0.016	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
48	0.016	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000

3.6.2.2. Distorsiones de entrepiso con disipadores SLB

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos.

Como se muestra en la Tabla N° 33, la estructura de la edificación de 4 pisos con disipadores SLB al incursionar en el rango inelástico, las derivas en las dos direcciones ortogonales del análisis, no sobrepasan el límite permisible de 7‰, bajo los parámetros sísmicos de la norma E0.30 y con el sismo máximo considerado (SMC), alcanzando una deriva máxima de 4.22‰ en la dirección “X” y 4.28‰ en la dirección “Y”.

Tabla 33:

Distorsiones de entrepiso de estructura de 4 pisos con disipadores SLB aplicando SMC.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA 4 PISOS - CON DISIPADORES SLB - SISMO MÁXIMO (SMC)					
Piso	Dirección	Deriva Elástica	Factor	Deriva Inelástica	≤ 7.0‰ (E0.30)
4	X	0.000684	5.25	3.59 ‰	Si
3	X	0.000785	5.25	4.12 ‰	Si
2	X	0.000803	5.25	4.22 ‰	Si
1	X	0.000596	5.25	3.13 ‰	Si
4	Y	0.000749	5.25	3.93 ‰	Si
3	Y	0.000816	5.25	4.28 ‰	Si
2	Y	0.000774	5.25	4.06 ‰	Si
1	Y	0.000512	5.25	2.69 ‰	Si

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos.

Como se muestra en la Tabla N° 34, la estructura de la edificación de 8 pisos con disipadores SLB al incursionar en el rango inelástico, las derivas en las dos direcciones ortogonales del análisis, no sobrepasan el límite permisible de 7%, bajo los parámetros sísmicos de la norma E0.30 y con el sismo máximo considerado (SMC), con una deriva máxima de 5.70‰ en la dirección “X” y 6.19‰ en la dirección “Y”.

Tabla 34:

Distorsiones de entrepiso de estructura de 8 pisos con disipadores SLB aplicando SMC.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA DE 8 PISOS CON DISIPADORES SLB - SISMO MÁXIMO (SMC)

Piso	Dirección	Deriva Elástica	Factor	Deriva Inelástica	≤ 7.0‰ (E0.30)
8	X	0.00083	5.25	4.36 ‰	Si
7	X	0.00095	5.25	4.97 ‰	Si
6	X	0.00103	5.25	5.40 ‰	Si
5	X	0.00109	5.25	5.70 ‰	Si
4	X	0.00108	5.25	5.69 ‰	Si
3	X	0.00102	5.25	5.35 ‰	Si
2	X	0.00087	5.25	4.57 ‰	Si
1	X	0.00052	5.25	2.73 ‰	Si
8	Y	0.00114	4.50	5.14 ‰	Si
7	Y	0.00125	4.50	5.61 ‰	Si
6	Y	0.00133	4.50	5.98 ‰	Si
5	Y	0.00138	4.50	6.19 ‰	Si
4	Y	0.00136	4.50	6.12 ‰	Si
3	Y	0.00125	4.50	5.64 ‰	Si
2	Y	0.00102	4.50	4.59 ‰	Si
1	Y	0.00056	4.50	2.51 ‰	Si

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos.

Como se muestra en la Tabla N° 35, la estructura de la edificación de 16 pisos con disipadores SLB al incursionar en el rango inelástico, las derivas en las dos

direcciones ortogonales del análisis, no sobrepasan el límite permisible de 7%, bajo los parámetros sísmicos de la norma E0.30 y con el sismo máximo considerado (SMC), con una deriva máxima de 6.43‰ en la dirección “X” y 5.35‰ en la dirección “Y”.

Tabla 35:

Distorsiones de entrepiso de estructura de 16 pisos con disipadores SLB aplicando SMC.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON DISIPADORES - SISMO MÁXIMO (SMC)					
Piso	Dirección	Deriva Elástica	Factor	Deriva Inelástica	≤ 7.0‰ (E0.30)
16	X	0.001136	5.25	5.96 ‰	Si
15	X	0.001170	5.25	6.14 ‰	Si
14	X	0.001179	5.25	6.19 ‰	Si
13	X	0.001207	5.25	6.34 ‰	Si
12	X	0.001224	5.25	6.43 ‰	Si
11	X	0.001224	5.25	6.43 ‰	Si
10	X	0.001210	5.25	6.35 ‰	Si
9	X	0.001183	5.25	6.21 ‰	Si
8	X	0.001150	5.25	6.04 ‰	Si
7	X	0.001089	5.25	5.72 ‰	Si
6	X	0.001025	5.25	5.38 ‰	Si
5	X	0.000952	5.25	5.00 ‰	Si
4	X	0.000883	5.25	4.64 ‰	Si
3	X	0.001077	5.25	5.65 ‰	Si
2	X	0.000996	5.25	5.23 ‰	Si
1	X	0.000894	5.25	4.69 ‰	Si
16	Y	0.001086	4.50	4.89 ‰	Si
15	Y	0.001106	4.50	4.98 ‰	Si
14	Y	0.001118	4.50	5.03 ‰	Si
13	Y	0.001140	4.50	5.13 ‰	Si
12	Y	0.001160	4.50	5.22 ‰	Si
11	Y	0.001183	4.50	5.32 ‰	Si
10	Y	0.001189	4.50	5.35 ‰	Si
9	Y	0.001181	4.50	5.31 ‰	Si
8	Y	0.001162	4.50	5.23 ‰	Si
7	Y	0.001136	4.50	5.11 ‰	Si
6	Y	0.001120	4.50	5.04 ‰	Si
5	Y	0.001214	4.50	5.46 ‰	Si
4	Y	0.001204	4.50	5.42 ‰	Si

3	Y	0.001155	4.50	5.20 ‰	Si
2	Y	0.001183	4.50	5.32 ‰	Si
1	Y	0.000870	4.50	3.92 ‰	Si

3.6.2.3. Diseño interactivo de disipadores SLB

A continuación se presentan las tablas de diseño en la cual se seleccionan los disipadores SLB para controlar las distorsiones de entrepiso y cumplir con lo estipulado en la norma E0.30, además, estos dispositivos cumplen con la relación D/C mayor a 1.0 y menor a 1.5, con lo cual se garantiza la deformación de los dispositivos; a consecuencia, se disipa la energía de entrada por histéresis de estos elementos.

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

En esta Tabla N° 36, se puede observar los 24 disipadores que se incorporaron en la estructura de 4 pisos. La cuarta columna muestra los dispositivos preseleccionados “Dissipator” y la séptima columna los dispositivos finalmente colocados “Dissipator ETABS” los cuales tienen la fuerza cortante “Fy ETABS” que logra cumplir con la D/C en relación al cortante actuante “V2”.

Tabla 36:

Diseño interactivo directo de disipadores SLB en estructura de 4 pisos.

DISEÑO ITERATIVO DIRECTO DE DISIPADORES SLB EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS										
Story	Links	V2 (kN)	Dissipator	Fy (kN)	Fy máx (kN)	Dissipator ETABS	Fy (kN) ETABS	Fy máx (kN) ETABS	V2 (kN) it.	D/C It.
Story4	K7	120.29	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	256.3	1.36
Story4	K8	82.53	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 10_4	93	166.26	136.56	1.47
Story4	K9	82.53	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 10_4	93	166.26	136.56	1.47
Story4	K10	120.2	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	256.1	1.36
Story4	K11	120.2	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	256.1	1.36
Story4	K12	120.29	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	256.3	1.36

Story3	K13	133.06	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	350.81	1.47
Story3	K14	102.86	SLB2 10_2	68	128.71	SLB3 25_4	279.6	526.49	408.98	1.46
Story3	K15	102.86	SLB2 10_2	68	128.71	SLB3 25_4	279.6	526.49	408.98	1.46
Story3	K16	132.97	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	350.63	1.47
Story3	K17	132.97	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	350.63	1.47
Story3	K18	133.06	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	350.81	1.47
Story2	K19	126.93	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	402.35	1.44
Story2	K20	108.56	SLB2 10_2	68	128.71	SLB3 25_6	357.1	655.63	505.65	1.42
Story2	K21	108.56	SLB2 10_2	68	128.71	SLB3 25_6	357.1	655.63	505.65	1.42
Story2	K22	126.86	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	402.17	1.44
Story2	K23	126.86	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	402.17	1.44
Story2	K24	126.93	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	402.35	1.44
Story1	K1	82.46	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 20_4	188.3	348.53	273.4	1.45
Story1	K2	79.69	SLB2 8_3	58	107.57	SLB3 25_4	279.6	526.49	393.28	1.41
Story1	K3	79.69	SLB2 8_3	58	107.57	SLB3 25_4	279.6	526.49	393.28	1.41
Story1	K4	82.42	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 20_4	188.3	348.53	273.31	1.45
Story1	K5	82.42	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 20_4	188.3	348.53	273.31	1.45
Story1	K6	82.46	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 20_4	188.3	348.53	273.4	1.45

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

En esta Tabla N° 37, se puede observar los 80 disipadores que se incorporaron en la estructura de 8 pisos. La cuarta columna muestra los dispositivos preseleccionados “Dissipator” y la séptima columna los dispositivos finalmente colocados “Dissipator ETABS” los cuales tienen la fuerza cortante “Fy ETABS” que logra cumplir con la D/C en relación al cortante actuante “V2”.

Tabla 37:

Diseño interactivo directo de disipadores SLB en estructura de 8 pisos.

DISEÑO ITERATIVO DIRECTO DE DISIPADORES SLB EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS										
Story	Links	V2 (kN)	Dissipator	Fy (kN)	Fy máx (kN)	Dissipator ETABS	Fy (kN) ETABS	Fy máx (kN) ETABS	V2 (kN) it.	D/C It.
Story8	K1	115.38	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_3	81.1	148.63	104.97	1.29
Story8	K52	115.38	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_3	81.1	148.63	104.97	1.29
Story8	K8	116.76	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_3	81.1	148.63	106.86	1.32
Story8	K32	116.76	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_3	81.1	148.63	106.86	1.32
Story8	K18	55.5	SLB2 6_3	41	79.21	SLB2 6_3	41	79.21	36.56	0.89
Story8	K37	55.5	SLB2 6_3	41	79.21	SLB2 6_3	41	79.21	36.56	0.89
Story8	K68	109.73	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_3	81.1	148.63	97.95	1.21
Story8	K69	109.73	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_3	81.1	148.63	97.95	1.21
Story8	K21	92.43	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	71.93	1.08
Story8	K45	92.43	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	71.93	1.08
Story7	K2	195.44	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB2 15_5	172.5	310.13	219.54	1.27
Story7	K19	90.17	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	71.25	1.07
Story7	K42	90.17	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	71.25	1.07
Story7	K53	195.44	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB2 15_5	172.5	310.13	219.54	1.27
Story7	K11	216.04	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB2 15_4	149.7	276.57	209.03	1.4
Story7	K35	216.04	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB2 15_4	149.7	276.57	209.03	1.4
Story7	K70	250.98	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB2 20_5	218.4	395.71	278.23	1.27
Story7	K71	250.98	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB2 20_5	218.4	395.71	278.23	1.27
Story7	K22	214.61	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB2 15_4	149.7	276.57	211.24	1.41
Story7	K46	214.61	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB2 15_4	149.7	276.57	211.24	1.41
Story6	K5	288.42	SLB2 20_4	188.3	348.53	SLB2 20_5	218.4	395.71	293.2	1.34
Story6	K24	172.82	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB2 15_3	126.1	240.45	169.2	1.34
Story6	K43	172.82	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB2 15_3	126.1	240.45	169.2	1.34
Story6	K54	288.42	SLB2 20_4	188.3	348.53	SLB2 20_5	218.4	395.71	293.2	1.34
Story6	K14	295.72	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	333.42	1.19
Story6	K38	295.72	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	333.42	1.19
Story6	K72	367.99	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	379.91	1.36
Story6	K73	367.99	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	379.91	1.36
Story6	K27	308.18	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	355.71	1.27
Story6	K65	308.18	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	355.71	1.27
Story5	K6	361.87	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	373.24	1.33
Story5	K25	242.37	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB2 20_4	188.3	348.53	256.67	1.36
Story5	K48	242.37	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB2 20_4	188.3	348.53	256.67	1.36
Story5	K55	361.87	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	373.24	1.33
Story5	K17	363.89	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	373.02	1.33
Story5	K41	363.89	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	373.02	1.33
Story5	K74	464.7	SLB3 25_5	319	592.39	SLB3 25_5	319	592.39	458.21	1.44
Story5	K75	464.7	SLB3 25_5	319	592.39	SLB3 25_5	319	592.39	458.21	1.44
Story5	K28	415.06	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	408.96	1.46
Story5	K66	415.06	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	408.96	1.46
Story4	K7	412.43	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	405.04	1.45

Story4	K30	336.23	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_3	238.2	457.15	331.08	1.39
Story4	K49	336.23	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_3	238.2	457.15	331.08	1.39
Story4	K56	412.43	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	405.04	1.45
Story4	K20	416.35	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	406.54	1.45
Story4	K44	416.35	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	406.54	1.45
Story4	K76	535.67	SLB3 25_7	394.5	716.83	SLB3 25_7	394.5	716.83	532.26	1.35
Story4	K77	535.67	SLB3 25_7	394.5	716.83	SLB3 25_7	394.5	716.83	532.26	1.35
Story4	K33	491.8	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	488.21	1.37
Story4	K67	491.8	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	488.21	1.37
Story3	K12	443.76	SLB3 25_5	319	592.39	SLB3 25_5	319	592.39	436.98	1.37
Story3	K31	367.34	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	384.55	1.38
Story3	K50	367.34	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	384.55	1.38
Story3	K57	443.76	SLB3 25_5	319	592.39	SLB3 25_5	319	592.39	436.98	1.37
Story3	K23	425.55	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_5	319	592.39	436.43	1.37
Story3	K47	425.55	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_5	319	592.39	436.43	1.37
Story3	K3	556.61	SLB3 25_7	394.5	716.83	SLB3 25_7	394.5	716.83	554.1	1.4
Story3	K10	556.61	SLB3 25_7	394.5	716.83	SLB3 25_7	394.5	716.83	554.1	1.4
Story3	K34	517.82	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	514.46	1.44
Story3	K78	517.82	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	514.46	1.44
Story2	K13	401.22	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	397.17	1.42
Story2	K36	368.04	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	387.01	1.38
Story2	K51	368.04	SLB3 25_3	238.2	457.15	SLB3 25_4	279.6	526.49	387.01	1.38
Story2	K58	401.22	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	397.17	1.42
Story2	K26	401.91	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	396.46	1.42
Story2	K63	401.91	SLB3 25_4	279.6	526.49	SLB3 25_4	279.6	526.49	396.46	1.42
Story2	K4	531.69	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	527.03	1.48
Story2	K15	531.69	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	527.03	1.48
Story2	K39	518.4	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	513.08	1.44
Story2	K79	518.4	SLB3 25_6	357.1	655.63	SLB3 25_6	357.1	655.63	513.08	1.44
Story1	K59	93.95	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	93.41	1.41
Story1	K60	138.57	SLB2 10_4	93	166.26	SLB2 10_4	93	166.26	137.3	1.48
Story1	K61	138.57	SLB2 10_4	93	166.26	SLB2 10_4	93	166.26	137.3	1.48
Story1	K62	93.95	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	93.41	1.41
Story1	K29	93.83	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	93.25	1.41
Story1	K64	93.83	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 8_4	66.3	120.87	93.25	1.41
Story1	K9	314.95	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	365.57	1.31
Story1	K16	314.95	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	365.57	1.31
Story1	K40	314.4	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	364.89	1.31
Story1	K80	314.4	SLB3 25_2	194.8	383.5	SLB3 25_4	279.6	526.49	364.89	1.31

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

En esta Tabla N° 38, se puede observar los 230 disipadores; de los cuales 10 son dobles, que se incorporaron en la estructura de 16 pisos. La cuarta columna

muestra los dispositivos preseleccionados “Dissipator” y la séptima columna los dispositivos finalmente colocados “Dissipator ETABS” los cuales tienen la fuerza cortante “Fy ETABS” que logra cumplir con la D/C en relación al cortante actuante “V2”.

Tabla 38:
Diseño iterativo directo de disipadores SLB en estructura de 16 pisos.

DISEÑO ITERATIVO DIRECTO DE DISIPADORES SLB EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS										
Story	Links	V2 (kN)	Dissipator	Fy (kN)	Fy máx (kN)	Dissipator ETABS	Fy (kN) ETABS	Fy máx (kN) ETABS	V2 (kN) it.	D/C It.
Story16	K5	64.87	SLB2 6_5	47.4	96.67	SLB2 6_5	47.4	96.67	47.82	1.01
Story16	K6	64.93	SLB2 6_5	47.4	96.67	SLB2 6_5	47.4	96.67	47.99	1.01
Story16	K7	64.93	SLB2 6_5	47.4	96.67	SLB2 6_5	47.4	96.67	47.99	1.01
Story16	K8	64.87	SLB2 6_5	47.4	96.67	SLB2 6_5	47.4	96.67	47.82	1.01
Story16	K61	88.92	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 8_4	66.3	120.87	79.72	1.2
Story16	K76	88.87	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 8_4	66.3	120.87	79.67	1.2
Story16	K91	88.92	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 8_4	66.3	120.87	79.72	1.2
Story16	K106	88.87	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 8_4	66.3	120.87	79.67	1.2
Story16	K105	115.67	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_4	93	166.26	119.27	1.28
Story16	K128	115.67	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 10_4	93	166.26	119.27	1.28
Story16	K156	89.21	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 10_2	68	128.71	79.09	1.16
Story16	K157	89.21	SLB2 8_3	58	107.57	SLB2 10_2	68	128.71	79.09	1.16
Story16	K143	92.77	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 10_2	68	128.71	85.81	1.26
Story16	K144	92.88	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 10_2	68	128.71	84.07	1.24
Story16	K145	92.88	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 10_2	68	128.71	84.07	1.24
Story16	K146	92.77	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 10_2	68	128.71	85.81	1.26
Story15	K9	78.24	SLB2 8_2	48.1	92.76	SLB2 10_2	68	128.71	97.36	1.43
Story15	K10	78.28	SLB2 8_2	48.1	92.76	SLB2 10_2	68	128.71	97.27	1.43
Story15	K11	78.28	SLB2 8_2	48.1	92.76	SLB2 10_2	68	128.71	97.27	1.43
Story15	K12	78.24	SLB2 8_2	48.1	92.76	SLB2 10_2	68	128.71	97.36	1.43
Story15	K62	103.54	SLB2 10_2	68	128.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	196.34	1.31
Story15	K77	103.5	SLB2 10_2	68	128.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	195.83	1.31
Story15	K92	103.54	SLB2 10_2	68	128.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	196.34	1.31
Story15	K107	103.5	SLB2 10_2	68	128.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	195.83	1.31
Story15	K118	130.34	SLB2 10_4	93	166.26	SLB2 15_5	172.5	310.13	224.75	1.3
Story15	K129	130.34	SLB2 10_4	93	166.26	SLB2 15_5	172.5	310.13	224.75	1.3
Story15	K158	108.14	SLB2 10_2	68	128.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	189.78	1.27
Story15	K159	108.14	SLB2 10_2	68	128.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	189.78	1.27
Story15	K147	110.58	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 15_5	172.5	310.13	227.62	1.32
Story15	K148	110.68	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	249.51	1.33
Story15	K149	110.68	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	249.51	1.33
Story15	K150	110.58	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 15_5	172.5	310.13	227.62	1.32
Story14	K13	94.27	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 15_4	149.7	276.57	192	1.28

Story14	K14	94.3	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 15_4	149.7	276.57	191.75	1.28
Story14	K15	94.3	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 15_4	149.7	276.57	191.75	1.28
Story14	K16	94.27	SLB2 8_4	66.3	120.87	SLB2 15_4	149.7	276.57	192	1.28
Story14	K63	120.94	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_5	218.4	395.71	288.98	1.32
Story14	K78	120.89	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_5	218.4	395.71	288.75	1.32
Story14	K93	120.94	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_5	218.4	395.71	288.98	1.32
Story14	K108	120.89	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_5	218.4	395.71	288.75	1.32
Story14	K119	148.04	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	299.4	1.26
Story14	K130	148.04	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	299.4	1.26
Story14	K160	126.56	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_5	319	592.39	454.19	1.42
Story14	K161	126.56	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_5	319	592.39	454.19	1.42
Story14	K151	127.21	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	309.65	1.11
Story14	K152	127.3	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	305.77	1.09
Story14	K153	127.3	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	305.77	1.09
Story14	K154	127.21	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	309.65	1.11
Story13	K17	111.02	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	279.22	1.48
Story13	K18	111.03	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	279.09	1.48
Story13	K19	111.03	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	279.09	1.48
Story13	K20	111.02	SLB2 10_3	81.1	148.63	SLB2 20_4	188.3	348.53	279.22	1.48
Story13	K64	139.12	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	316.61	1.13
Story13	K79	139.08	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	316.42	1.13
Story13	K94	139.12	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	316.61	1.13
Story13	K109	139.08	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_4	279.6	526.49	316.42	1.13
Story13	K120	166.89	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	405.29	1.45
Story13	K131	166.89	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	405.29	1.45
Story13	K162	144.67	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_6	357.1	655.63	511.91	1.43
Story13	K163	144.67	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_6	357.1	655.63	511.91	1.43
Story13	K155	143.4	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_5	319	592.39	465.99	1.46
Story13	K186	143.49	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_5	319	592.39	462.73	1.45
Story13	K187	143.49	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_5	319	592.39	462.73	1.45
Story13	K188	143.4	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_5	319	592.39	465.99	1.46
Story12	K21	127.02	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	296.41	1.24
Story12	K22	127.02	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	296.42	1.24
Story12	K23	127.02	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	296.42	1.24
Story12	K24	127.02	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	296.41	1.24
Story12	K65	156.37	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_5	319	592.39	424.02	1.33
Story12	K80	156.33	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_5	319	592.39	423.76	1.33
Story12	K95	156.37	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_5	319	592.39	424.02	1.33
Story12	K110	156.33	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_5	319	592.39	423.76	1.33
Story12	K121	185.09	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	489.95	1.37
Story12	K132	185.09	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	489.95	1.37
Story12	K164	161.42	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_8	430.7	776.4	613.37	1.42
Story12	K165	161.42	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_8	430.7	776.4	613.37	1.42
Story12	K189	158.21	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_6	357.1	655.63	525.5	1.47
Story12	K190	158.3	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_6	357.1	655.63	523.63	1.47
Story12	K191	158.3	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_6	357.1	655.63	523.63	1.47
Story12	K192	158.21	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_6	357.1	655.63	525.5	1.47

Story11	K25	141.93	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	353.37	1.48
Story11	K26	141.92	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	353.47	1.48
Story11	K27	141.92	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	353.47	1.48
Story11	K28	141.93	SLB2 10_4	93	166.26	SLB3 25_3	238.2	457.15	353.37	1.48
Story11	K66	172.16	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	502.05	1.41
Story11	K81	172.13	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	501.76	1.41
Story11	K96	172.16	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	502.05	1.41
Story11	K111	172.13	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	501.76	1.41
Story11	K122	202.08	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	520.99	1.46
Story11	K133	202.08	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	520.99	1.46
Story11	K166	176.49	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 30_8	508	915.5	728.11	1.43
Story11	K167	176.49	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 30_8	508	915.5	728.11	1.43
Story11	K193	171.51	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	579.63	1.47
Story11	K194	171.6	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	578.73	1.47
Story11	K195	171.6	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	578.73	1.47
Story11	K196	171.51	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	579.63	1.47
Story10	K29	155.78	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	401.85	1.44
Story10	K30	155.76	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	402.02	1.44
Story10	K31	155.76	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	402.02	1.44
Story10	K32	155.78	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	401.85	1.44
Story10	K67	186.35	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	528.91	1.48
Story10	K82	186.32	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	528.61	1.48
Story10	K97	186.35	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	528.91	1.48
Story10	K112	186.32	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_6	357.1	655.63	528.61	1.48
Story10	K123	217.76	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	602.91	1.4
Story10	K134	217.76	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	602.91	1.4
Story10	K168	189.83	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 40_7	595.4	1082.3	850.95	1.43
Story10	K169	189.83	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 40_7	595.4	1082.3	850.95	1.43
Story10	K197	183.4	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_8	430.7	776.4	623.76	1.45
Story10	K198	183.49	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_8	430.7	776.4	623.5	1.45
Story10	K199	183.49	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_8	430.7	776.4	623.5	1.45
Story10	K200	183.4	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_8	430.7	776.4	623.76	1.45
Story9	K33	168.8	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	411.57	1.47
Story9	K34	168.77	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	411.74	1.47
Story9	K35	168.77	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	411.74	1.47
Story9	K36	168.8	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 25_4	279.6	526.49	411.57	1.47
Story9	K68	199.01	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	579.32	1.47
Story9	K83	198.99	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	579.03	1.47
Story9	K98	199.01	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	579.32	1.47
Story9	K113	198.99	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_7	394.5	716.83	579.03	1.47
Story9	K124	232.25	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	706.29	1.39
Story9	K135	232.25	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	706.29	1.39
Story9	K170	201.44	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 40_7	595.4	1082.3	877.3	1.47
Story9	K171	201.44	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 40_7	595.4	1082.3	877.3	1.47
Story9	K201	194	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 30_8	508	915.5	714.68	1.41
Story9	K202	194.1	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 30_8	508	915.5	714.88	1.41
Story9	K203	194.1	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 30_8	508	915.5	714.88	1.41

Story9	K204	194	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 30_8	508	915.5	714.68	1.41
Story8	K37	181.23	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	415.47	1.49
Story8	K38	181.19	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	415.63	1.49
Story8	K39	181.19	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	415.63	1.49
Story8	K40	181.23	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	415.47	1.49
Story8	K69	210.17	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	621.76	1.44
Story8	K84	210.16	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	621.48	1.44
Story8	K99	210.17	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	621.76	1.44
Story8	K114	210.16	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	621.48	1.44
Story8	K125	245.69	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB3 40_7	595.4	1082.3	839.77	1.41
Story8	K136	245.69	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB3 40_7	595.4	1082.3	839.77	1.41
Story8	K172	211.19	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	962.17	1.46
Story8	K173	211.19	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	962.17	1.46
Story8	K205	203.35	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	735.14	1.45
Story8	K206	203.45	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	735.64	1.45
Story8	K207	203.45	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	735.64	1.45
Story8	K208	203.35	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	735.14	1.45
Story7	K41	193.15	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	413.67	1.48
Story7	K42	193.11	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	413.81	1.48
Story7	K43	193.11	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	413.81	1.48
Story7	K44	193.15	SLB2 15_3	126.1	240.45	SLB3 25_4	279.6	526.49	413.67	1.48
Story7	K70	219.75	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	632.24	1.47
Story7	K85	219.74	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	631.99	1.47
Story7	K100	219.75	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	632.24	1.47
Story7	K115	219.74	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	631.99	1.47
Story7	K126	258.14	SLB2 20_4	188.3	348.53	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1043.5	1.43
Story7	K137	258.14	SLB2 20_4	188.3	348.53	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1043.5	1.43
Story7	K174	218.73	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1032.75	1.41
Story7	K175	218.73	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1032.75	1.41
Story7	K209	211.22	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	824.82	1.39
Story7	K210	211.33	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	825.58	1.39
Story7	K211	211.33	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	825.58	1.39
Story7	K212	211.22	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	824.82	1.39
Story6	K45	204.58	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_6	357.1	655.63	475.22	1.33
Story6	K46	204.56	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_6	357.1	655.63	475.34	1.33
Story6	K47	204.56	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_6	357.1	655.63	475.34	1.33
Story6	K48	204.58	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_6	357.1	655.63	475.22	1.33
Story6	K71	227.51	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	627.36	1.46
Story6	K86	227.51	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	627.16	1.46
Story6	K101	227.51	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	627.36	1.46
Story6	K116	227.51	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 25_8	430.7	776.4	627.16	1.46
Story6	K127	269.53	SLB2 20_4	188.3	348.53	2xSLB3 30_8	1016	1831	1410.72	1.39
Story6	K138	269.53	SLB2 20_4	188.3	348.53	2xSLB3 30_8	1016	1831	1410.72	1.39
Story6	K176	223.41	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1046.92	1.43
Story6	K177	223.41	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1046.92	1.43
Story6	K213	217.12	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	902.33	1.37
Story6	K214	217.24	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	903.29	1.37

Story6	K215	217.24	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	903.29	1.37
Story6	K216	217.12	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	902.33	1.37
Story5	K49	215.42	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_7	461.3	838.79	683.85	1.48
Story5	K50	215.41	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_7	461.3	838.79	683.93	1.48
Story5	K51	215.41	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_7	461.3	838.79	683.93	1.48
Story5	K52	215.42	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_7	461.3	838.79	683.85	1.48
Story5	K72	233.42	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB3 40_7	595.4	1082.3	798.76	1.34
Story5	K87	233.43	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB3 40_7	595.4	1082.3	798.58	1.34
Story5	K102	233.42	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB3 40_7	595.4	1082.3	798.76	1.34
Story5	K117	233.43	SLB2 20_3	156.9	298.3	SLB3 40_7	595.4	1082.3	798.58	1.34
Story5	K178	224.36	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	959.77	1.45
Story5	K179	224.36	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	959.77	1.45
Story5	K217	220.38	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1050.95	1.44
Story5	K218	220.5	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1052.17	1.44
Story5	K219	220.5	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1052.17	1.44
Story5	K220	220.38	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1050.95	1.44
Story4	K53	215.79	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	748.72	1.47
Story4	K54	215.81	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	749.11	1.47
Story4	K55	215.81	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	749.11	1.47
Story4	K56	215.79	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 30_8	508	915.5	748.72	1.47
Story4	K73	229.64	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	867.16	1.46
Story4	K74	229.66	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	867.03	1.46
Story4	K75	229.64	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	867.16	1.46
Story4	K88	229.66	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	867.03	1.46
Story4	K180	219.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	889.66	1.35
Story4	K181	219.71	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_8	660.9	1195	889.66	1.35
Story4	K139	219.26	SLB2 15_4	149.7	276.57	2xSLB3 30_7	922.6	1677.58	1365.48	1.48
Story4	K140	219.39	SLB2 15_4	149.7	276.57	2xSLB3 30_7	922.6	1677.58	1367.02	1.48
Story4	K141	219.39	SLB2 15_4	149.7	276.57	2xSLB3 30_7	922.6	1677.58	1367.02	1.48
Story4	K142	219.26	SLB2 15_4	149.7	276.57	2xSLB3 30_7	922.6	1677.58	1365.48	1.48
Story3	K1	203.29	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	842.86	1.42
Story3	K2	203.34	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	843.24	1.42
Story3	K3	203.34	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	843.24	1.42
Story3	K4	203.29	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 40_7	595.4	1082.3	842.86	1.42
Story3	K89	213.88	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1062.33	1.45
Story3	K90	213.91	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1062.31	1.45
Story3	K103	213.88	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1062.33	1.45
Story3	K104	213.91	SLB2 15_4	149.7	276.57	SLB3 50_7	730.3	1326.8	1062.31	1.45
Story3	K182	211.91	SLB2 15_4	149.7	276.57	2xSLB3 40_8	1321.8	2390	1901.8	1.44
Story3	K183	211.91	SLB2 15_4	149.7	276.57	2xSLB3 40_8	1321.8	2390	1901.8	1.44
Story2	K57	169.48	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 50_8	814.7	1474.5	1184.1	1.45
Story2	K58	169.54	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 50_8	814.7	1474.5	1184.43	1.45
Story2	K59	169.54	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 50_8	814.7	1474.5	1184.43	1.45
Story2	K60	169.48	SLB2 15_2	101.8	199.61	SLB3 50_8	814.7	1474.5	1184.1	1.45
Story2	K184	181.01	SLB2 15_3	126.1	240.45	2xSLB3 50_8	1629.4	2949	2344.25	1.44
Story2	K185	181.01	SLB2 15_3	126.1	240.45	2xSLB3 50_8	1629.4	2949	2344.25	1.44

3.7. Sistema de aislamiento elastomérico con aisladores LRB

3.7.1. Predimensionamiento del sistema de aislamiento elastomérico

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

La Tabla N° 39, muestra las consideraciones iniciales determinadas para el predimensionamiento de los 24 aisladores LRB de la estructura de 4 pisos, para la cual se promedió el periodo fundamental de base fija de los modos de traslación alcanzando $T_f=0.355 \text{ seg.}$, el cual se amplifica hasta un periodo de $T_b=2.13 \text{ seg.}$ para lograr más flexibilidad en los aisladores, en consecuencia mayor control de distorsiones.

Tabla 39:

Características iniciales del sistema de aislamiento en estructura de 4 pisos.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS		
T base fija (T_s) =	0.355	s
T objetivo (T_b) =	2.13	s
ϵ asumido =	0.028	
Fracción amortig. =	15%	
K_b =	1586.894	tn/m
C_b =	29.886	tn.s/m
N° de dispositivos =	24	
K dispositivo =	66.121	tn/m
C dispositivo =	1.245	tn.s/m
T_M aislado =	2.09	s
ϵ aislado =	0.029	
B_M =	1.35	

La Tabla N° 40, presenta las fuerzas axiales que soportaran los aisladores provenientes de las cargas vivas y cargas muertas; así mismo, las cargas ultimas según la NTE E0.31. Para calcular las propiedades mecánicas de las unidades de

aislamiento elastomérico, se tomó el aislador más cargado y se uniformizaron las propiedades de todos los demás elementos.

El aisladores que soportá mas fuerza axial se ubica debajo del dado “C11” central en la intersección del eje B y eje 5 de la estructura de 4 pisos.

Tabla 40:

Cargas axiales en los aisladores elastoméricos de estructura de 4 pisos.

FUERZAS AXIALES EN AISLADORES				
DADO	CM (ton)	CV (ton)	PU máx (ton)	PU máx (kN)
C1	-32.17	-13.44	-38.89	-381.51
C2	-46.01	-26.00	-59.01	-578.88
C3	-44.45	-25.62	-57.26	-561.75
C4	-44.46	-25.62	-57.27	-561.79
C5	-46.00	-26.00	-59.00	-578.78
C6	-32.16	-13.44	-38.89	-381.47
C7	-53.13	-29.15	-67.71	-664.19
C8	-89.02	-55.04	-116.54	-1143.23
C9	-89.21	-53.04	-115.73	-1135.35
C10	-89.23	-53.04	-115.75	-1135.55
C11	-89.17	-55.11	-116.72	-1145.06
C12	-53.10	-29.13	-67.66	-663.76
C13	-53.10	-29.13	-67.66	-663.76
C14	-89.17	-55.11	-116.72	-1145.06
C15	-89.23	-53.04	-115.76	-1135.56
C16	-89.22	-53.04	-115.73	-1135.36
C17	-89.01	-55.04	-116.54	-1143.22
C18	-53.13	-29.15	-67.71	-664.19
C19	-32.16	-13.44	-38.89	-381.47
C20	-46.00	-26.00	-59.00	-578.78
C21	-44.46	-25.62	-57.27	-561.79
C22	-44.45	-25.62	-57.26	-561.75
C23	-46.01	-26.00	-59.01	-578.88
C24	-32.17	-13.44	-38.89	-381.51

Las propiedades mecánicas asumidas para los materiales que conforman la estructura de los elementos de aislamiento elastomérico se presentan en la Tabla N° 41, dichas propiedades se recopilieron de los catálogos informativos de los principales proveedores y de investigaciones anteriores.

Tabla 41:
Propiedades mecánicas de materiales que conforman los aisladores LRB, en estructura de 4 pisos

PORPIEDADES MECÁNICAS DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS LRB			
Esfuerzo axial permisible del aislador	$\sigma_c =$	8.00	Mpa
Porcentaje de deformación lateral de aislador	$\gamma_s =$	1.60	(1.25-2)
Factor de forma de aislador	$S =$	15.00	
Módulo de corte de caucho	$G =$	0.40	MPA
Módulo de elasticidad del caucho	$K_c =$	2000	MPA
Módulo de compresibilidad de la unión acero - goma de caucho	$E_c =$	521	MPA
Módulo de compresibilidad del plomo	$E_p =$	14000	MPA
Esfuerzo de fluencia del plomo	$\sigma_y =$	10	MPa
Esfuerzo de capas de metal	$\sigma_s =$	24	MPa

Posteriormente, se determinó los parámetros de desplazamiento máximo, según NTE E0.31 de aislamiento sísmico, para poder obtener un valor aproximado del desplazamiento total de cada elemento. Como se muestra en la Tabla N° 42, el desplazamiento total de un elemento del sistema de aislamiento elastomérico de la estructura de 4 pisos es $D'_{TM}=443.74 \text{ mm}$.

Tabla 42:
Parámetros de desplazamiento máximo de aislador en estructura de 4 pisos.

PARÁMETROS DE DESPLAZAMIENTO (E0.31)		
Factor de amplificación sísmica	$C =$	0.685
Seudoaceleración con SMC	$S_{aM} =$	476.5 cm/s ²
Desplazamiento traslacional	$D_M =$	391.37 mm
Dimensión menor en planta	$b =$	14400 mm
Dimensión mayor en planta	$d =$	19600 mm
Distancia perpendicular del CR	$y =$	9800 mm
Excentricidad accidental 5%	$e =$	980 mm
Radio de giro del sistema aislado	$r_a =$	7020.921 mm
	$\Sigma(X_i^2 + Y_i^2)$	
	$=$	5.3E+09
Número de aisladores	$N =$	24
Razón entre el periodo transl. Y rotac. Efectivo	$P_T =$	2.123
Desplazamiento total	$D_{TM} =$	408.28 mm
D_M / D_{TM}	≥ 0.80	0.96
D_{TM} / D_M	≥ 1.15	1.15
Desplazamiento total traslacional	$D'_M =$	385.86 mm
Desplazamiento total de un elemento	$D'_{TM} =$	443.74 mm

Luego, se realizó el predimensionamiento de las unidades del sistema de aislamiento elastomérico, se tomó el aislador más crítico y se uniformizó para los demás elementos. La Tabla N° 43, muestra las dimensiones del aisladores utilizado para la estructura de 4 pisos, como por ejemplo un diámetro de aislador de 700 mm., altura de aislador de 277 mm., diámetro del nucleo de plomo de 98.09 mm., una rigidez vertical de 1090.27 kN/mm, etc.

Tabla 43:

Predimensionamiento de aisladores elastoméricos en estructura de 4 pisos.

PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE AISLADORES EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS

Peso sísmico	P =	1145.06	kN
Desplazamiento total de un elemento	D' _{TM} =	443.7	mm
Diámetro del aislador (calculado)	DI =	665.6	mm
Diámetro del aislador real	DI =	700	mm
Altura de aislador (S/placas)	Hr =	277	mm
Fuerza de histéresis de aislador	Qd =	68.70	6%
Diámetro del núcleo de plomo	Dp =	98.09	mm
Espesor de capas de caucho de aislador	tr =	11.4	mm
Espesor de capa de metal	ts =	5.7	mm
Número de capas de caucho	#capas =	24	
Área del nucleo de plomo	Ap =	7557	mm ²
Area en planta de la goma de caucho	A =	377288	mm ²
Rigidez vertical de aislador	Kv =	1090.27	KN/mm

Finalmente, como se muestra en Figura 48, se construye el modelo bilineal del comportamiento de los aisladores elastoméricos, en dicha gráfica se aprecia la perdida de rigidez del aisladores luego de alcanzar una fuerza de fluencia $F_y=7.80$ tn.,. Como se muestra en la Tabla N° 44, se asume una relación de rigideces $\alpha=10$, y con el desplazamiento máximo calculado del análisis $D_{\max}=435$ mm. Para finalmente alcanzar una fuerza de fluencia $F_y=7.80$ tn. y una fuerza máxima $F_{\max}=28.74$ tn.

Tabla 44:
Parámetros nominales del comportamiento bilineal de aisladores LRB en estructura de 4 pisos.

PARÁMETROS NOMINALES BILINEALES DE AISLADORES LRB EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS

Relación entre rigideces asumida	$\alpha =$	10
Amortiguamiento efectivo	$\varepsilon =$	15%
Desplazamiento máximo	$D_{\text{máx}} =$	0.435 m
Desplazamiento de fluencia	$D_y =$	0.0156 m
Rigidez efectiva	$K_{\text{eff}} =$	66.12 Tn/m
Rigidez post-fluencia	$K_2 =$	49.97 Tn/m
Rigidez inicial	$K_1 =$	499.66 Tn/m
Fuerza de fluencia	$F_y =$	7.80 Tn
Fuerza máxima	$F_{\text{máx}} =$	28.74 Tn
Resistencia característica	$Q_d =$	7.02 Tn
Inversa de relación de rigideces	$r =$	0.100

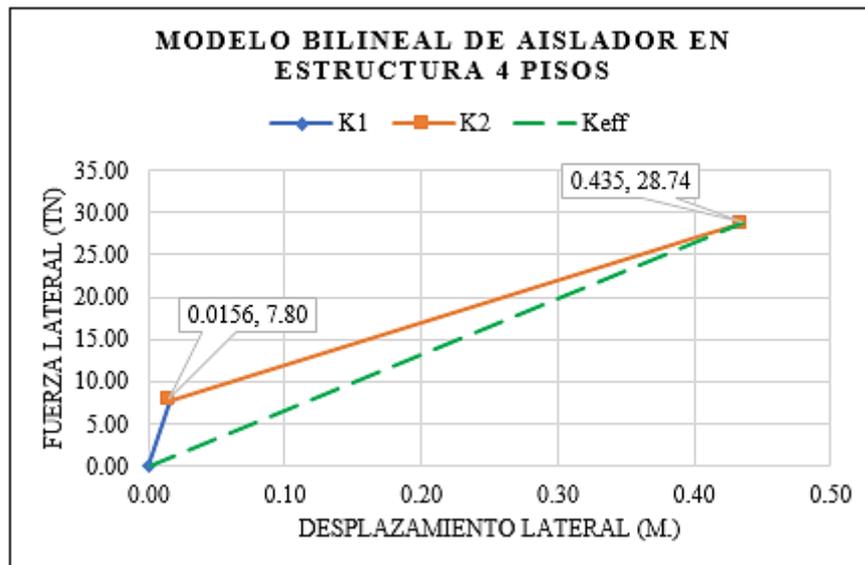


Figura 48: Modelo del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 4 pisos.

Además como se mencionó en los procedimientos de la presente investigación, el análisis sísmico se debe realizar para las propiedades nominales, así como para los límites inferior y superior, los cuales obedecen a ciertos factores lambda; ver Tabla N° 45, asociados al cambio de las propiedades mecánicas de los aisladores como se muestra en la Tabla N° 46, el cual se ve reflejado en el

comportamiento bilineal de los aisladores elastoméricos como se muestra en la Figura 49.

Tabla 45:
Factores Lambda de modificación de propiedades de aisladores elastoméricos, en estructura de 4 pisos.

	Factores Lambda	
	λ_{inf}	λ_{sup}
Kd	0.80	1.30
Qd	0.80	1.50

Tabla 46:
Parámetros variables del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 4 pisos.

PARÁMETROS VARIABLES BILINEALES DE AISLADORES EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS

	Limite Inferior	Nominal	Límite Superior
Relación entre rigideces asumida, α	12.50	10.00	7.69
Rigidez inicial, K1 (ton.m)	499.66	499.66	499.66
Rigidez post-fluencia, Kd (ton.m)	39.97	49.97	64.96
Resistencia característica, Qd (ton)	5.62	7.02	10.53
Desplazamiento de fluencia, Dy (m)	0.0122	0.0156	0.0242
Fuerza de fluencia, Fy (ton)	6.10	7.80	12.10
Fuerza Máxima, Fmáx (ton)	23.48	29.52	40.33
Rigidez Efectiva, Keff (ton.m)	54.019	66.121	92.805
Inversa de relación de rigideces, r	0.0800	0.1000	0.1300

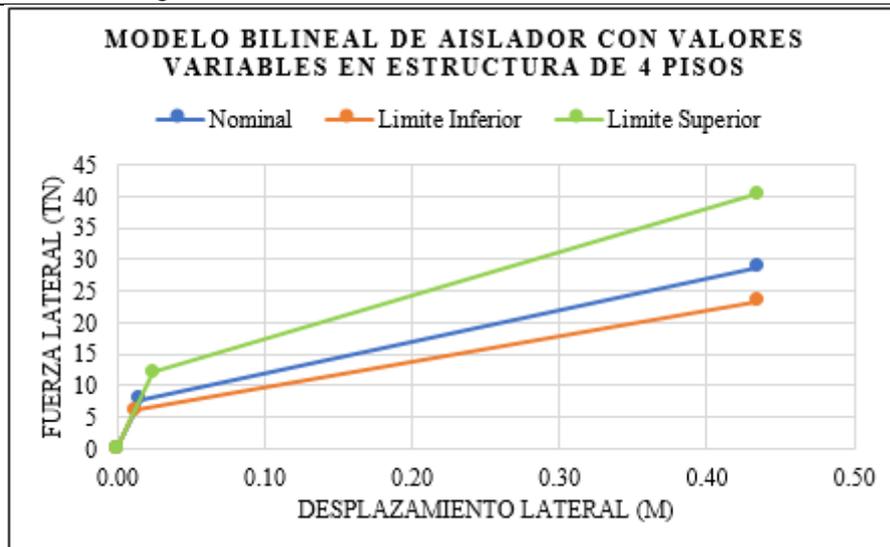


Figura 49: *Modelo bilineal con valores variables de aislador elastomérico en estructura de 4 pisos.*

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

La Tabla N° 47, muestra las consideraciones iniciales determinadas para el predimensionamiento de los 24 aisladores LRB de la estructura de 8 pisos, para la cual se promedió el periodo fundamental de base fija de los modos de traslación alcanzando $T_f=0.677 \text{ seg.}$, el cual se amplifica hasta un periodo de $T_b=3.05 \text{ seg.}$ para lograr más flexibilidad en los aisladores, en consecuencia mayor control de distorsiones.

Tabla 47:

Características iniciales del sistema de aislamiento en estructura de 8 pisos.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS		
T base fija (Ts) =	0.677	s
T objetivo (Tb) =	3.05	s
ϵ asumido =	0.049	
Fracción amortig. =	15%	
Kb =	1137.228	tn/m
Cb =	54.486	tn.s/m
N° de dispositivos =	24	
K dispositivo =	47.384	tn/m
C dispositivo =	2.270	tn.s/m
T_M aislado =	3.03	s
ϵ aislado =	0.050	
B_M =	1.35	

La Tabla N° 48, presenta las fuerzas axiales que soportaran los aisladores provenientes de las cargas vivas y cargas muertas; así mismo, las cargas ultimas según la NTE E0.31. Para calcular las propiedades mecánicas de las unidades de aislamiento elastomérico, se tomó el aislador más cargado y se uniformizaron las propiedades de todos los demás elementos.

El aisladores que soportá mas fuerza axial se ubica debajo del dado central “C10” en la intersección del eje B y eje 4 de la estructura de 8 pisos.

Tabla 48:
Cargas axiales en los aisladores elastoméricos de estructura de 8 pisos.

FUERZAS AXIALES EN AISLADORES				
DADO	CM (ton)	CV (ton)	PU máx (ton)	PU máx (kN)
C1	-59.74	-16.15	-63.77	-625.60
C2	-79.09	-27.50	-85.96	-843.29
C3	-77.68	-29.21	-84.98	-833.68
C4	-77.68	-29.21	-84.99	-833.73
C5	-79.07	-27.48	-85.94	-843.05
C6	-59.72	-16.14	-63.76	-625.44
C7	-90.33	-30.30	-97.91	-960.45
C8	-148.22	-56.37	-162.31	-1592.29
C9	-154.29	-59.25	-169.10	-1658.88
C10	-154.30	-59.25	-169.11	-1658.97
C11	-148.66	-56.45	-162.77	-1596.74
C12	-90.29	-30.27	-97.86	-959.96
C13	-90.29	-30.27	-97.86	-959.96
C14	-148.66	-56.45	-162.77	-1596.74
C15	-154.30	-59.25	-169.11	-1658.99
C16	-154.29	-59.25	-169.10	-1658.89
C17	-148.22	-56.37	-162.31	-1592.28
C18	-90.33	-30.30	-97.91	-960.45
C19	-59.72	-16.14	-63.76	-625.44
C20	-79.07	-27.48	-85.94	-843.05
C21	-77.68	-29.21	-84.99	-833.72
C22	-77.68	-29.21	-84.98	-833.68
C23	-79.09	-27.50	-85.96	-843.28
C24	-59.74	-16.15	-63.77	-625.60

Las propiedades mecánicas asumidas para los materiales que conforman la estructura de los elementos de aislamiento elastomérico se presentan en la Tabla N° 49, dichas propiedades se recopilieron de los catálogos informativos de los principales proveedores y de investigaciones anteriores.

Tabla 49:

Propiedades mecánicas de materiales que conforman los aisladores LRB, en estructura de 8 pisos

PROPIEDADES MECÁNICAS DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS LRB			
Esfuerzo axial permisible del aislador	$\sigma_c =$	8.00	Mpa
Porcentaje de deformación lateral de aislador	$\gamma_s =$	1.60	(1.25-2)
Factor de forma de aislador	$S =$	15.00	
Módulo de corte de caucho	$G =$	0.40	MPA
Módulo de elasticidad del caucho	$K_c =$	2000	MPA
Módulo de compresibilidad de la unión acero - goma de caucho	$E_c =$	521	MPA
Módulo de compresibilidad del plomo	$E_p =$	14000	MPA
Esfuerzo de fluencia del plomo	$\sigma_y =$	10	MPa
Esfuerzo de capas de metal	$\sigma_s =$	24	MPa

Posteriormente, se determinó los parámetros de desplazamiento máximo, según NTE E0.31 de aislamiento sísmico, para poder obtener un valor aproximado del desplazamiento total de cada elemento. Como se muestra en la Tabla N° 50, el desplazamiento total de un elemento del sistema de aislamiento elastomérico de la estructura de 8 pisos es $D'_{TM}=439.23 \text{ mm}$.

Tabla 50:

Parámetros de desplazamiento máximo de aislador en estructura de 8 pisos.

PARÁMETROS DE DESPLAZAMIENTO (E0.31)			
Factor de amplificación sísmica	$C =$	0.327	
Seudoaceleración con SMC	$S_{aM} =$	227.1946	cm/s ²
Desplazamiento traslacional	$D_M =$	391.37	mm
Dimensión menor en planta	$b =$	14400	mm
Dimensión mayor en planta	$d =$	19600	mm
Distancia perpendicular del CR	$y =$	9800	mm
Excentricidad accidental 5%	$e =$	980	mm
Radio de giro del sistema aislado	$r_a =$	7020.921	mm
	$\Sigma(X_i^2 + Y_i^2) =$	5.3E+09	
Número de aisladores	$N =$	24	
Razón entre el periodo transl. Y rotac. Efectivo	$PT =$	2.123	
Desplazamiento total	$D_{TM} =$	408.28	mm
D_M / D_{TM}	≥ 0.80	0.96	
D_{TM} / D_M	≥ 1.15	1.15	
Desplazamiento total traslacional	$D'_M =$	381.95	mm
Desplazamiento total de un elemento	$D'_{TM} =$	439.23	mm

Luego, se realizó el predimensionamiento de las unidades del sistema de aislamiento elastomérico, se tomó el aislador más crítico y se uniformizó para los demás elementos. La Tabla N° 51, muestra las dimensiones del aisladores utilizado para la estructura de 4 pisos, como por ejemplo un diámetro de aislador de 700 mm., altura de aislador de 275 mm., diámetro del nucleo de plomo de 99.54 mm., una rigidez vertical de 1267.98 kN/mm, etc.

Tabla 51:

Predimensionamiento de aisladores elastoméricos en estructura de 8 pisos.

**PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE AISLADORES
EN ESTRUCTURAS DE 8 PISOS**

Peso sísmico	P =	1658.99	kN
Desplazamiento total de un elemento	$D'_{TM} =$	439.2	mm
Diámetro del aislador calculado	DI =	658.9	mm
Diámetro del aislador real	DI =	700	mm
Altura de aislador (S/placas)	Hr =	275	mm
Fuerza de histéresis de aislador	Qd =	99.54	6%
Diámetro del núcleo de plomo	Dp =	118	mm
Espesor de capas de caucho de aislador	tr =	11.3	mm
Espesor de capa de metal	ts =	5.7	mm
Número de capas de caucho	#capas =	24	
Área del nucleo de plomo	Ap =	10949	mm ²
Area en planta de la goma de caucho	A =	373896	mm ²
Rigidez vertical de aislador	Kv =	1267.98	KN/mm

Finalmente, como se muestra en Figura 50, se construye el modelo bilineal del comportamiento de los aisladores elastoméricos, en dicha gráfica se aprecia la perdida de rigidez del aisladores luego de alcanzar una fuerza de fluencia $F_y=5.50tn$,. Como se muestra en la Tabla N° 52, se asume una relación de rigideces $\alpha=10$, y con el desplazamiento máximo calculado del análisis $D_{m\acute{a}x}=427\text{ mm}$. Para finalmente alcanzar una fuerza máxima $F_{m\acute{a}x}=20.23tn$.

Tabla 52:
Parámetros nominales del comportamiento bilineal de aisladores LRB en estructura de 8 pisos.

PARÁMETROS NOMINALES BILINEALES DE AISLADORES LRB EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS

Relación entre rigideces asumida	$\alpha =$	10	
Amortiguamiento efectivo	$\varepsilon =$	15%	
Desplazamiento máximo	$D_{m\acute{a}x} =$	0.4270	m
Desplazamiento de fluencia	$D_y =$	0.0154	m
Rigidez efectiva	$K_{eff} =$	47.38	Tn/m
Rigidez post-fluencia	$K_2 =$	35.79	Tn/m
Rigidez inicial	$K_1 =$	357.90	Tn/m
Fuerza de fluencia	$F_y =$	5.50	Tn
Fuerza máxima	$F_{m\acute{a}x} =$	20.23	Tn
Resistencia caracteristica	$Q_d =$	4.95	Tn
Inversa de relación de rigideces	$r =$	0.100	

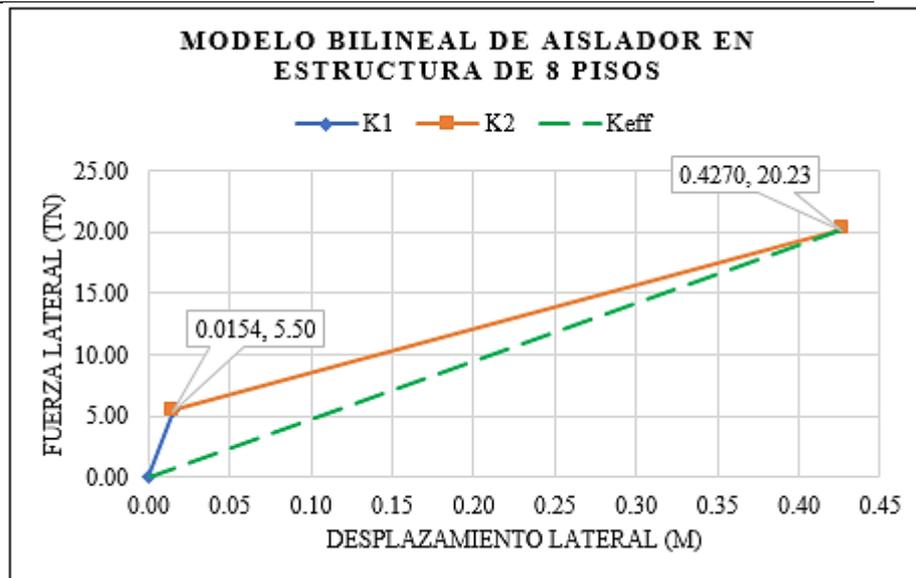


Figura 50: Modelo del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 8 pisos.

Además como se mencionó en los procedimientos de la presente investigación, el análisis sísmico se debe realizar para las propiedades nominales, así como para los límites inferior y superior, los cuales obedecen a ciertos factores lambda; ver Tabla N° 53, asociados al cambio de las propiedades mecánicas de los aisladores como se presenta en la Tabla N° 54, el cual se ve reflejado en el

comportamiento bilineal de los aisladores elastoméricos como se muestra en la Figura 51.

Tabla 53:
Factores Lambda de modificación de propiedades de aisladores elastoméricos, en estructura de 8 pisos.

	Factores Lambda	
	λ_{inf}	λ_{sup}
Kd	0.80	1.30
Qd	0.80	1.50

Tabla 54:
Parámetros variables del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 8 pisos.

PARÁMETROS VARIABLES BILINEALES DE AISLADORES EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS

	Limite Inferior	Nominal	Límite Superior
Relación entre rigideces asumida, α	12.50	10.00	7.69
Rigidez inicial, K1 (ton.m)	357.901	357.901	357.901
Rigidez post-fluencia, Kd (ton.m)	28.632	35.790	46.527
Resistencia característica, Qd (ton)	3.961	4.951	7.426
Desplazamiento de fluencia, Dy (m)	0.0120	0.0154	0.0239
Fuerza de fluencia, Fy (ton)	4.305	5.501	8.536
Fuerza Máxima, Fmáx (ton)	16.531	20.783	28.403
Rigidez Efectiva, Keff (ton.m)	38.713	47.384	66.515
Inversa de relación de rigideces, r	0.080	0.100	0.130

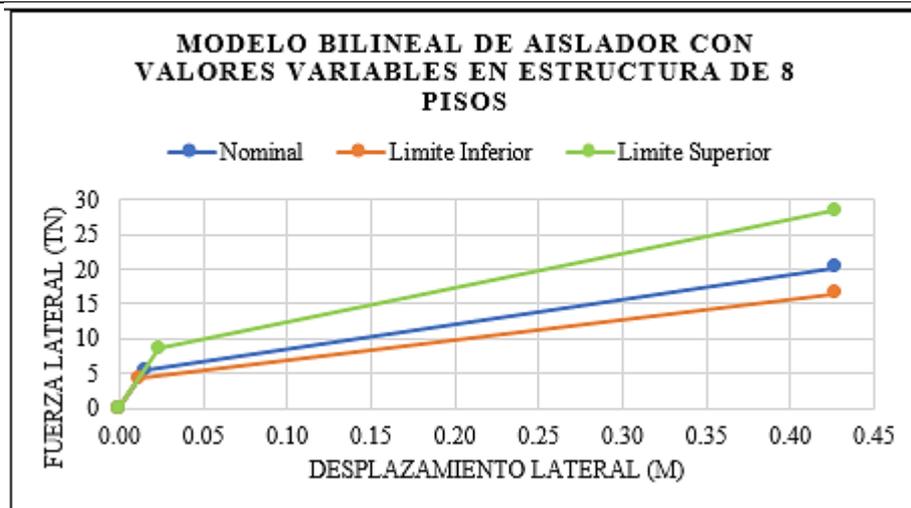


Figura 51: Modelo bilineal con valores variables de aislador elastomérico en estructura de 8 pisos.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

La Tabla N° 55, muestra las consideraciones iniciales determinadas para el predimensionamiento de los 24 aisladores LRB de la estructura de 16 pisos, para la cual se promedió el periodo fundamental de base fija de los modos de traslación alcanzando $T_f=1.567 \text{ seg.}$, el cual se amplifica hasta un periodo de $T_b=4.31 \text{ seg.}$ para lograr más flexibilidad en los aisladores, en consecuencia mayor control de distorsiones.

Tabla 55:

Características iniciales del sistema de aislamiento en estructura de 16 pisos.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS		
T base fija (Ts) =	1.567	s
T objetivo (Tb) =	4.31	s
ε asumido =	0.132	
Fracción amortig. =	15%	
Kb =	1039.150	tn/m
Cb =	188.480	tn.s/m
N° de dispositivos =	24	
K dispositivo =	43.298	tn/m
C dispositivo =	7.853	tn.s/m
T _M aislado =	4.43	s
ε aislado =	0.125	
B _M =	1.35	

La Tabla N° 56, presenta las fuerzas axiales que soportaran los aisladores provenientes de las cargas vivas y cargas muertas; así mismo, las cargas ultimas según la NTE E0.31. Para calcular las propiedades mecánicas de las unidades de aislamiento elastomérico, se tomó el aislador más cargado y se uniformizaron las propiedades de todos los demás elementos.

El aisladores que soportó mas fuerza axial se ubica debajo del dado central “C10” en la intersección del eje C y eje 3 de la estructura de 16 pisos.

Tabla 56:
Cargas axiales en los aisladores elastoméricos de estructura de 16 pisos.

FUERZAS AXIALES EN AISLADORES				
DADO	CM (ton)	CV (ton)	PU máx (ton)	PU máx (kN)
C1	-120.31	-30.91	-128.04	-1256.03
C2	-144.21	-43.85	-155.17	-1522.23
C3	-142.13	-44.23	-153.18	-1502.73
C4	-142.14	-44.23	-153.20	-1502.85
C5	-144.16	-43.83	-155.12	-1521.71
C6	-120.28	-30.90	-128.01	-1255.77
C7	-160.51	-47.30	-172.33	-1690.56
C8	-265.78	-85.85	-287.24	-2817.83
C9	-287.23	-91.72	-310.16	-3042.67
C10	-287.32	-91.74	-310.26	-3043.63
C11	-266.47	-86.06	-287.99	-2825.15
C12	-160.41	-47.27	-172.23	-1689.55
C13	-160.41	-47.27	-172.23	-1689.55
C14	-266.47	-86.06	-287.99	-2825.14
C15	-287.33	-91.74	-310.26	-3043.68
C16	-287.23	-91.72	-310.16	-3042.69
C17	-265.78	-85.85	-287.24	-2817.81
C18	-160.51	-47.30	-172.33	-1690.57
C19	-120.28	-30.90	-128.01	-1255.76
C20	-144.16	-43.83	-155.12	-1521.70
C21	-142.14	-44.23	-153.19	-1502.84
C22	-142.13	-44.23	-153.18	-1502.72
C23	-144.21	-43.85	-155.17	-1522.23
C24	-120.31	-30.91	-128.04	-1256.04

Las propiedades mecánicas asumidas para los materiales que conforman la estructura de los elementos de aislamiento elastomérico se presentan en la Tabla N° 57, dichas propiedades se recopilieron de los catálogos informativos de los principales proveedores y de investigaciones anteriores.

Tabla 57:

Propiedades mecánicas de materiales que conforman los aisladores LRB, en estructura de 16 pisos

PROPIEDADES MECÁNICAS DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS LRB			
Esfuerzo axial permisible del aislador	$\sigma_c =$	8.00	Mpa
Porcentaje de deformación lateral de aislador	$\gamma_s =$	1.60	(1.25-2)
Factor de forma de aislador	$S =$	15.00	
Módulo de corte de caucho	$G =$	0.40	MPA
Módulo de elasticidad del caucho	$K_c =$	2000	MPA
Módulo de compresibilidad de la unión acero - goma de caucho	$E_c =$	521	MPA
Módulo de compresibilidad del plomo	$E_p =$	14000	MPA
Esfuerzo de fluencia del plomo	$\sigma_y =$	10	MPa
Esfuerzo de capas de metal	$\sigma_s =$	24	MPa

Posteriormente, se determinó los parámetros de desplazamiento máximo, según NTE E0.31 de aislamiento sísmico, para poder obtener un valor aproximado del desplazamiento total de cada elemento. Como se muestra en la Tabla N° 58, el desplazamiento total de un elemento del sistema de aislamiento elastomérico de la estructura de 8 pisos es $D'_{TM}=424.28 \text{ mm}$.

Tabla 58:

Parámetros de desplazamiento máximo de aislador en estructura de 16 pisos.

PARÁMETROS DE DESPLAZAMIENTO (E0.31)			
Factor de amplificación sísmica	$C =$	0.153	
Seudoaceleración con SMC	$S_{aM} =$	106.4621	cm/s ²
Desplazamiento traslacional	$D_M =$	391.37	mm
Dimensión menor en planta	$b =$	14400	mm
Dimensión mayor en planta	$d =$	19600	mm
Distancia perpendicular del CR	$y =$	9800	mm
Excentricidad accidental 5%	$e =$	980	mm
Radio de giro del sistema aislado	$r_a =$	7020.921	mm
	$\Sigma(X_i^2 + Y_i^2) =$	5.3E+09	
Número de aisladores	$N =$	24	
Razón entre el periodo transl. Y rotac. Efectivo	$PT =$	2.123	
Desplazamiento total	$D_{TM} =$	408.28	mm
D_M / D_{TM}	≥ 0.80	0.96	
D_{TM} / D_M	≥ 1.15	1.15	

Desplazamiento total traslacional	$D'_M =$	368.94	mm
<u>Desplazamiento total de un elemento</u>	<u>$D'_{TM} =$</u>	<u>424.28</u>	<u>mm</u>

Luego, se realizó el predimensionamiento de las unidades del sistema de aislamiento elastomérico, se tomó el aislador más crítico y se uniformizó para los demás elementos. La Tabla N° 59, muestra las dimensiones del aisladores utilizado para la estructura de 4 pisos, como por ejemplo un diámetro de aislador de 800 mm., altura de aislador de 265.2 mm., diámetro del núcleo de plomo de 159.93 mm., una rigidez vertical de 2008.71 kN/mm, etc.

Tabla 59:

Predimensionamiento de aisladores elastoméricos en estructura de 16 pisos.

**PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE AISLADORES
EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS**

Peso sísmico	$P =$	3043.68	kN
Desplazamiento total de un elemento	$D'_{TM} =$	424.28	mm
Diámetro del aislador calc	$DI =$	696.0	mm
Diámetro del aislador real	$DI =$	800	mm
Altura de aislador (S/placas)	$Hr =$	265.2	mm
Fuerza de histéresis de aislador	$Qd =$	182.62	6%
Diámetro del núcleo de plomo	$Dp =$	159.93	mm
Espesor de capas de caucho de aislador	$tr =$	12.8	mm
Espesor de capa de metal	$ts =$	6.4	mm
Número de capas de caucho	$\#capas =$	21	
Área del núcleo de plomo	$Ap =$	20088	mm ²
Area en planta de la goma de caucho	$A =$	482567	mm ²
Rigidez vertical de aislador	$Kv =$	2008.71	KN/mm

Finalmente, como se muestra en Figura 52, se construye el modelo bilineal del comportamiento de los aisladores elastoméricos, en dicha gráfica se aprecia la pérdida de rigidez del aisladores luego de alcanzar una fuerza de fluencia $F_y=4.77tn$.,. Como se muestra en la Tabla N° 60, se asume una relación de rigideces

$\alpha=10$, y con el desplazamiento máximo calculado del análisis $D_{m\acute{a}x}=406\text{ mm}$. Para finalmente alcanzar una fuerza máxima $F_{m\acute{a}x}=17.59\text{tn}$.

Tabla 60:

Parámetros nominales del comportamiento bilineal de aisladores LRB en estructura de 16 pisos.

PARÁMETROS NOMINALES BILINEALES DE AISLADORES EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS

Relación entre rigideces asumida	$\alpha =$	10
Amortiguamiento efectivo	$\varepsilon =$	15%
Desplazamiento máximo	$D_{m\acute{a}x} =$	0.406 m
Desplazamiento de fluencia	$D_y =$	0.0146 m
Rigidez efectiva	$K_{eff} =$	43.30 Tn/m
Rigidez post-fluencia	$K_2 =$	32.72 Tn/m
Rigidez inicial	$K_1 =$	327.17 Tn/m
Fuerza de fluencia	$F_y =$	4.77 Tn
Fuerza máxima	$F_{m\acute{a}x} =$	17.59 Tn
Resistencia característica	$Q_d =$	4.30 Tn
Inversa de relación de rigideces	$r =$	0.100

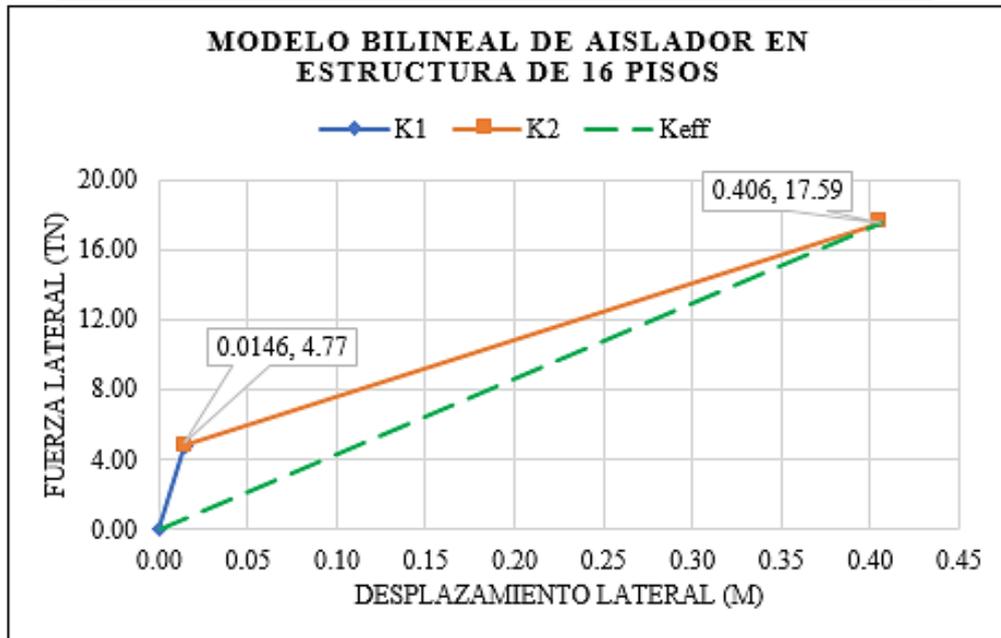


Figura 52: Modelo del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 16 pisos.

Asimismo como se mencionó anteriormente ; el análisis sísmico se debe realizar para las propiedades nominales, así como para los límites inferior y superior, los cuales obedecen a ciertos factores lambda; ver Tabla N° 61, asociados al cambio de las propiedades mecánicas de los aisladores como se presenta en la Tabla N°62, el cual se ve reflejado en el comportamiento bilineal de los aisladores elastoméricos como se muestra en la Figura 53.

Tabla 61:
Factores Lambda de modificación de propiedades de aisladores elastoméricos, en estructura de 16 pisos.

	Factores Lambda	
	λ_{inf}	λ_{sup}
Kd	0.80	1.30
Qd	0.80	1.50

Tabla 62:
Parámetros variables del comportamiento bilineal de aisladores en estructura de 16 pisos.

PARÁMETROS VARIABLES BILINEALES DE AISLADORES EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS

	Limite Inferior	Nominal	Límite Superior
Relación entre rigideces asumida, α	12.500	10.000	7.692
Rigidez inicial, K1 (ton.m)	327.171	327.171	327.171
Rigidez post-fluencia, Kd (ton.m)	26.174	32.717	42.532
Resistencia característica, Qd (ton)	3.438	4.297	6.446
Desplazamiento de fluencia, Dy (m)	0.011	0.015	0.0226
Fuerza de fluencia, Fy (ton)	3.737	4.775	7.409
Fuerza Máxima, Fmáx (ton)	14.367	18.063	24.683
Rigidez Efectiva, Keff (ton.m)	35.374	43.298	60.773
Inversa de relación de rigideces, r	0.080	0.100	0.130

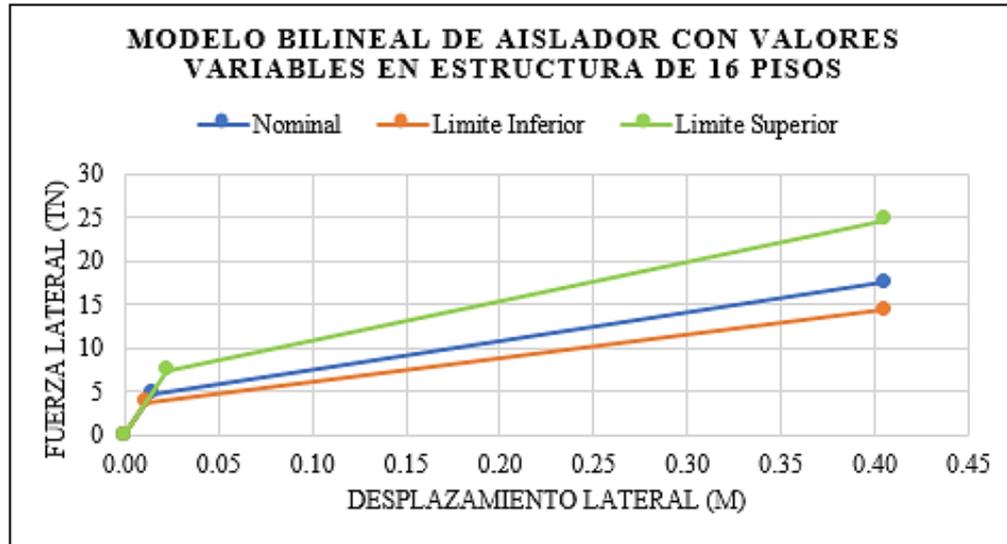


Figura 53: Modelo bilineal con valores variables de aislador elastomérico en estructura de 16 pisos.

3.7.2. Análisis sísmico y diseño de aisladores LRB

Para el análisis dinámico de las estructuras con el sistema de aislamiento elastomérico, se considera el comportamiento lineal o elástico de los dispositivos LRB asociado a la rigidez efectiva calculada anteriormente. Posteriormente se evaluó la respuesta de la estructura considerando el comportamiento bilineal de los dispositivos LRB con un análisis tiempo historia.

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Siguiendo los lineamientos de la norma E0.31, se construyó el espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento inicial de 15% y $B_M=1.35$, el cual reduce la función espectral, a partir de los periodos asociados al sistema de aislamiento (modo 1, 2 y 3), para el caso de la estructura de 4 pisos, se consideró aplicar el 15% de amortiguamiento efectivo a partir del periodo $T=1.90$ seg. por ser el instante cercano al periodo más bajo de los tres periodos mencionados anteriormente, como se muestra en la Figura 54.

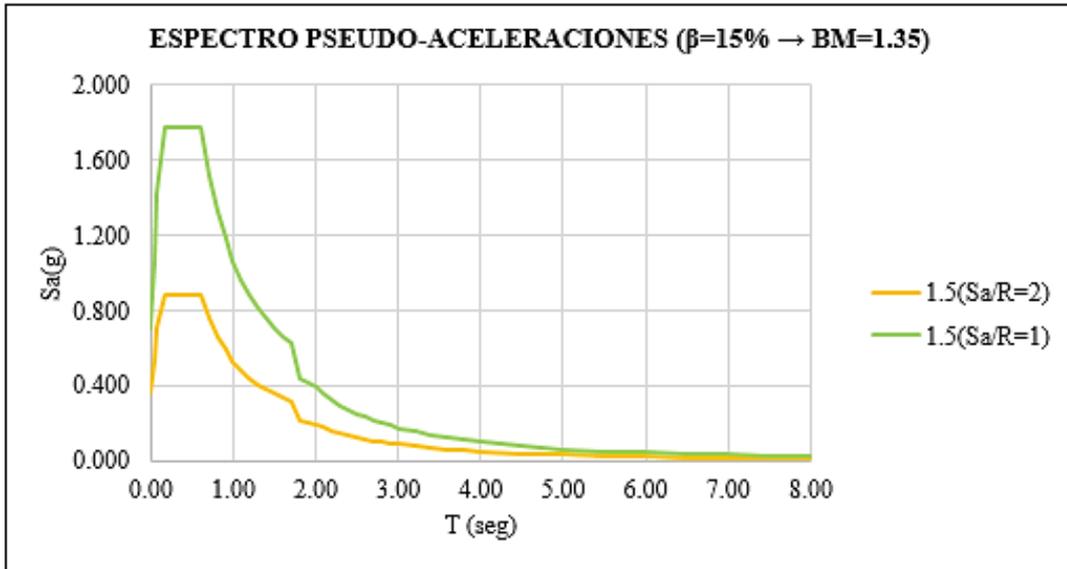


Figura 54: Espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento efectivo de 15% para estructura aislada de 4 pisos.

La Tabla N° 63, muestra las fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento, siguiendo los lineamientos del análisis de fuerzas estáticas equivalentes, con el cual se obtiene una fuerza cortante total del sistema de aislamiento $V_b=621.07 \text{ tn.}$, fuerza cortante no reducida $V_{st}=512.21 \text{ tn.}$ y una fuerza cortante reducida $V_s=256.11 \text{ tn.}$ actuando por encima del nivel de base.

Tabla 63:

Fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento en estructura de 4 pisos.

FUERZAS LATERALES MÍNIMAS EN ESTRUCTURA AISLADA DE 4 PISOS (E0.31)

Fuerza cortante total del sistema de aislamiento	$V_b =$	621.07	tonf
Peso sísmico efectivo de la superestructura	$P_s =$	1314.37	tonf
Peso sísmico efectivo desde la base	$P =$	1789.02	tonf
Fuerza cortante no reducida encima de nivel de base	$V_{st} =$	512.21	tonf
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	$R_a =$	2.00	
Fuerza cortante reducida encima de nivel de base	$V_s =$	256.11	tonf

Como se observa en la Tabla N° 64, para la estructura de 4 pisos con aislamiento elastomérico LRB, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 2 y en la dirección “Y” en el modo 1; asimismo, se observa que los dos primeros modos de vibración; con periodos de 2.166 seg., participación del 99.99% en “X” y 2.176 seg. de periodo y participación del 99.96% en “Y”, son de traslación y el tercer modo; con periodo de 1.935 seg. y participación del 99.96%, con rotación en “Z”, los modos mencionados son los asociados al sistema de aislamiento elastoméricos.

Tabla 64:

Formas modales y masa participativa en estructura aislada de 4 pisos.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 4 PISOS								
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
Modal	1	2.176	0.0000	0.9996	0.0000	0.9996	0.0000	0.0000
Modal	2	2.166	0.9999	0.0000	0.9999	0.9996	0.0000	0.0000
Modal	3	1.935	0.0000	0.0000	0.9999	0.9996	0.9996	0.9996
Modal	4	0.277	0.0000	0.0004	0.9999	1.0000	0.0000	0.9996
Modal	5	0.245	0.0000	0.0000	0.9999	1.0000	0.0004	1.0000
Modal	6	0.213	0.0001	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	7	0.085	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	8	0.072	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	9	0.068	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	10	0.049	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	11	0.039	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	12	0.036	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000

Como se mencionó en los procedimientos de la presente investigación, se realizó el análisis dinámico modal espectral, para controlar las distorsiones de entrepiso de la estructura de 4 pisos. Como se muestra en la Tabla N° 65, las distorsiones no sobrepasan el límite permisible de 3.5‰; según la norma E0.31, alcanzando como máximo una distorsión de 1.45‰ en la dirección “X” y 2.02‰ en

la dirección “Y”. Asimismo, el desplazamiento máximo de la base es de 43.46 cm en la dirección “X” y 40.81 cm en la dirección “Y”.

Tabla 65:

Distorsiones de entrepiso de estructura aislada de 4 pisos.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA AISLADA DE 4 PISOS					
Piso	Dirección	D_{máx} (m)	Altura (m)	Deriva Inelástica	< 3.50% (E0.31)
4	X	0.0031	3	1.02 ‰	Si
3	X	0.0038	3	1.26 ‰	Si
2	X	0.0043	3	1.45 ‰	Si
1	X	0.0041	3	1.36 ‰	Si
Nivel Base	X	0.4346	1.4	-	
4	Y	0.0054	3	1.80 ‰	Si
3	Y	0.0059	3	1.96 ‰	Si
2	Y	0.0061	3	2.02 ‰	Si
1	Y	0.0053	3	1.77 ‰	Si
Nivel Base	Y	0.4081	1.4	-	

Del mismo modo, en la Tabla N° 66, se presenta las cortantes por piso obtenidas del análisis dinámico, considerando R=1 para la subestructura y R=2 para la superestructura, como se mencionó anteriormente.

Tabla 66:

Cortante por piso de estructura aislada de 4 pisos.

CORTANTE POR PISO DE ESTRUCTURA AISLADA DE 4 PISOS				
Piso	Dirección	V (tonf)	Dirección	V (tonf)
4	X	52.27	Y	52.86
3	X	109.40	Y	109.88
2	X	165.96	Y	165.74
1	X	221.96	Y	220.71
Nivel Base	X	600.70	Y	595.01

Interfaz	X	611.43	X	605.53
----------	---	--------	---	--------

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Siguiendo los lineamientos de la norma E0.31, se construyó el espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento inicial de 15% y $B_M=1.35$, el cual reduce la función espectral, a partir de los periodos asociados al sistema de aislamiento (modo 1, 2 y 3), para el caso de la estructura de 8 pisos, se consideró aplicar el 15% de amortiguamiento efectivo a partir del periodo $T=2.70 \text{ seg.}$ por ser el instante cercano al periodo más bajo de los tres periodos mencionados anteriormente, como se muestra en la Figura 55.

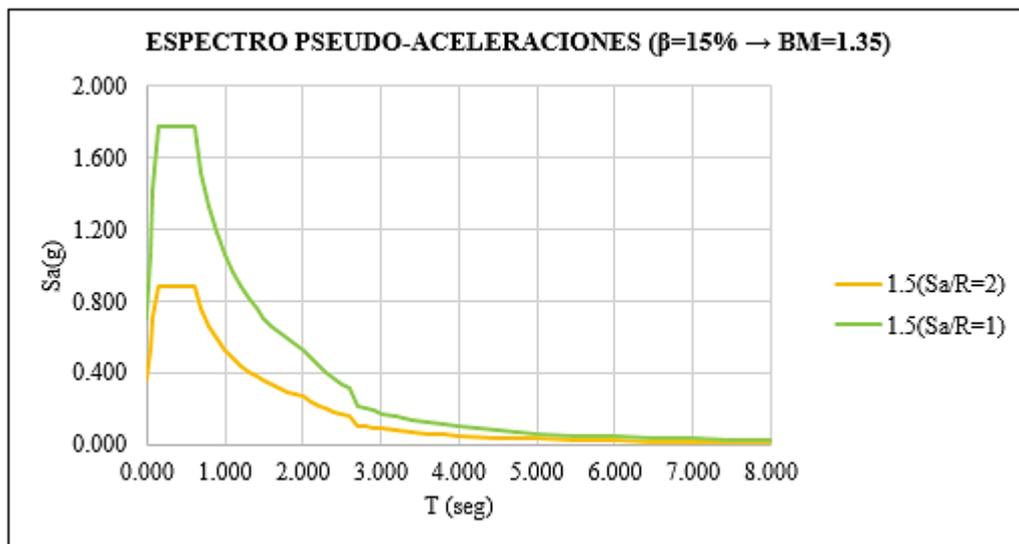


Figura 55: Espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento efectivo de 15% para estructura aislada de 8 pisos.

La Tabla N° 67, muestra las fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento, siguiendo los lineamientos del análisis de fuerzas estáticas equivalentes, con el cual se obtiene una fuerza cortante total del sistema de aislamiento $V_b=445.08 \text{ tn.}$, fuerza cortante no reducida $V_{st}=399.36 \text{ tn.}$ y una fuerza cortante reducida $V_s=199.68 \text{ tn.}$ actuando por encima del nivel de base.

Tabla 67:

Fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento en estructura de 8 pisos.

FUERZAS LATERALES MÍNIMAS EN ESTRUCTURA AISLADA DE 8 PISOS (E0.31)			
Fuerza cortante total del sistema de aislamiento	Vb =	445.08	tonf
Peso sísmico efectivo de la superestructura	Ps =	2207.33	tonf
Peso sísmico efectivo desde la base	P =	2625.35	tonf
Fuerza cortante no reducida encima de nivel de base	Vst =	399.36	tonf
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	Ra =	2.00	
Fuerza cortante reducida encima de nivel de base	Vs =	199.68	tonf

Como se observa en la Tabla N° 68, para la estructura de 8 pisos con aislamiento elastomérico LRB, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 2 y en la dirección “Y” en el modo 1; asimismo, se observa que los dos primeros modos de vibración; con periodos de 3.124 seg., participación del 99.93% en “X” y 3.152 seg. de periodo y participación del 99.85%. en “Y”, son de traslación y el tercer modo; con periodo de 2.814 seg. y participación del 99.86%, con rotación en “Z”, los modos mencionados son los asociados al sistema de aislamiento elastoméricos.

Tabla 68:

Formas modales y masa participativa en estructura aislada de 8 pisos.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 8 PISOS								
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
Modal	1	3.152	0.0001	0.9985	0.0001	0.9985	0.0000	0.0000
Modal	2	3.124	0.9993	0.0001	0.9994	0.9986	0.0000	0.0000
Modal	3	2.814	0.0000	0.0000	0.9994	0.9986	0.9986	0.9986
Modal	4	0.521	0.0000	0.0014	0.9994	1.0000	0.0000	0.9986
Modal	5	0.457	0.0000	0.0000	0.9994	1.0000	0.0014	1.0000
Modal	6	0.421	0.0006	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	7	0.176	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	8	0.170	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	9	0.147	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	10	0.097	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	11	0.081	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	12	0.079	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	13	0.065	0	0	1	1	0	1
Modal	14	0.051	0	0	1	1	0	1

Modal	15	0.048	0	0	1	1	0	1
Modal	16	0.047	0	0	1	1	0	1
Modal	17	0.039	0	0	1	1	0	1
Modal	18	0.038	0	0	1	1	0	1
Modal	19	0.034	0	0	1	1	0	1
Modal	20	0.032	0	0	1	1	0	1
Modal	21	0.031	0	0	1	1	0	1
Modal	22	0.03	0	0	1	1	0	1
Modal	23	0.026	0	0	1	1	0	1
Modal	24	0.025	0	0	1	1	0	1

Como se mencionó en los procedimientos de la presente investigación, se realizó el análisis dinámico modal espectral, para controlar las distorsiones de entrepiso de la estructura de 8 pisos. Como se muestra en la Tabla N° 69, las distorsiones no sobrepasan el límite permisible de 3.5%; según la norma E0.31, alcanzando como máximo una distorsión de 1.68‰ en la dirección “X” y 2.22‰ en la dirección “Y”. Asimismo, el desplazamiento máximo de la base es de 42.70 cm en la dirección “X” y 39.72 cm en la dirección “Y”.

Tabla 69:

Distorsiones de entrepiso de estructura aislada de 8 pisos.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA AISLADA DE 8 PISOS						
Piso	Dirección	D_{máx} (m)	Altura (m)	Deriva Inelástica	< 3.50‰ (E0.31)	
8	X	0.0030	3	0.99 ‰	Si	
7	X	0.0034	3	1.14 ‰	Si	
6	X	0.0039	3	1.30 ‰	Si	
5	X	0.0044	3	1.46 ‰	Si	
4	X	0.0048	3	1.60 ‰	Si	
3	X	0.0050	3	1.68 ‰	Si	
2	X	0.0051	3	1.68 ‰	Si	
1	X	0.0042	3	1.41 ‰	Si	
Nivel Base	X	0.4270	1.4	-		
8	Y	0.0046	3	1.54 ‰	Si	
7	Y	0.0051	3	1.69 ‰	Si	
6	Y	0.0056	3	1.87 ‰	Si	

5	Y	0.0061	3	2.05 ‰	Si
4	Y	0.0065	3	2.18 ‰	Si
3	Y	0.0066	3	2.22 ‰	Si
2	Y	0.0063	3	2.11 ‰	Si
1	Y	0.0052	3	1.73 ‰	Si
Nivel Base	Y	0.3972	1.4	-	

Del mismo modo, en la Tabla N° 70, se presenta las cortantes por piso obtenidas del análisis dinámico, considerando R=1 para la subestructura y R=2 para la superestructura, como se mencionó anteriormente.

Tabla 70:
Cortante por piso de estructura aislada de 8 pisos.

**CORTANTE POR PISO DE ESTRUCTURA AISLADA
 DE 8 PISOS**

Piso	Dirección	V (tonf)	Dirección	V (tonf)
8	X	22.56	Y	24.82
7	X	47.11	Y	50.77
6	X	70.76	Y	74.78
5	X	93.59	Y	97.11
4	X	115.76	Y	118.10
3	X	137.47	Y	138.23
2	X	158.92	Y	158.01
1	X	180.33	Y	177.92
Nivel Base	X	425.23	Y	417.35
Interfaz	X	430.31	Y	422.28

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Siguiendo los lineamientos de la norma E0.31, se construyó el espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento inicial de 15% y $B_M=1.35$, el cual reduce la función espectral, a partir de los periodos asociados al sistema de aislamiento (modo 1, 2 y 3), para el caso de la estructura de 16 pisos, se consideró aplicar el 15% de amortiguamiento efectivo a partir del periodo $T=4.00$ seg. por ser el instante cercano al periodo más bajo de los tres periodos mencionados anteriormente, como se muestra en la Figura 56.

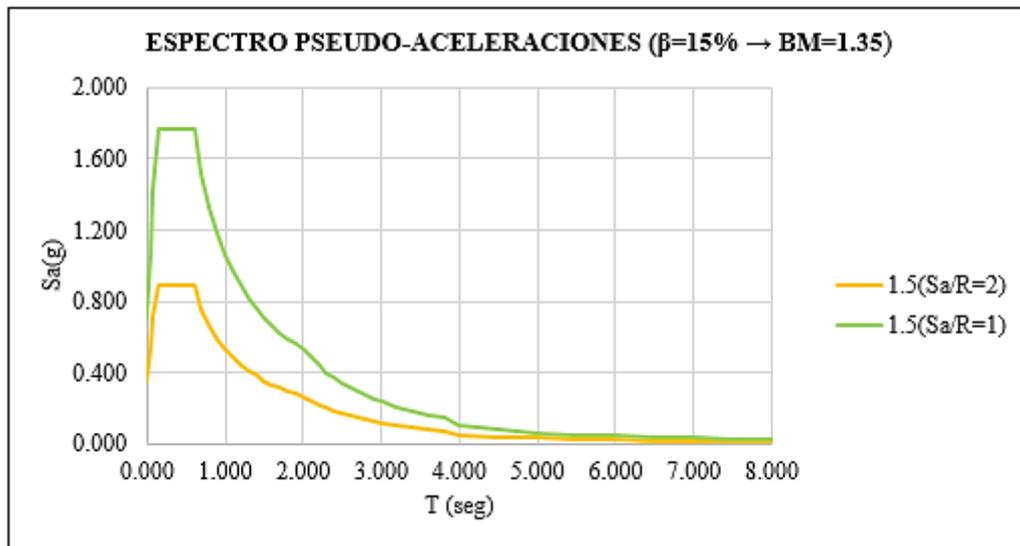


Figura 56: Espectro de pseudo-aceleraciones con amortiguamiento efectivo de 15% para estructura aislada de 16 pisos.

La Tabla N° 71, muestra las fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento, siguiendo los lineamientos del análisis de fuerzas estáticas equivalentes, con el cual se obtiene una fuerza cortante total del sistema de aislamiento $V_b=406.69$ tn., fuerza cortante no reducida $V_{st}=384.38$ tn. y una fuerza cortante reducida $V_s=192.19$ tn. actuando por encima del nivel de base.

Tabla 71:

Fuerzas laterales mínimas para el diseño del sistema de aislamiento en estructura de 16 pisos.

FUERZAS LATERALES MÍNIMAS EN ESTRUCTURA AISLADA DE 16 PISOS (E0.31)

Fuerza cortante total del sistema de aislamiento	Vb = 406.69 tonf
Peso sísmico efectivo de la superestructura	Ps = 4381.09 tonf
Peso sísmico efectivo desde la base	P = 4795.02 tonf
Fuerza cortante no reducida encima de nivel de base	Vst = 384.38 tonf
Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas	Ra = 2.00
Fuerza cortante reducida encima de nivel de base	Vs = 192.19 tonf

Como se observa en la Tabla N° 72, para la estructura de 16 pisos con aislamiento elastomérico LRB, en la dirección “X” se supera el 90% de masa participativa en el modo 2 y en la dirección “Y” en el modo 1; asimismo, se observa que los dos primeros modos de vibración; con periodos de 4.515 seg., participación del 99.72% en “X” y 4.646 seg. de periodo y participación del 99.28%. en “Y”, son de traslación y el tercer modo; con periodo de 4.118 seg. y participación del 99.50%, con rotación en “Z”, los modos mencionados son los asociados al sistema de aislamiento elastoméricos.

Tabla 72:

Formasl modales y masa participativa en estructura aislada de 16 pisos.

FORMAS MODALES Y MASA PARTICIPATIVA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 16 PISOS								
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
Modal	1	4.646	0.0000	0.9928	0.0000	0.9928	0.0000	0.0000
Modal	2	4.515	0.9972	0.0000	0.9972	0.9928	0.0000	0.0000
Modal	3	4.118	0.0000	0.0000	0.9972	0.9928	0.9950	0.9950
Modal	4	1.068	0.0000	0.0070	0.9972	0.9998	0.0000	0.9950
Modal	5	0.868	0.0000	0.0000	0.9972	0.9998	0.0048	0.9998
Modal	6	0.850	0.0027	0.0000	0.9999	0.9998	0.0000	0.9998
Modal	7	0.422	0.0000	0.0002	0.9999	1.0000	0.0000	0.9998
Modal	8	0.375	0.0000	0.0000	0.9999	1.0000	0.0002	1.0000
Modal	9	0.318	0.0001	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	10	0.223	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	11	0.218	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	12	0.178	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Modal	13	0.147	0	0	1	1	2.6E-06	1
Modal	14	0.136	0	1.26E-06	1	1	0	1
Modal	15	0.117	6.78E-07	0	1	1	0	1
Modal	16	0.108	0	0	1	1	6.06E-07	1

Modal	17	0.092	0	0	1	1	0	1
Modal	18	0.085	0	0	1	1	0	1
Modal	19	0.084	0	0	1	1	0	1
Modal	20	0.069	0	0	1	1	0	1
Modal	21	0.066	0	0	1	1	0	1
Modal	22	0.066	0	0	1	1	0	1
Modal	23	0.058	0	0	1	1	0	1
Modal	24	0.054	0	0	1	1	0	1
Modal	25	0.051	0	0	1	1	0	1
Modal	26	0.05	0	0	1	1	0	1
Modal	27	0.045	0	0	1	1	0	1
Modal	28	0.044	0	0	1	1	0	1
Modal	29	0.04	0	0	1	1	0	1
Modal	30	0.04	0	0	1	1	0	1
Modal	31	0.039	0	0	1	1	0	1
Modal	32	0.036	0	0	1	1	0	1
Modal	33	0.034	0	0	1	1	0	1
Modal	34	0.034	0	0	1	1	0	1
Modal	35	0.033	0	0	1	1	0	1
Modal	36	0.032	0	0	1	1	0	1
Modal	37	0.031	0	0	1	1	0	1
Modal	38	0.03	0	0	1	1	0	1
Modal	39	0.03	0	0	1	1	0	1
Modal	40	0.028	0	0	1	1	0	1
Modal	41	0.028	0	0	1	1	0	1
Modal	42	0.026	0	0	1	1	0	1
Modal	43	0.025	0	0	1	1	0	1
Modal	44	0.024	0	0	1	1	0	1
Modal	45	0.023	0	0	1	1	0	1
Modal	46	0.023	0	0	1	1	0	1
Modal	47	0.022	0	0	1	1	0	1
Modal	48	0.021	0	0	1	1	0	1

Como se mencionó en los procedimientos de la presente investigación, se realizó el análisis dinámico modal espectral, para controlar las distorsiones de entrepiso de la estructura de 16 pisos. Como se muestra en la Tabla N° 73, las distorsiones no sobrepasan el límite permisible de 3.5‰; según la norma E0.31, alcanzando como máximo una distorsión de 1.88‰ en la dirección “X” y 2.75‰ en

la dirección “Y”. Asimismo, el desplazamiento máximo de la base es de 40.62 cm en la dirección “X” y 36.52 cm en la dirección “Y”.

Tabla 73:
Distorsiones de entrepiso de estructura aislada de 16 pisos.

DISTORSIONES DE ENTREPISO DE ESTRUCTURA AISLADA DE 16 PISOS					
Piso	Dirección	D _{máx} (m)	Altura (m)	Deriva Inelástica	< 3.50‰ (E0.31)
16	X	0.0032	3	1.08 ‰	Si
15	X	0.0035	3	1.17 ‰	Si
14	X	0.0038	3	1.26 ‰	Si
13	X	0.0041	3	1.36 ‰	Si
12	X	0.0044	3	1.46 ‰	Si
11	X	0.0047	3	1.56 ‰	Si
10	X	0.0049	3	1.64 ‰	Si
9	X	0.0052	3	1.72 ‰	Si
8	X	0.0054	3	1.79 ‰	Si
7	X	0.0055	3	1.84 ‰	Si
6	X	0.0056	3	1.87 ‰	Si
5	X	0.0056	3	1.88 ‰	Si
4	X	0.0056	3	1.86 ‰	Si
3	X	0.0054	3	1.80 ‰	Si
2	X	0.0051	3	1.69 ‰	Si
1	X	0.0041	3	1.36 ‰	Si
Nivel Base	X	0.4062	1.4	-	
16	Y	0.0046	3	1.52 ‰	Si
15	Y	0.0049	3	1.62 ‰	Si
14	Y	0.0053	3	1.75 ‰	Si
13	Y	0.0057	3	1.90 ‰	Si
12	Y	0.0062	3	2.06 ‰	Si
11	Y	0.0067	3	2.22 ‰	Si

10	Y	0.0071	3	2.36 ‰	Si
9	Y	0.0075	3	2.49 ‰	Si
8	Y	0.0078	3	2.61 ‰	Si
7	Y	0.0081	3	2.69 ‰	Si
6	Y	0.0082	3	2.74 ‰	Si
5	Y	0.0082	3	2.75 ‰	Si
4	Y	0.0081	3	2.69 ‰	Si
3	Y	0.0076	3	2.55 ‰	Si
2	Y	0.0069	3	2.29 ‰	Si
1	Y	0.0054	3	1.79 ‰	Si
Nivel Base	Y	0.3652	1.4	-	

Del mismo modo, en la Tabla N° 74, se presenta las cortantes por piso obtenidas del análisis dinámico, considerando R=1 para la subestructura y R=2 para la superestructura, como se mencionó anteriormente.

Tabla 74:

Cortante por piso de estructura aislada de 16 pisos.

CORTANTE POR PISO DE ESTRUCTURA AISLADA DE 16 PISOS

Piso	Dirección	V (tonf)	Dirección	V (tonf)
16	X	16.82	Y	19.75
15	X	34.44	Y	40.00
14	X	50.61	Y	58.15
13	X	65.29	Y	74.18
12	X	78.50	Y	88.11
11	X	90.31	Y	100.03
10	X	100.82	Y	110.05
9	X	110.17	Y	118.38
8	X	118.57	Y	125.25
7	X	126.23	Y	130.95
6	X	133.41	Y	135.83
5	X	140.38	Y	140.28
4	X	147.41	Y	144.74
3	X	154.76	Y	149.69
2	X	162.66	Y	155.54
1	X	171.25	Y	162.64
Nivel Base	X	371.35	Y	352.22
Interfaz	X	373.78	Y	354.62

3.8. Análisis no lineal Tiempo Historia

3.8.1. Registros de aceleraciones sísmicas

Para el análisis de respuesta en el tiempo “Tiempo Historia”, se siguieron los lineamientos de la norma E0.31 y lo referido en los procedimientos de la presnete investigación; por tal motivo, se usaron catorce señales sísmicas de siete terremotos relevantes ocurridos en Perú y Chile.

En la Tabla N° 75 se presentan los cinco sismos relevantes ocurridos en el Perú y los dos sismos más fuertes ocurridos en Chile.

Tabla 75:
Características de registros sísmicos usados en análisis Tiempo Historia

CARÁCTERÍSTICAS DE REGISTROS SÍSMICOS USADOS EN ANÁLISIS TH						
Estación	Ubicación de Estación	Localización de Sismo	Fecha	Componentes	Aceleración Máxima (cm/s ²)	Duración (seg.)
Parque de la Reserva	Cercado de Lima, Lima	Chimbote, Perú	31 de mayo de 1970	E-W N-S	105.05 97.81	45.08 seg.
Parque de la Reserva	Cercado de Lima, Lima	Lima, Perú	03 de octubre de 1974	E-W N-S	194.21 180.09	97.96 seg.
Parque de la Reserva	Cercado de Lima, Lima	Callao, Perú	17 de octubre de 1966	E-W N-S	180.56 268.24	65.64 seg.
UNICA	Ica, Ica	Pisco, Perú	15 de agosto de 2007	E-W N-S	272.82 333.66	218.06 seg.
César Vizcarra Vargas	Moquegua, Moquegua	Arequipa, Perú	23 de junio de 2001	E-W N-S	295.15 219.99	198.9 seg.
Talca	Universidad de Chile	Talca, Chile	27 de febrero de 2010	E-W N-S	462.27 407.5	201.98 seg.
Curico	Universidad de Chile	Valparaiso, Chile	03 de marzo de 1985	E-W N-S	284.49 225.63	79.345 seg.

3.8.2. Escalamiento de señales sísmicas

Como se mencionó anteriormente, para el escalamiento de las señales sísmicas, se usó el espectro de pseudo-aceleraciones con R=1, con la intención de

preservar la funcionalidad continua de las edificaciones y poder obtener un análisis comparativo del comportamiento sísmico de cada estructura.

3.8.2.1. Escalamiento de señales para edificaciones con Aisladores LRB

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

La Figura 57 muestra el escalamiento de la señales ortogonales del sismo de Pisco 2007, por ser este, el sísmo con mayor aceleración y duración ocurrido en Perú, se puede apreciar como las señales originales convergen al espectro base y son compatibles con este. Asimismo, en la Figura 58 se muestran todas los registros sísmicos escalados al espectro base para la estructura aislada de 4 pisos en los rangos de periodo min. $0.2T'_M=0.418$ seg. y periodo máx. $1.5T'_M=2.615$ seg.

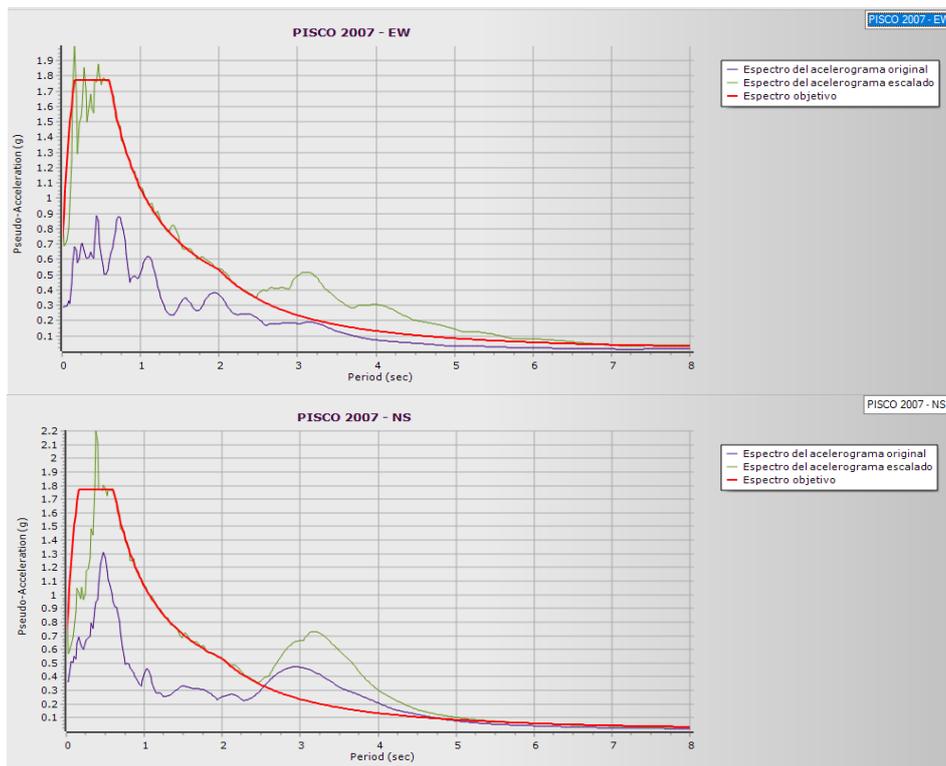


Figura 57: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura aislada de 4 pisos. (SeismoMatch)

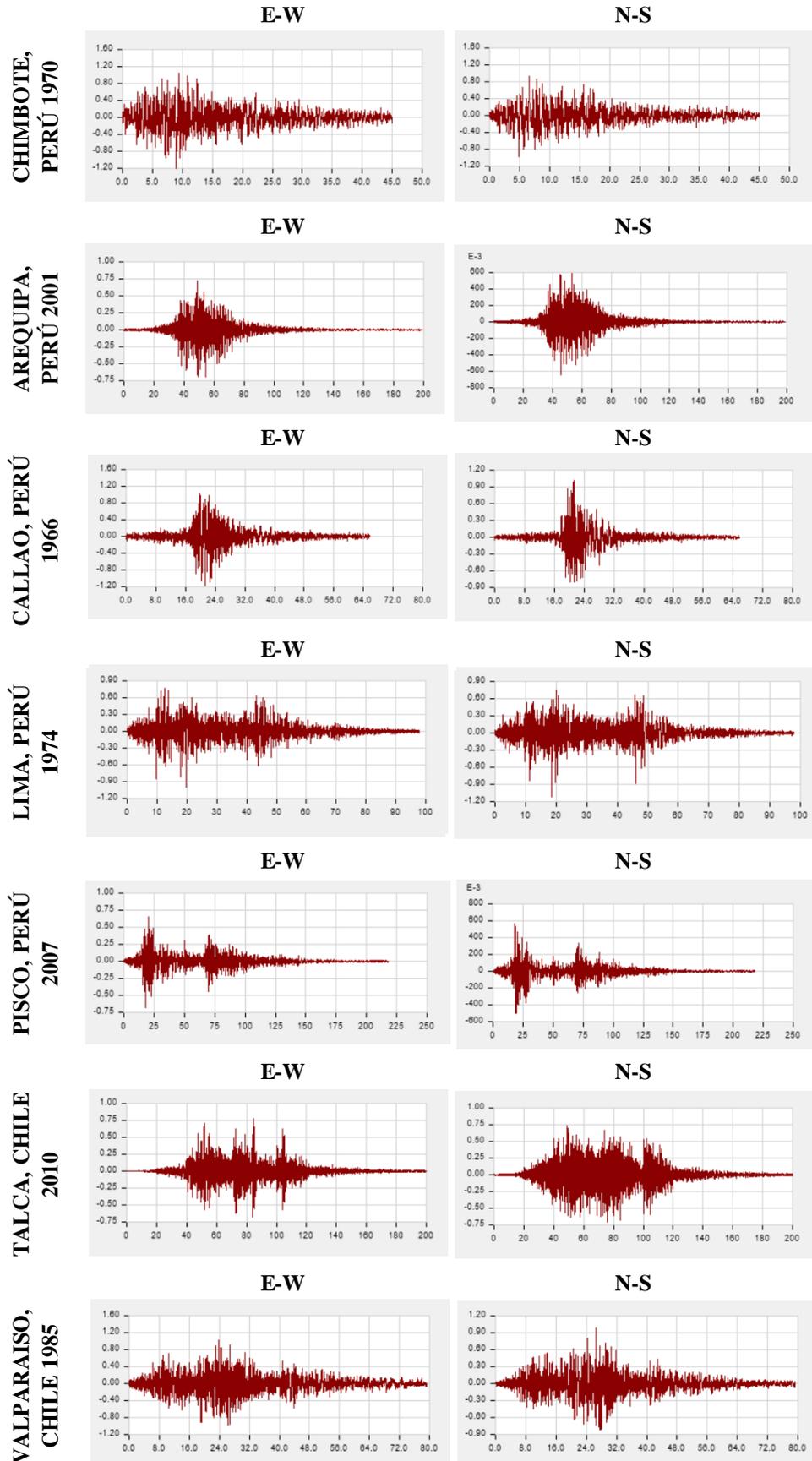


Figura 58: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura aislada de 4 pisos.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

La Figura 59 muestra el escalamiento de la señales ortogonales del sismo de Pisco 2007, por ser este, el sismo con mayor aceleración y duración ocurrido en Perú, se puede apreciar como las señales originales convergen al espectro base y son compatibles con este. Asimismo, en la Figura 60 se muestran todas los registros sísmicos escalados al espectro base para la estructura aislada de 8 pisos en los rangos de periodo min. $0.2T'_M=0.606 \text{ seg.}$ y periodo máx. $1.5T'_M=3.788 \text{ seg.}$

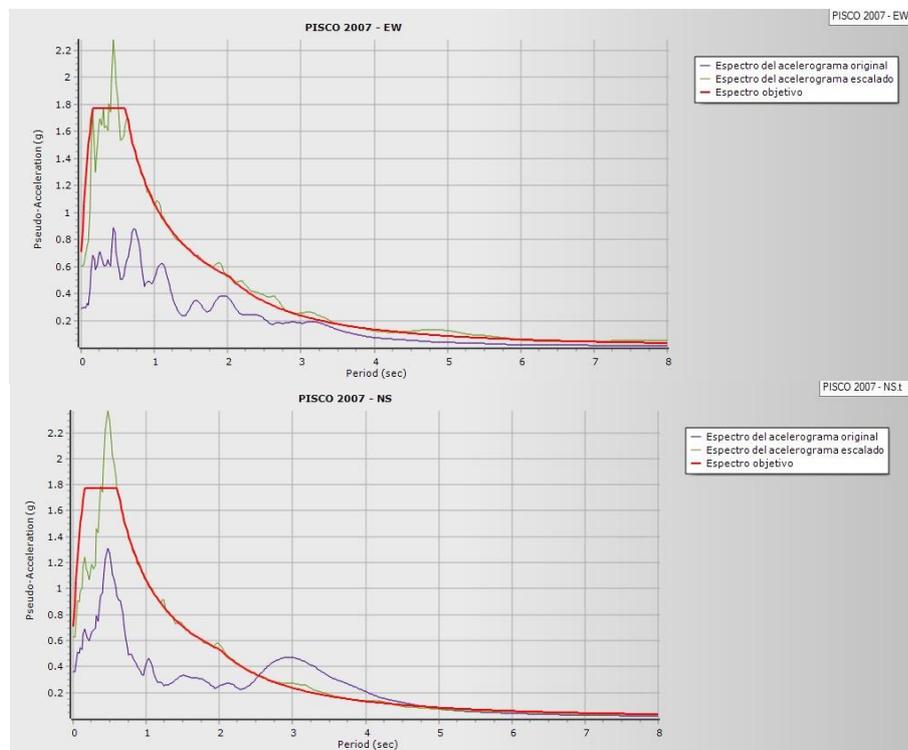


Figura 59: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura aislada de 8 pisos. (SeismoMatch)

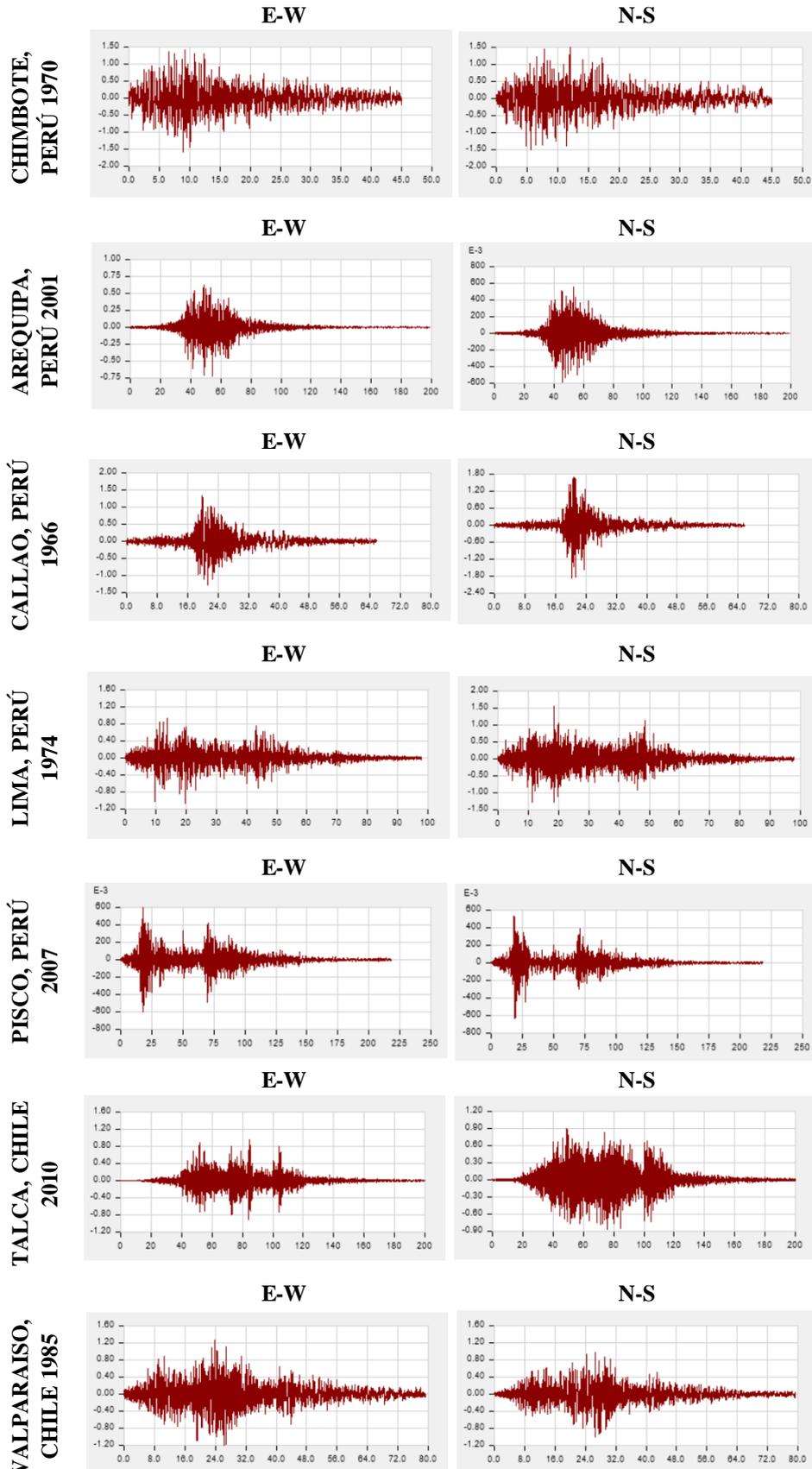


Figura 60: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura aislada de 8 pisos.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

La Figura 61 muestra el escalamiento de la señales ortogonales del sismo de Pisco 2007, por ser este, el sismo con mayor aceleración y duración ocurrido en Perú, se puede apreciar como las señales originales convergen al espectro base y son compatibles con este. Asimismo, en la Figura 62 se muestran todas los registros sísmicos escalados al espectro base para la estructura aislada de 16 pisos en los rangos de periodo min. $0.2T'_M=0.885 \text{ seg.}$ y periodo máx. $1.5T'_M=5.533 \text{ seg.}$

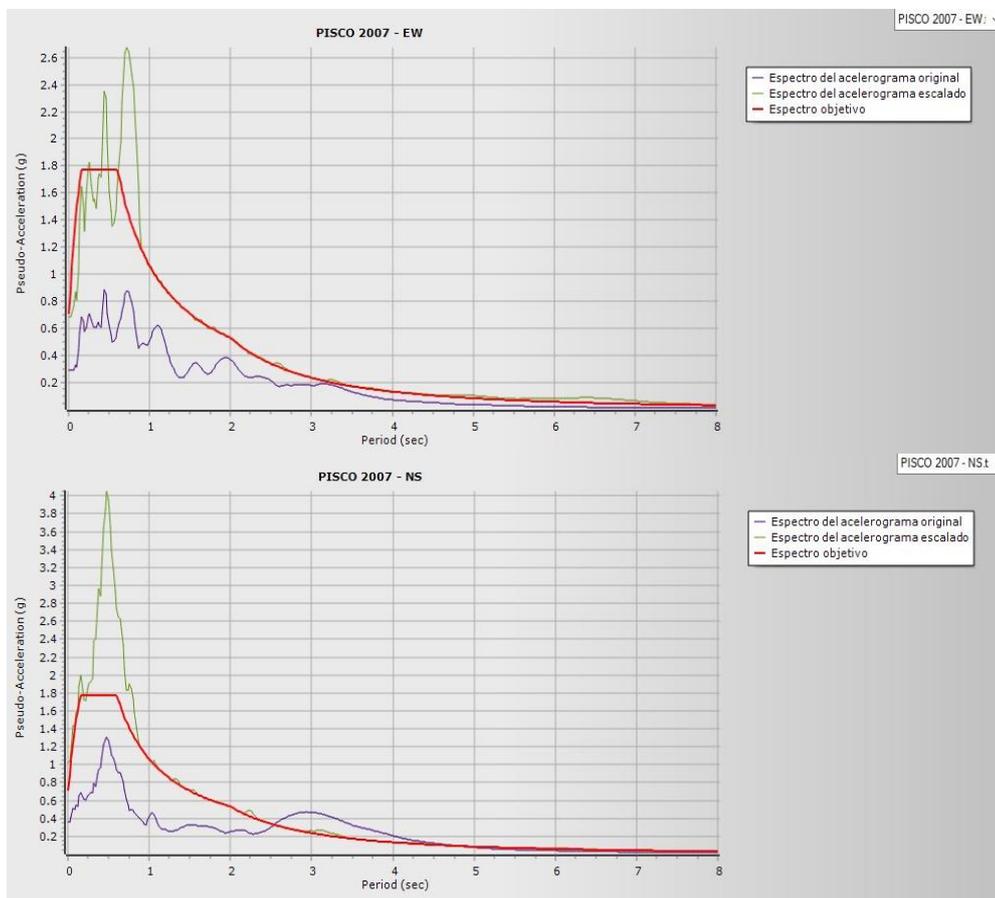


Figura 61: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura aislada de 16 pisos. (SeismoMatch)

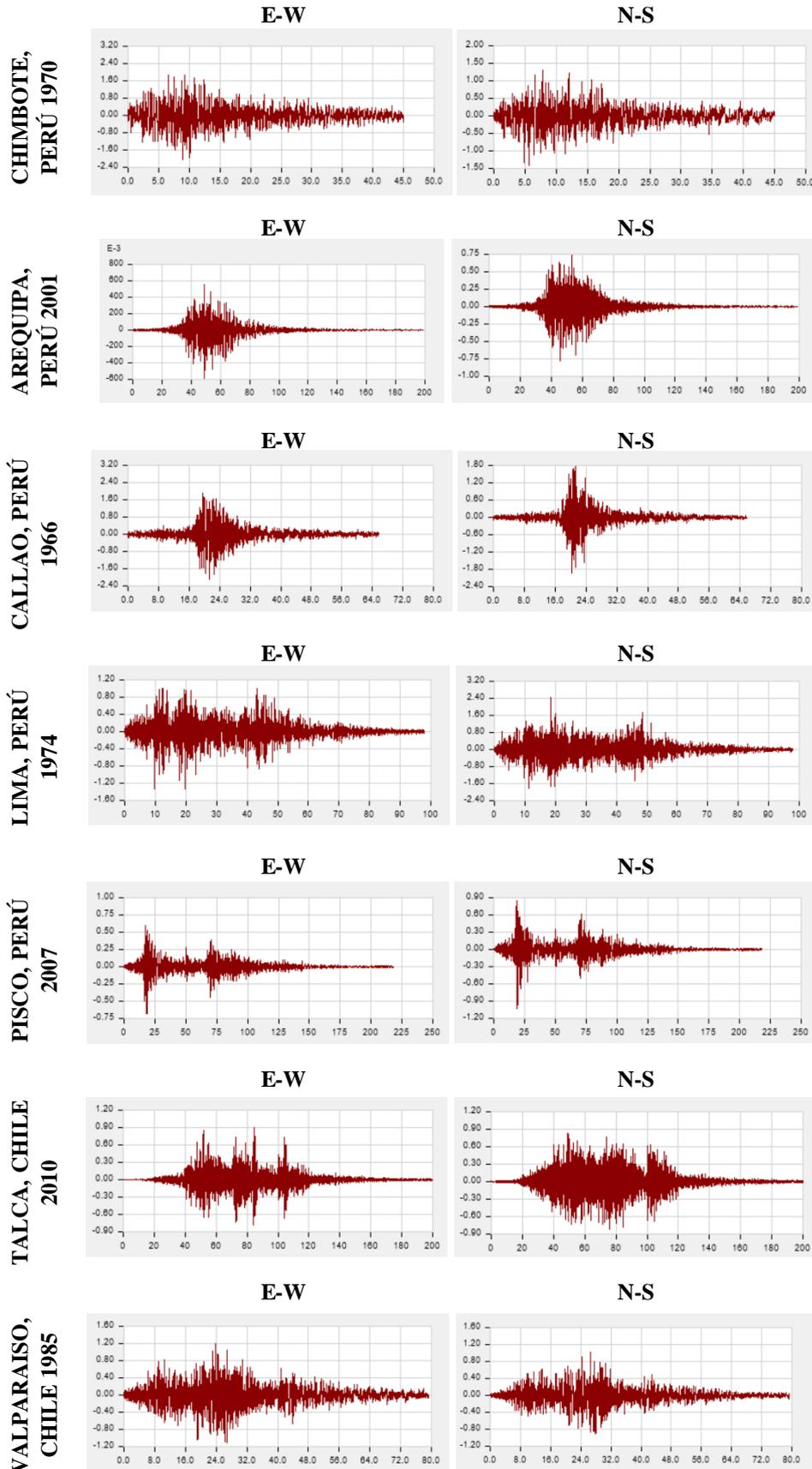


Figura 62: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura aislada de 16 pisos.

3.8.2.2. Escalamiento de señales para edificaciones con Disipadores SLB

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

La Figura 63 muestra el escalamiento de la señales ortogonales del sismo de Pisco 2007, por ser este, el sísmo con mayor aceleración y duración ocurrido en Perú, se puede apreciar como las señales originales convergen al espectro base y son compatibles con este. Asimismo, en la Figura 64 se muestran todas los registros sísmicos escalados al espectro base para la estructura con disipadores hysteréticos de 4 pisos en los rangos de periodo min. $0.2T'_M=0.051 \text{ seg.}$ y periodo máx. $1.5T'_M=0.384 \text{ seg.}$

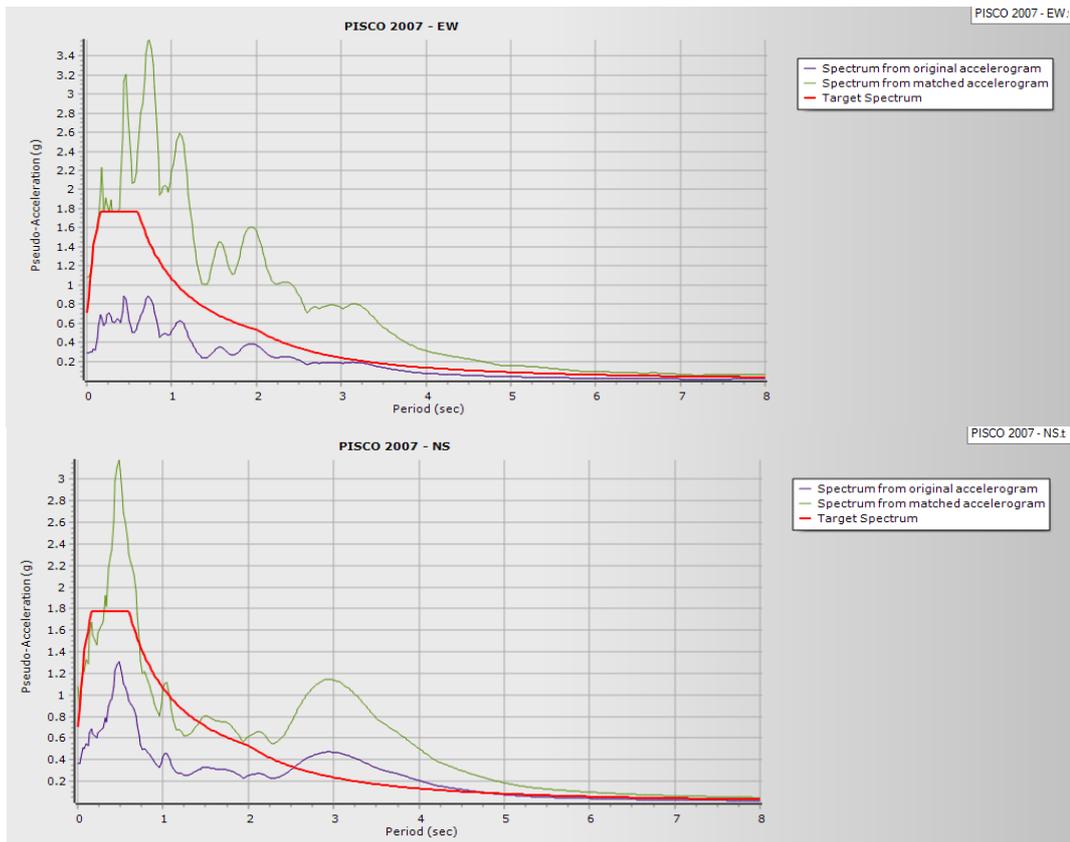


Figura 63: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura con disipadores de 4 pisos. (SeismoMatch)

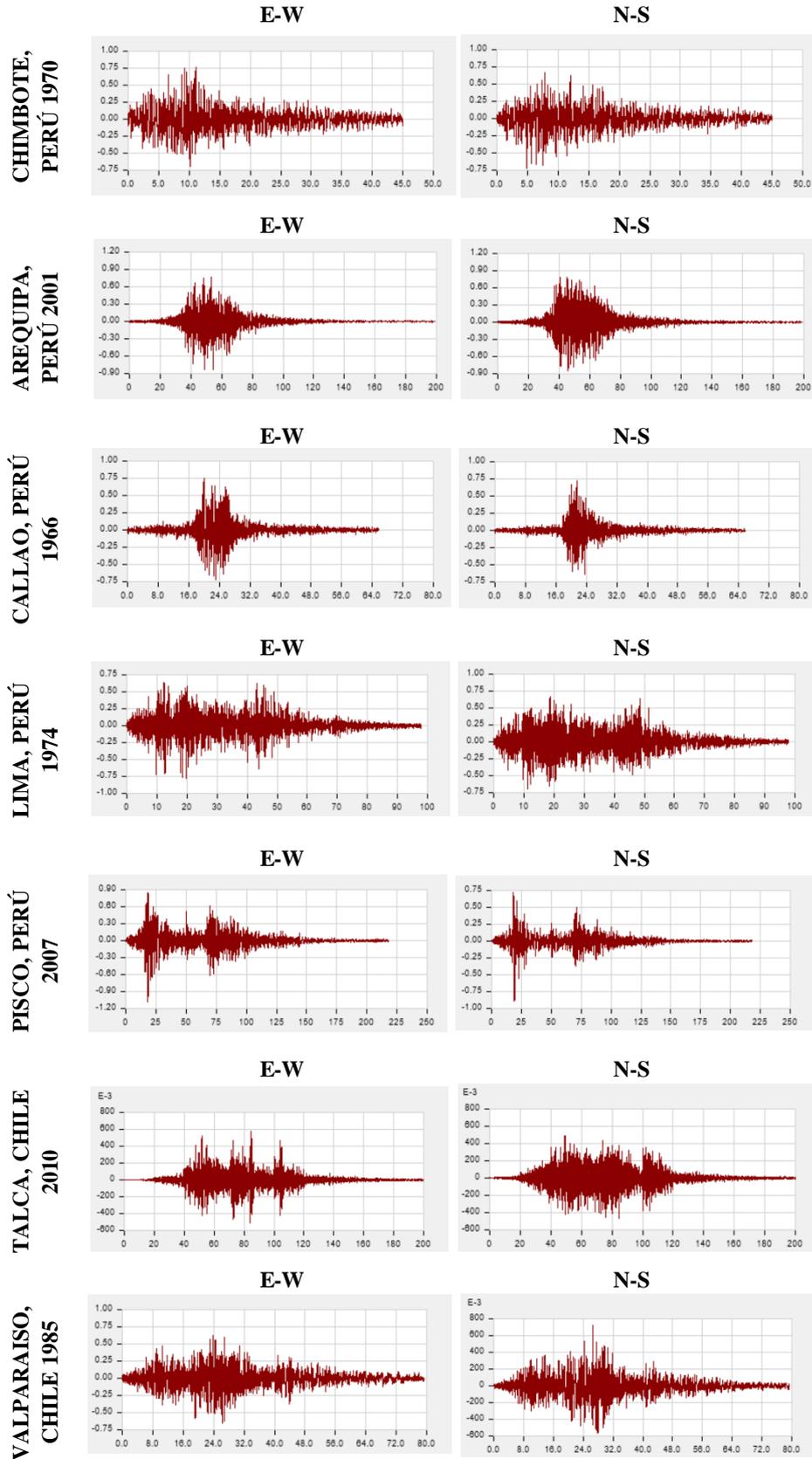


Figura 64: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura con disipadores de 4 pisos.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

La Figura 65 muestra el escalamiento de la señales ortogonales del sismo de Pisco 2007, por ser este, el sismo con mayor aceleración y duración ocurrido en Perú, se puede apreciar como las señales originales convergen al espectro base y son compatibles con este. Asimismo, en la Figura 66 se muestran todas los registros sísmicos escalados al espectro base para la estructura con disipadores histeréticos de 8 pisos en los rangos de periodo min. $0.2T'_M=0.094 \text{ seg.}$ y periodo máx. $1.5T'_M=0.707 \text{ seg.}$

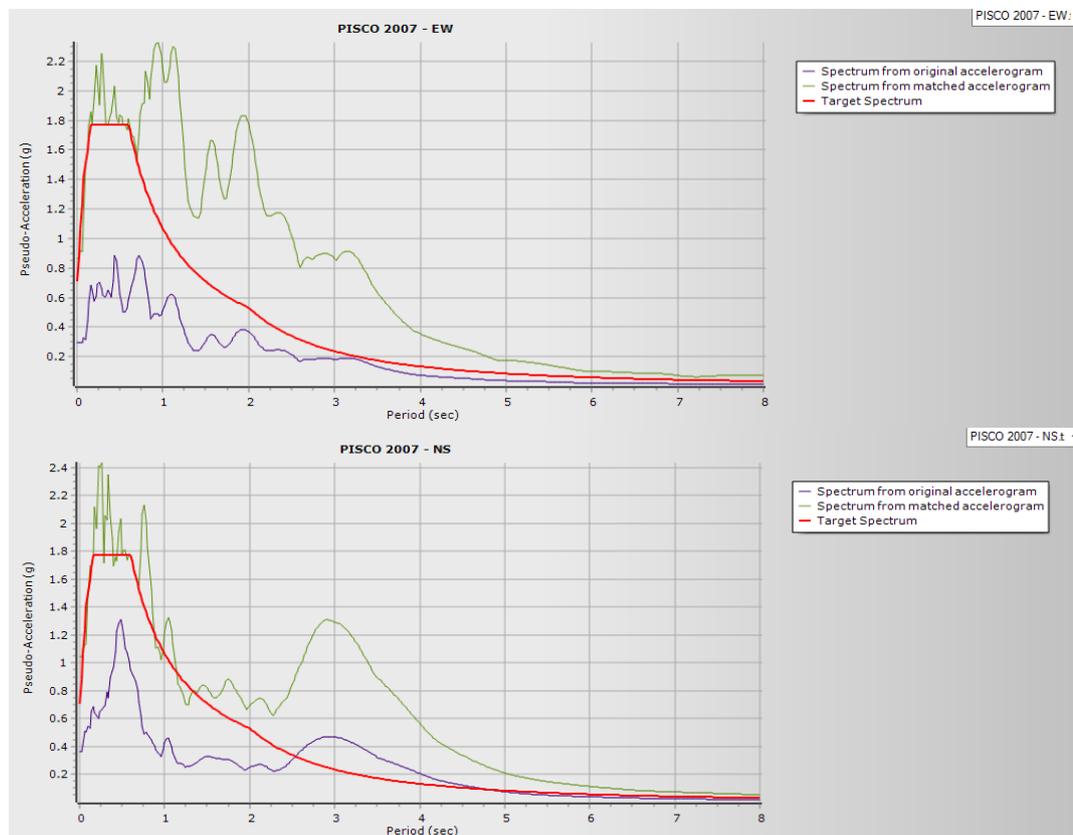


Figura 65: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura con disipadores de 8 pisos. (SeismoMatch)

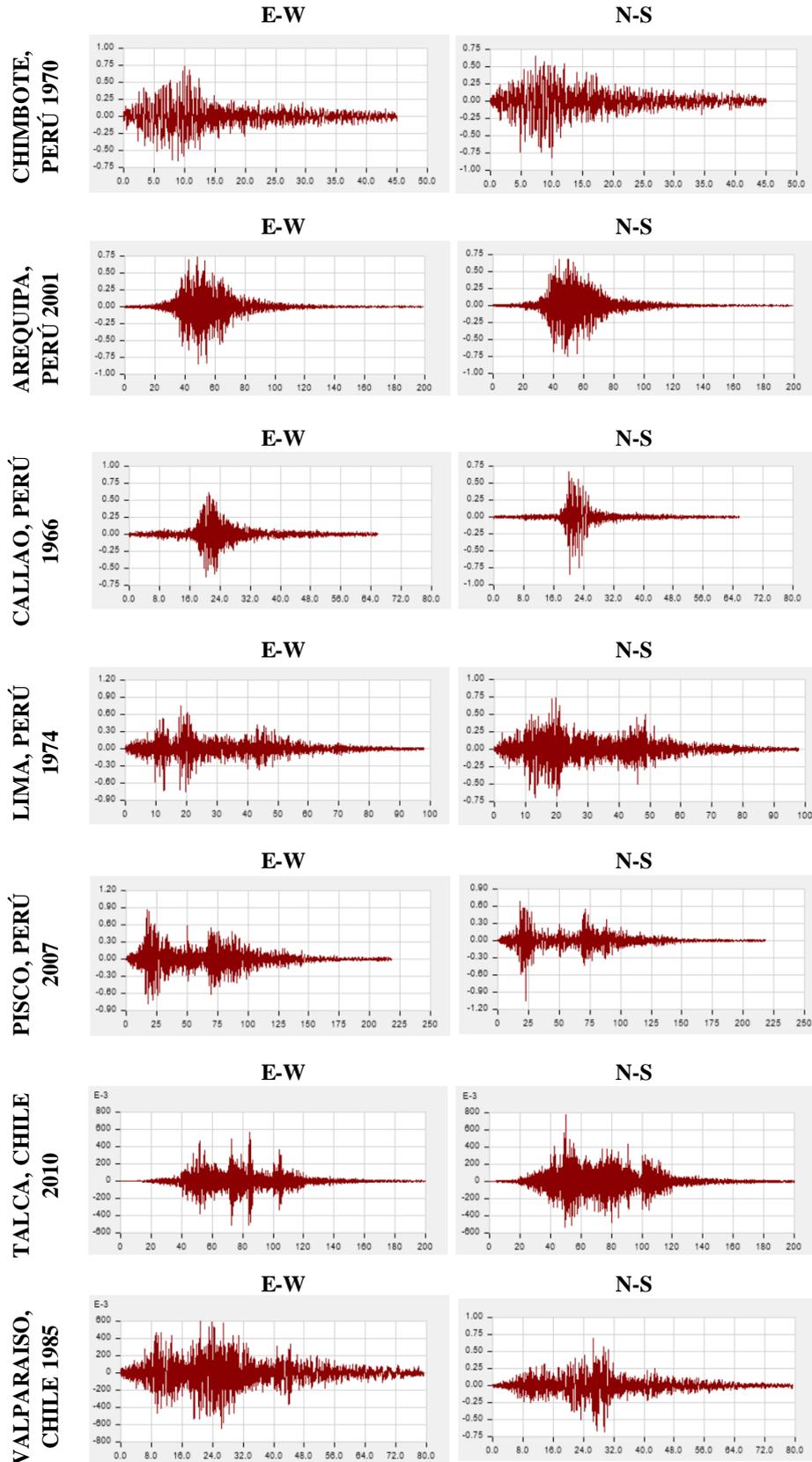


Figura 66: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura con disipadores de 8 pisos.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

La Figura 67 muestra el escalamiento de la señales ortogonales del sismo de Pisco 2007, por ser este, el sísmo con mayor aceleración y duración ocurrido en Perú, se puede apreciar como las señales originales convergen al espectro base y son compatibles con este. Asimismo, en la Figura 68 se muestran todas los registros sísmicos escalados al espectro base para la estructura con disipadores histeréticos de 16 pisos en los rangos de periodo min. $0.2T'_M=0.148 \text{ seg.}$ y periodo máx. $1.5T'_M=1.107 \text{ seg.}$

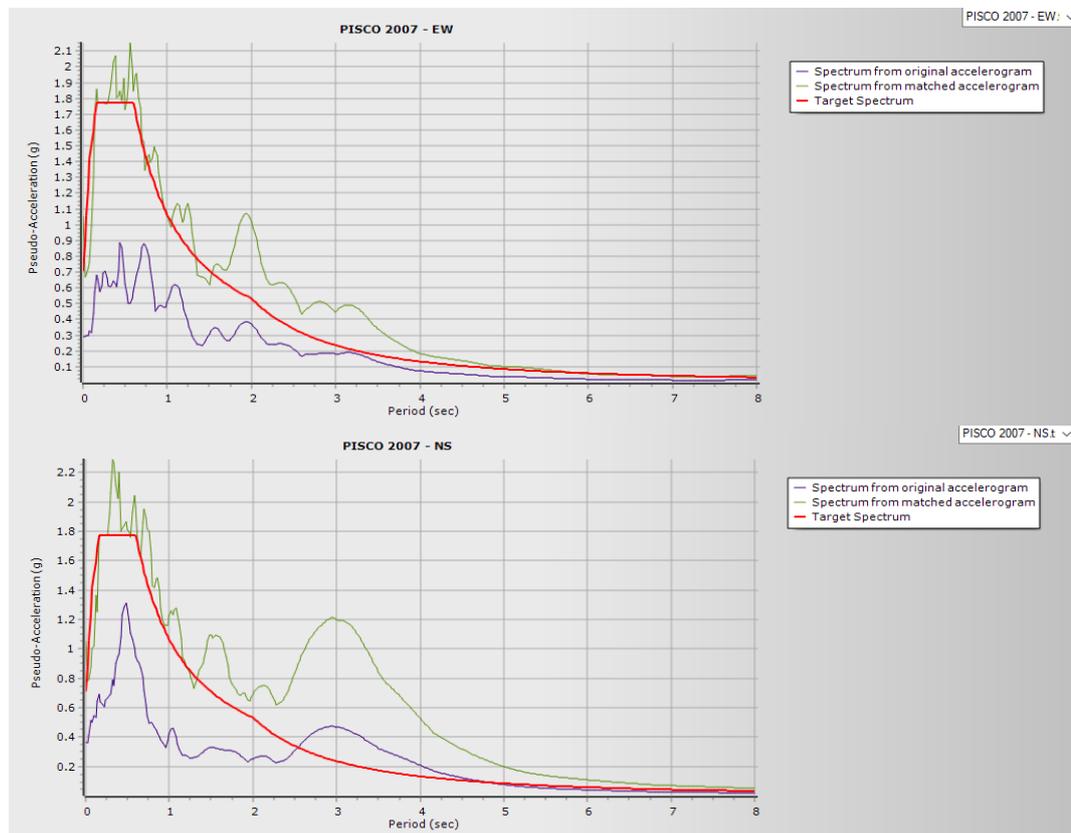


Figura 67: Escalamiento del sismo Pisco del año 2007, para estructura con disipadores de 16 pisos. (SeismoMatch)

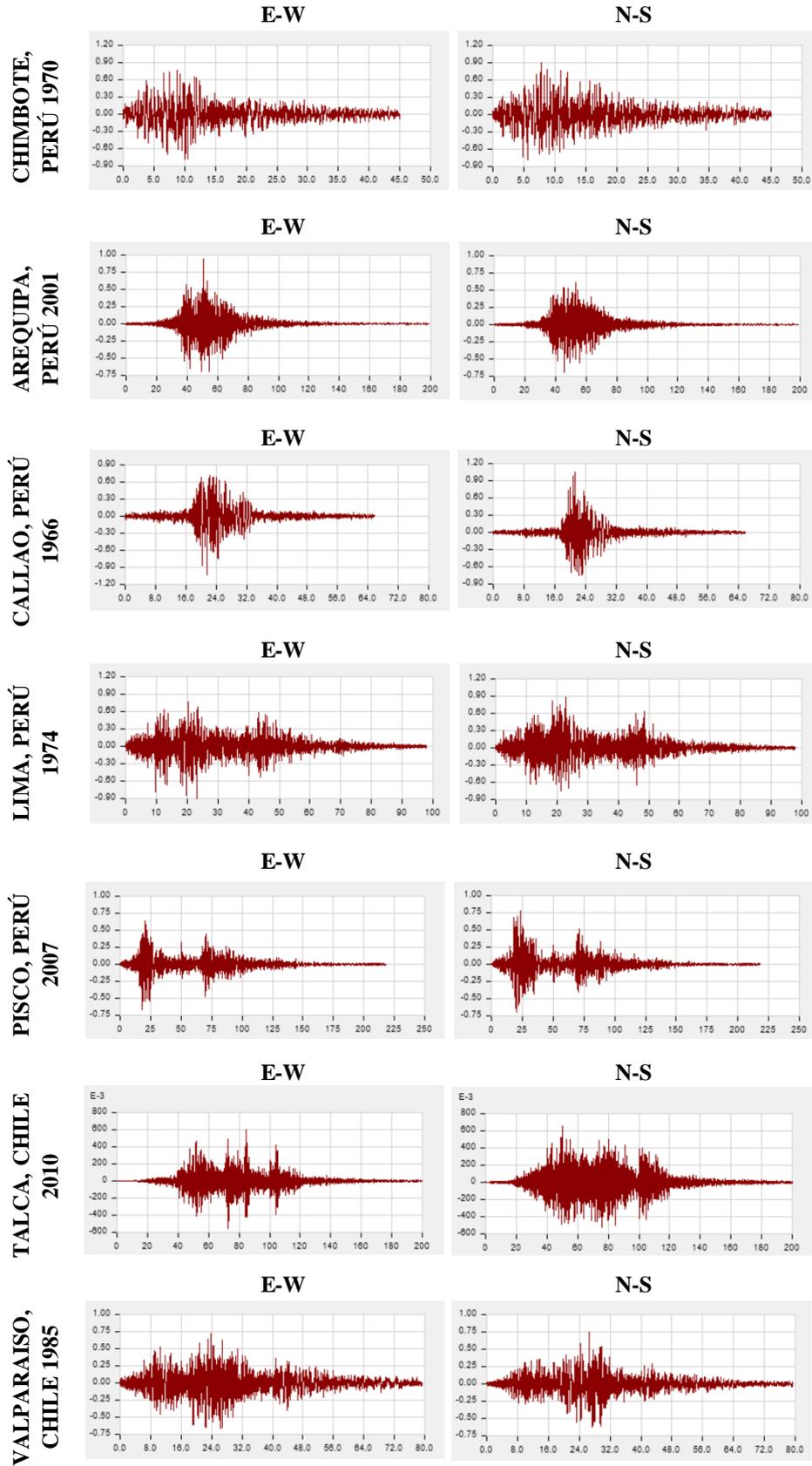


Figura 68: Señales sísmicas corregidas y escalas para estructura con disipadores de 16 pisos.

3.8.3. Tratamiento de resultados

3.8.3.1. Resultados de edificaciones con aisladores elastoméricos LRB

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

- Distorsiones de entrepiso finales

Para el tratamiento de resultados del análisis no lineal tiempo historia, se obtuvieron las distorsiones de entrepiso para “Caso 1” y “Caso 2” como se muestran en la Tabla N° 76 y Tabla N° 77, en los cuales se ingresaron el 90% de la señal sísmica en la dirección del análisis y el 44% de la señal ortogonal en la otra dirección.

Tabla 76:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 4 pisos - CASO 1

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 4 PISOS - CASO 1								
Dirección	Piso	Chimbote, Perú 1970	Arequipa, Perú 2001	Callao, Perú 1966	Lima, Perú 1974	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985
"X-X"	4	1.00 ‰	1.23 ‰	1.13 ‰	1.12 ‰	1.30 ‰	1.07 ‰	1.00 ‰
	3	1.22 ‰	1.46 ‰	1.35 ‰	1.32 ‰	1.61 ‰	1.30 ‰	1.20 ‰
	2	1.37 ‰	1.55 ‰	1.45 ‰	1.45 ‰	1.82 ‰	1.46 ‰	1.33 ‰
	1	1.25 ‰	1.24 ‰	1.21 ‰	1.32 ‰	1.66 ‰	1.30 ‰	1.18 ‰
"Y-Y"	4	1.57 ‰	1.23 ‰	1.39 ‰	1.57 ‰	1.38 ‰	1.41 ‰	1.38 ‰
	3	1.68 ‰	1.35 ‰	1.54 ‰	1.69 ‰	1.51 ‰	1.54 ‰	1.54 ‰
	2	1.62 ‰	1.37 ‰	1.57 ‰	1.67 ‰	1.54 ‰	1.55 ‰	1.56 ‰
	1	1.26 ‰	1.14 ‰	1.28 ‰	1.36 ‰	1.30 ‰	1.27 ‰	1.29 ‰

Tabla 77:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 4 pisos - CASO 2

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 4 PISOS - CASO 2								
Dirección	Piso	Chimbote, Perú 1970	Arequipa, Perú 2001	Callao, Perú 1966	Lima, Perú 1974	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985
"X-X"	4	0.77 ‰	0.77 ‰	0.70 ‰	0.78 ‰	0.67 ‰	0.67 ‰	0.72 ‰
	3	0.93 ‰	0.92 ‰	0.84 ‰	0.93 ‰	0.80 ‰	0.79 ‰	0.88 ‰
	2	1.00 ‰	1.03 ‰	0.94 ‰	1.01 ‰	0.89 ‰	0.85 ‰	0.95 ‰
	1	0.89 ‰	0.90 ‰	0.84 ‰	0.86 ‰	0.76 ‰	0.75 ‰	0.80 ‰
"Y-Y"	4	2.09 ‰	1.89 ‰	2.00 ‰	2.37 ‰	1.83 ‰	1.98 ‰	1.96 ‰
	3	2.23 ‰	2.05 ‰	2.20 ‰	2.57 ‰	1.99 ‰	2.13 ‰	2.12 ‰
	2	2.14 ‰	2.07 ‰	2.26 ‰	2.56 ‰	2.02 ‰	2.06 ‰	2.09 ‰
	1	1.70 ‰	1.74 ‰	1.95 ‰	2.11 ‰	1.70 ‰	1.70 ‰	1.70 ‰

- **Parámetros de interés del sistema de aislamiento**

Siguiendo los lineamientos de la norma E0.31 y lo mencionado en la presente investigación, la Tabla N° 78, presenta las características y parámetros de interés para diseño del sistema de aislamiento elastomérico de la estructura de 4 pisos, dichas propiedades finales representan los valores promedios de todos los movimientos del terreno o registros sísmicos usados en el análisis tiempo historia.

Tabla 78:

Parámetros de interés del sistema de aislamiento con análisis TH en estructura de 4 pisos.

PARÁMETROS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS				
Propiedad	Dirección	Límite Inferior	Nominal	Límite Superior
Distorsiones de entrepiso promedio	X-X	0.89 ‰	1.09 ‰	1.49 ‰
	Y-Y	1.42 ‰	1.66 ‰	2.18 ‰
Aceleración máx. promedio	X-X	0.350 g	0.397 g	0.576 g
	Y-Y	0.359 g	0.408 g	0.520 g
Desplazamiento máx. promedio D'_M	X-X	22.98 cm	22.30 cm	20.42 cm
	Y-Y	28.05 cm	23.86 cm	18.89 cm
Fuerza histerética máx. F_M^+	X-X	296.58 Tn	362.46 Tn	470.42 Tn
	Y-Y	345.75 Tn	390.95 Tn	482.90 Tn
Fuerza histerética máx. F_M^-	X-X	324.05 Tn	391.21 Tn	486.05 Tn
	Y-Y	353.22 Tn	397.41 Tn	470.89 Tn
Rígidez efectiva promedio K_{eff}	X-X	1438.84 Tn/m	1838.61 Tn/m	2745.34 Tn/m
	Y-Y	1375.55 Tn/m	1822.75 Tn/m	2865.09 Tn/m
Amortiguamiento efectivo promedio β_{eff}	X-X	17.60%	18.31%	19.48%
	Y-Y	17.58%	18.31%	19.49%
Fuerza restauradora en función al Peso	X-X	6.57%	7.96%	12.30%
	Y-Y	7.40%	8.33%	12.26%

- **Desplazamiento máximo D'_M y D'_{TM} del sistema de aislamiento**

La determinación de la junta de separación del nivel de base se presenta en la Tabla N° 79, siendo este, el valor mayor calculado con “ D_M ”, “ D'_M ” y la relación según la norma E0.31, donde D_{TM} debe ser mayor o igual a $1.15D'_M$.

Tabla 79:

Desplazamiento total D_{TM} en estructura de 4 pisos.

DESPLAZAMIENTO TOTAL D_{TM} CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA Y LAS PROPIEDADES DEL LÍMITE INFERIOR EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS			
Parámetros del límite inferior	Und.	X-X	Y-Y
Rigidez efectiva, K_{eff}	ton/m	1438.84	1375.55
Amortiguamiento efectivo, β_{eff}	(%)	0.1760	0.1758
Periodo de base fija, T_f	s	0.2960	0.3580
Periodo efectiva, T_M	s	2.166	2.176
Periodo rotacional, T_o	s	1.935	1.935
Factor de amortiguamiento efectivo, B_M	-	1.428	1.427
Factor de amplificación sísmica, C	-	0.6394	0.6336
Ordenada de espectro elástico, S_a	cm/s ²	444.60	440.52
Desplazamiento traslacional, D_M	cm	37.00	37.02
Dimensión menor de la proyección en planta, b	m	14.4	14.4
Dimensión mayor de la proyección en planta, d	m	19.6	19.6
Distancia al aislador mas alejado, y	m	9.8	7.2
Excentricidad accidental 5%, e	m	0.98	0.72
Razón entre T_M/T_o , P_t	-	1.12	1.12
Desplazamiento total calculado, D_{TM} con D_M	cm	42.75	40.09
D'_M , Artículo 26 E0.31	cm	36.66	36.52
Desplazamiento total calculado, D_{TM} con D'_M	cm	42.36	39.56
Requerimiento mínimo, $D_{TM} \geq 1.15D_M$	cm	42.55	42.57
Desplazamiento total, D_{TM}	cm	42.75	42.57

Asimismo, la Tabla N° 80 muestra el desplazamiento máximo de diseño del sistema de aislamiento elastomérico, con D_{TM} tanto para análisis no lineal tiempo historia y análisis dinámico modal espectral. Para la estructura de 4 pisos el desplazamiento máximo de diseño $D_{MÁX}$ es 36.05 cm en la dirección “X” y 34.05 cm en la dirección “Y”.

Tabla 80:

Desplazamiento máximo D_M con análisis TH en estructura de 4 pisos.

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO D_M CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA Y LAS PROPIEDADES DEL LÍMITE INFERIOR EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS			
Parámetros del límite inferior	Und.	X-X	Y-Y
Desplazamiento total mínimo, 80% DM	cm	34.20	34.05
Desplazamiento dinámico, DM Tiempo Historia	cm	22.98	28.05
Desplazamiento dinámico, DM Modal Espectral	cm	36.05	33.94
Desplazamiento máximo de diseño, $DM_{\text{MÁX}}$	cm	36.05	34.05

- Determinación de fuerzas cortantes de diseño

La Tabla N° 81, presenta el cálculo de la fuerza cortante en el nivel de base del sistema de aislamiento $V_{bx-x}=977.17 \text{ tn.}$ y $V_{by-y}=1019.58 \text{ tn.}$ calculada con $R=1$; mientras que, la fuerza cortante para la superestructura reducida $V_{sx-x}=417.12 \text{ tn.}$ y $V_{sy-y}=435.25 \text{ tn.}$ asociadas a un $R=2$.

Tabla 81:

Fuerzas cortantes del sistema de aislamiento y superestructura en edificación de 4 pisos.

FUERZAS CORTANTES V_b Y V_s CONSIDERANDO LÍMITE SUPERIOR DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS			
Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
Rigidez efectiva, K_{eff}	ton/m	2745.34	2865.09
Amortiguamiento efectivo, β_{eff}	(%)	0.19	0.19
Periodo de base fija, T_f	s	0.296	0.358
Periodo efectiva, T_M	s	2.166	2.176
Periodo rotacional, T_o	s	1.935	1.935
Factor de amortiguamiento efectivo, B_m	-	1.484	1.485
Factor de amplificación sísmica, C	-	0.639	0.634
Ordenada de espectro elástico, S_a	cm/s ²	444.60	440.52
Desplazamiento traslacional, DM	cm	35.59	35.59
Fuerza lateral sistema de aislamiento, V_b	ton	977.17	1019.58
Peso sísmico, P	ton	1789.02	1789.02
Peso sísmico efectivo, P_s	ton	1314.37	1314.37
Fuerza cortante no reducida de superestructura, V_{st}	ton	834.24	870.51
Coeficiente de reducción sísmica, R_o		6.00	6.00
Coeficiente de reducción sísmica, R_a		2.00	2.00
Fuerza lateral de superestructura, V_s	ton	417.12	435.25
Fuerza lateral como porcentaje de peso, %P	(%)	0.23	0.24

- **Determinación de factor escala para diseño**

Como se mencionó anteriormente, la superestructura del sistema de aislamiento prácticamente se comporta como un bloque sólido; por tal motivo, se puede reducir las fuerzas de diseño de los elementos estructurales que lo conforman, considerando así $R=2$. La Tabla N° 82 muestra el factor de escalamiento que afecta a los patrones de carga sísmica de las combinaciones de diseño.

Tabla 82:

Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la superestructura de la edificación de 4 pisos.

FUERZAS DE DISEÑO Y FACTOR DE ESCALAMIENTO PARA LA SUPERESTRUCTURA (R=2)			
Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
Fuerza lateral mínima, V_s	ton	417.12	435.25
Fuerza lateral dinámica, V_s	ton	349.25	346.84
Factor de escalamiento	-	1.194	1.255

Por otro lado, para la subestructura o los elementos estructurales que conforman el sistema de aislamiento, se diseña con $R=1$, considerando un factor de escala como se muestra en la Tabla N° 83.

Tabla 83:

Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la subestructura de la edificación de 4 pisos.

FUERZAS DE DISEÑO Y FACTOR DE ESCALAMIENTO PARA LA SUBESTRUCTURA Y SISTEMA DE AISLAMIENTO (R=1)			
Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
Fuerza lateral mínima, 90% V_b	ton	879.45	917.63
Fuerza lateral dinámica, V_b	ton	711.51	706.68
Factor de escalamiento	-	1.236	1.299

- **Balance energético**

El balance energético de los siete registros sísmicos se presenta en la Tabla N° 84 para el caso 1 y en la Tabla N° 85 para el caso 2, en los cuales se muestra las energías más importantes como energía de entrada impuesta por el sismo, energía disipada por el sistema de aislamiento sísmico mediante los aisladores LRB y la energía disipada por la superestructura de la edificación de 4 pisos. Como se puede observar el sistema de aislamiento elastomérico alcanza disipar en promedio el 98.68% en el caso 1 y el 98.13% en el caso 2, de la energía de entrada impuesta por los sismos.

Tabla 84:

Balance energético de sismos en estructura aislada de 4 pisos - Caso 1

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS CON AISLADORES - CASO 1						
Sismo	Tiempo (seg.)	E. Aisladores (tn-m)	E. Cinética (tn-m)	E. Entrada (tn-m)	E. Estructura (tn-m)	E. Potencial (tn-m)
Chimbote, Perú 1970	45.06	906.97	2.82	923.54	11.65	2.08
Arequipa, Perú 2001	198.88	1456.59	0.00	1470.20	13.28	0.30
Callao, Perú 1966	65.62	695.30	0.40	703.38	7.16	0.51
Lima, Perú 1974	97.96	1160.24	0.29	1176.70	15.80	0.35
Pisco, Perú 2007	218.06	1866.03	0.03	1881.69	15.43	0.17
Talca, Chile 2010	199.99	1184.73	0.06	1202.76	17.86	0.08
Valparaiso, Chile 1985	79.35	1053.74	0.95	1071.68	14.36	2.62

Tabla 85:

Balance energético de sismos en estructura aislada de 4 pisos - Caso 2

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS CON AISLADORES - CASO 2						
Sismo	Tiempo (seg.)	E. Aisladores	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	861.28	0.98	880.48	14.86	3.34
Arequipa, Perú 2001	198.88	1180.29	0.01	1198.71	18.31	0.09
Callao, Perú 1966	65.62	768.06	0.31	778.00	9.35	0.27
Lima, Perú 1974	97.96	1186.25	0.17	1210.89	24.21	0.24
Pisco, Perú 2007	218.06	1322.52	0.01	1340.16	17.48	0.13
Talca, Chile 2010	199.99	1405.28	0.05	1438.20	32.85	0.01
Valparaiso, Chile 1985	79.35	928.49	0.18	952.05	21.74	1.63

La Figura 69 y Figura 70, muestran gráficamente el balance de energía del sismo de Pisco 2007 para el caso 1 y el sismo de Talca en Chile 2010 para el caso 2 respectivamente; los cuales son los sismos que imponen la mayor cantidad de energía a la estructura aislada de 4 pisos.

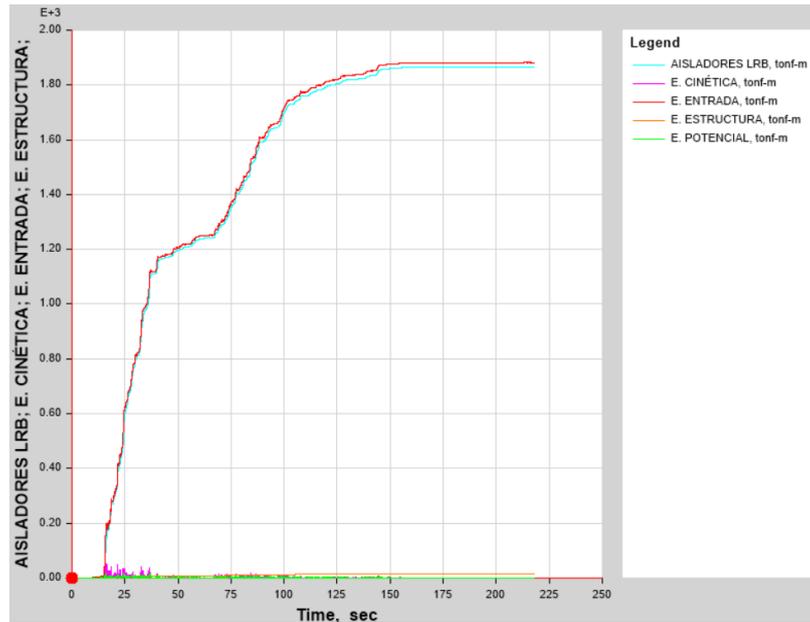


Figura 69: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 1, en estructura aislada de 4 pisos.

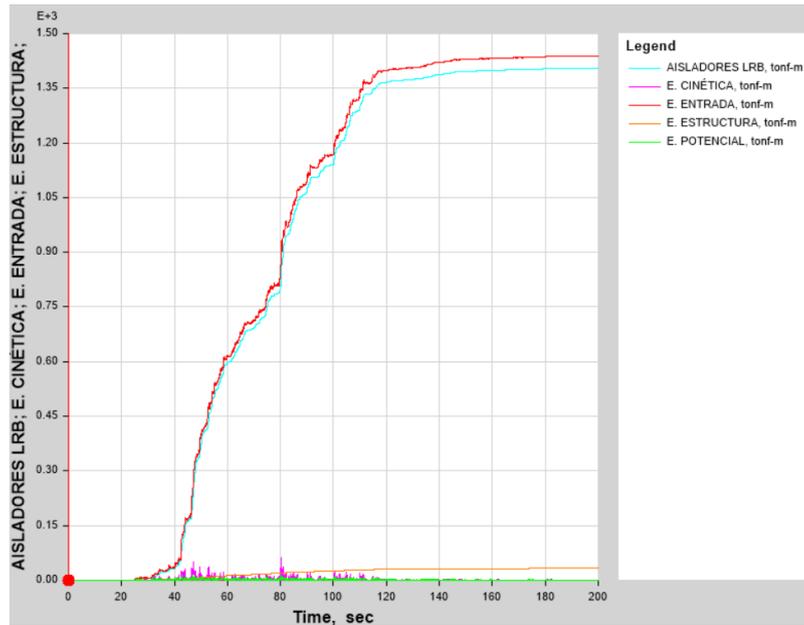


Figura 70: Balance de energía con sismo de Talca Chile 2010 – Caso 2, en estructura aislada de 4 pisos.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

- **Distorsiones de entrepiso finales**

Para el tratamiento de resultados del análisis no lineal tiempo historia, se obtuvieron las distorsiones de entrepiso para “Caso 1” y “Caso 2” como se muestran en la Tabla N° 86 y Tabla N° 87, en los cuales se ingresaron el 90% de la señal sísmica en la dirección del análisis y el 44% de la señal ortogonal en la otra dirección.

Tabla 86:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 8 pisos - CASO 1

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 8 PISOS - CASO 1								
Dirección	Piso	Chimbote, Perú 1970	Arequipa, Perú 2001	Callao, Perú 1966	Lima, Perú 1974	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985
"X-X"	8	1.75 ‰	1.34 ‰	1.15 ‰	1.57 ‰	1.41 ‰	1.49 ‰	1.77 ‰
	7	2.04 ‰	1.57 ‰	1.33 ‰	1.82 ‰	1.64 ‰	1.76 ‰	2.06 ‰
	6	2.26 ‰	1.75 ‰	1.48 ‰	2.00 ‰	1.85 ‰	1.97 ‰	2.28 ‰
	5	2.38 ‰	1.87 ‰	1.61 ‰	2.08 ‰	2.02 ‰	2.09 ‰	2.39 ‰
	4	2.39 ‰	1.90 ‰	1.71 ‰	2.04 ‰	2.12 ‰	2.11 ‰	2.38 ‰
	3	2.24 ‰	1.83 ‰	1.75 ‰	2.05 ‰	2.13 ‰	1.99 ‰	2.22 ‰
	2	1.96 ‰	1.66 ‰	1.69 ‰	1.94 ‰	2.04 ‰	1.80 ‰	1.95 ‰
	1	1.41 ‰	1.24 ‰	1.37 ‰	1.52 ‰	1.65 ‰	1.44 ‰	1.42 ‰

	8	1.78 ‰	1.77 ‰	1.55 ‰	2.12 ‰	1.61 ‰	1.72 ‰	1.61 ‰
	7	1.94 ‰	1.95 ‰	1.69 ‰	2.32 ‰	1.78 ‰	1.89 ‰	1.76 ‰
	6	2.10 ‰	2.13 ‰	1.79 ‰	2.49 ‰	1.94 ‰	2.05 ‰	1.89 ‰
"Y-Y"	5	2.19 ‰	2.24 ‰	1.85 ‰	2.60 ‰	2.04 ‰	2.16 ‰	1.98 ‰
	4	2.18 ‰	2.27 ‰	1.85 ‰	2.59 ‰	2.06 ‰	2.19 ‰	1.98 ‰
	3	2.05 ‰	2.18 ‰	1.81 ‰	2.44 ‰	1.96 ‰	2.09 ‰	1.87 ‰
	2	1.80 ‰	1.95 ‰	1.66 ‰	2.14 ‰	1.75 ‰	1.86 ‰	1.66 ‰
	1	1.36 ‰	1.49 ‰	1.30 ‰	1.64 ‰	1.34 ‰	1.44 ‰	1.27 ‰

Tabla 87:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 8 pisos - CASO 2

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 8 PISOS - CASO 2								
Dirección	Piso	Chimbote, Perú 1970	Arequipa, Perú 2001	Callao, Perú 1966	Lima, Perú 1974	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaíso, Chile 1985
	8	1.52 ‰	0.92 ‰	1.06 ‰	1.05 ‰	1.15 ‰	0.94 ‰	1.02 ‰
	7	1.77 ‰	1.08 ‰	1.24 ‰	1.22 ‰	1.36 ‰	1.11 ‰	1.19 ‰
	6	1.90 ‰	1.19 ‰	1.31 ‰	1.36 ‰	1.53 ‰	1.25 ‰	1.31 ‰
"X-X"	5	1.91 ‰	1.25 ‰	1.32 ‰	1.44 ‰	1.66 ‰	1.35 ‰	1.36 ‰
	4	1.77 ‰	1.28 ‰	1.39 ‰	1.47 ‰	1.71 ‰	1.40 ‰	1.40 ‰
	3	1.54 ‰	1.26 ‰	1.39 ‰	1.44 ‰	1.66 ‰	1.38 ‰	1.36 ‰
	2	1.28 ‰	1.17 ‰	1.32 ‰	1.38 ‰	1.50 ‰	1.30 ‰	1.23 ‰
	1	0.97 ‰	0.91 ‰	1.04 ‰	1.10 ‰	1.11 ‰	1.00 ‰	0.97 ‰
	8	2.94 ‰	2.29 ‰	2.59 ‰	2.99 ‰	2.12 ‰	2.62 ‰	2.46 ‰
	7	3.22 ‰	2.52 ‰	2.79 ‰	3.27 ‰	2.33 ‰	2.87 ‰	2.69 ‰
	6	3.43 ‰	2.75 ‰	2.90 ‰	3.53 ‰	2.53 ‰	3.11 ‰	2.89 ‰
"Y-Y"	5	3.53 ‰	2.92 ‰	2.87 ‰	3.70 ‰	2.69 ‰	3.27 ‰	3.01 ‰
	4	3.47 ‰	2.98 ‰	2.66 ‰	3.71 ‰	2.74 ‰	3.31 ‰	3.01 ‰
	3	3.22 ‰	2.89 ‰	2.55 ‰	3.51 ‰	2.66 ‰	3.18 ‰	2.84 ‰
	2	2.79 ‰	2.61 ‰	2.33 ‰	3.09 ‰	2.41 ‰	2.85 ‰	2.50 ‰
	1	2.19 ‰	2.05 ‰	1.83 ‰	2.35 ‰	1.88 ‰	2.21 ‰	1.89 ‰

- Parámetros de interés del sistema de aislamiento

Siguiendo los lineamientos de la norma E0.31 y lo mencionado en la presente investigación, la Tabla N° 88, presenta las características y parámetros de interés para diseño del sistema de aislamiento elastomérico de la estructura de 8 pisos, dichas

propiedades finales representan los valores promedios de todos los movimientos del terreno o registros sísmicos usados en el análisis tiempo historia.

Tabla 88:

Parámetros de interés del sistema de aislamiento con análisis TH en estructura de 8 pisos.

PARÁMETROS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS				
Propiedad	Dirección	Límite Inferior	Nominal	Límite Superior
Distorsiones de entrepiso promedio	X-X	1.42 ‰	1.66 ‰	2.11 ‰
	Y-Y	1.89 ‰	2.23 ‰	3.17 ‰
Aceleración máx. promedio	X-X	0.355 g	0.392 g	0.478 g
	Y-Y	0.317 g	0.361 g	0.463 g
Desplazamiento máx. promedio D'_M	X-X	26.69 cm	25.27 cm	22.64 cm
	Y-Y	31.41 cm	27.88 cm	24.24 cm
Fuerza hysterética máx. F_M^+	X-X	239.63 Tn	282.72 Tn	373.83 Tn
	Y-Y	263.29 Tn	299.99 Tn	386.32 Tn
Fuerza hysterética máx. F_M^-	X-X	252.33 Tn	297.57 Tn	385.23 Tn
	Y-Y	270.63 Tn	321.83 Tn	405.23 Tn
Rígidez efectiva promedio K_{eff}	X-X	987.57 Tn/m	1253.94 Tn/m	1825.69 Tn/m
	Y-Y	957.01 Tn/m	1256.00 Tn/m	1801.20 Tn/m
Amortiguamiento efectivo promedio β_{eff}	X-X	17.61%	18.31%	19.47%
	Y-Y	17.60%	18.32%	19.47%
Fuerza restauradora en función al Peso	X-X	3.55%	4.18%	9.76%
	Y-Y	3.85%	4.48%	10.18%

- Desplazamiento máximo D'_M del sistema de aislamiento

La determinación de la junta de separación del nivel de base se presenta en la Tabla N° 89, siendo este, el valor mayor calculado con “ D_M ”, “ D'_M ” y la relación según la norma E0.31, donde D_{TM} debe ser mayor o igual a $1.15D'_M$.

Tabla 89:
Desplazamiento total D_{TM} en estructura de 8 pisos.

DESPLAZAMIENTO TOTAL D_{TM} CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA Y LAS PROPIEDADES DEL LÍMITE INFERIOR EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS.			
Parámetros del límite inferior	Und.	X-X	Y-Y
Rigidez efectiva, K_{eff}	ton/m	987.57	957.01
Amortiguamiento efectivo, β_{eff}	(%)	0.1761	0.1760
Periodo de base fija, T_f	s	0.5990	0.7350
Periodo efectiva, T_M	s	3.124	3.152
Periodo rotacional, T_o	s	2.814	2.814
Factor de amortiguamiento efectivo, B_m	-	1.428	1.428
Factor de amplificación sísmica, C	-	0.3074	0.3020
Ordenada de espectro elástico, S_a	cm/s ²	213.73	209.95
Desplazamiento traslacional, D_M	cm	37.00	37.00
Dimensión menor de la proyección en planta, b	m	14.4	14.4
Dimensión mayor de la proyección en planta, d	m	19.6	19.6
Distancia al aislador mas alejado, y	m	9.8	7.2
Excentricidad accidental 5%, e	m	0.98	0.72
Razón entre T_M/T_o , P_t	-	1.11	1.12
Desplazamiento total calculado, D_{TM} con D_M	cm	42.85	40.10
D'_M , Artículo 26 E0.31	cm	36.34	36.03
Desplazamiento total calculado, D_{TM} con D'_M	cm	42.08	39.05
Requerimiento mínimo, $D_{TM} \geq 1.15D_M$	cm	42.55	42.55
Desplazamiento total, D_{TM}	cm	42.85	42.55

Asimismo, la Tabla N° 90 muestra el desplazamiento máximo de diseño del sistema de aislamiento elastomérico, con D_{TM} tanto para análisis no lineal tiempo historia y análisis dinámico modal espectral. Para la estructura de 8 pisos el desplazamiento máximo de diseño $D_{MÁX}$ es 40.62 cm en la dirección “X” y 37.95 cm en la dirección “Y”.

Tabla 90:
Desplazamiento máximo $D_{MÁX}$ con análisis TH en estructura de 8 pisos.

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO D_M CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA Y LAS PROPIEDADES DEL LÍMITE INFERIOR EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS.			
Parámetros del límite inferior	Und.	X-X	Y-Y
Desplazamiento total mínimo, 80% D_{TM}	cm	34.28	34.04
Desplazamiento dinámico, D_{TM} Tiempo Historia	cm	26.69	31.41
Desplazamiento dinámico, D_{TM} Modal Espectral	cm	40.62	37.95
Desplazamiento máximo de diseño, $D_{MÁX}$	cm	40.62	37.95

- Determinación de fuerzas cortantes de diseño

La Tabla N° 91, presenta el cálculo de la fuerza cortante en el nivel de base del sistema de aislamiento $V_{bx-x}=649.80 \text{ tn.}$ y $V_{by-y}=640.98 \text{ tn.}$ calculada con $R=1$; mientras que, la fuerza cortante para la superestructura reducida $V_{sx-x}=297.25 \text{ tn.}$ y $V_{sy-y}=293.20 \text{ tn.}$ asociadas a un $R=2$.

Tabla 91:

Fuerzas cortantes del sistema de aislamiento y superestructura en edificación de 8 pisos.

FUERZAS CORTANTES V_b Y V_s CONSIDERANDO LÍMITE SUPERIOR DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS				
Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y	
Rigidez efectiva, K_{eff}	ton/m	1825.69	1801.20	
Amortiguamiento efectivo, β_{eff}	(%)	0.1947	0.1947	
Periodo de base fija, T_f	s	0.5990	0.7350	
Periodo efectiva, T_M	s	3.124	3.152	
Periodo rotacional, T_o	s	2.814	2.814	
Factor de amortiguamiento efectivo, B_m	-	1.484	1.485	
Factor de amplificación sísmica, C	-	0.3074	0.3020	
Ordenada de espectro elástico, S_a	cm/s ²	213.73	209.95	
Desplazamiento traslacional, DM	cm	35.6	35.6	
Fuerza lateral sistema de aislamiento, V_b	ton	649.83	640.98	
Peso sísmico, P	ton	2625.35	2625.35	
Peso sísmico efectivo, P_s	ton	2207.33	2207.33	
Fuerza cortante no reducida de superestructura, V_{st}	ton	594.50	586.40	
Coeficiente de reducción sísmica, R_o		6	6	
Coeficiente de reducción sísmica, R_a		2	2	
Fuerza lateral de superestructura, V_s	ton	297.25	293.20	
Fuerza lateral como porcentaje de peso, %P	(%)	11.32%	11.17%	

- Determinación de factor escala para diseño

Como se mencionó anteriormente, la superestructura del sistema de aislamiento prácticamente se comporta como un bloque sólido; por tal motivo, se puede reducir las fuerzas de diseño de los elementos estructurales que lo conforman,

considerando así $R=2$. La Tabla N° 92 muestra el factor de escalamiento que afecta a los patrones de carga sísmica de las combinaciones de diseño.

Tabla 92:

Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la superestructura de la edificación de 8 pisos.

FUERZAS DE DISEÑO Y FACTOR DE ESCALAMIENTO PARA LA SUPERESTRUCTURA (R=2)			
Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
Fuerza lateral mínima, V_s	ton	297.25	293.20
Fuerza lateral dinámica, V_s	ton	324.93	273.30
Factor de escalamiento	-	0.915	1.073

Por otro lado, para la subestructura o los elementos estructurales que conforman el sistema de aislamiento, se diseña con $R=1$, considerando un factor de escala como se muestra en la Tabla N° 93.

Tabla 93:

Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la subestructura de la edificación de 8 pisos.

FUERZAS DE DISEÑO Y FACTOR DE ESCALAMIENTO PARA LA SUBESTRUCTURA Y SISTEMA DE AISLAMIENTO (R=1)			
Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
Fuerza lateral mínima, 90% V_b	ton	584.85	576.88
Fuerza lateral dinámica, V_b	ton	660.15	555.59
Factor de escalamiento	-	0.886	1.038

- Balance energético

El balance energético de los siete registros sísmicos se presenta en la Tabla N° 94 para el caso 1 y en la Tabla N° 95 para el caso 2, en los cuales se muestra las energías más importantes como energía de entrada impuesta por el sismo, energía disipada por el sistema de aislamiento sísmico mediante los aisladores LRB y la energía disipada por la superestructura de la edificación de 8 pisos. Como se puede

observar el sistema de aislamiento elastomérico alcanza disipar en promedio el 78.98% en el caso 1 y el 77.87% en el caso 2, de la energía de entrada impuesta por los sismos.

Tabla 94:

Balance energético de sismos en estructura aislada de 8 pisos - Caso 1

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS CON AISLADORES - CASO 1						
Sismo	Tiempo (seg.)	Aisladores LRB	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	846.66	4.55	1085.33	233.74	0.34
Arequipa, Perú 2001	198.88	870.83	0.01	1111.57	240.67	0.04
Callao, Perú 1966	65.62	821.21	0.26	1025.31	203.04	0.78
Lima, Perú 1974	97.96	1014.08	0.76	1309.60	294.35	0.38
Pisco, Perú 2007	218.06	1576.80	0.10	1960.44	383.48	0.04
Talca, Chile 2010	199.99	1302.15	0.00	1659.02	356.78	0.06
Valparaiso, Chile 1985	79.35	1216.80	0.11	1520.23	302.85	0.46

Tabla 95:

Balance energético de sismos en estructura aislada de 8 pisos - Caso 2

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS CON AISLADORES - CASO 2						
Sismo	Tiempo (seg.)	Aisladores LRB	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	1072.98	1.14	1398.20	315.92	8.13
Arequipa, Perú 2001	198.88	820.77	0.03	1053.33	232.50	0.01
Callao, Perú 1966	65.62	796.39	1.06	997.95	200.07	0.41
Lima, Perú 1974	97.96	945.23	0.80	1268.95	322.69	0.19
Pisco, Perú 2007	218.06	1441.77	0.08	1783.58	341.67	0.04
Talca, Chile 2010	199.99	1526.38	0.00	1991.21	464.72	0.07
Valparaiso, Chile 1985	79.35	1046.55	0.13	1330.47	282.30	1.47

La Figura 71 y Figura 72, muestran gráficamente el balance de energía del sismo de Pisco 2007 para el caso 1 y el sismo de Talca en Chile 2010 para el caso 2 respectivamente; los cuales son los sismos que imponen la mayor cantidad de energía a la estructura aislada de 8 pisos.

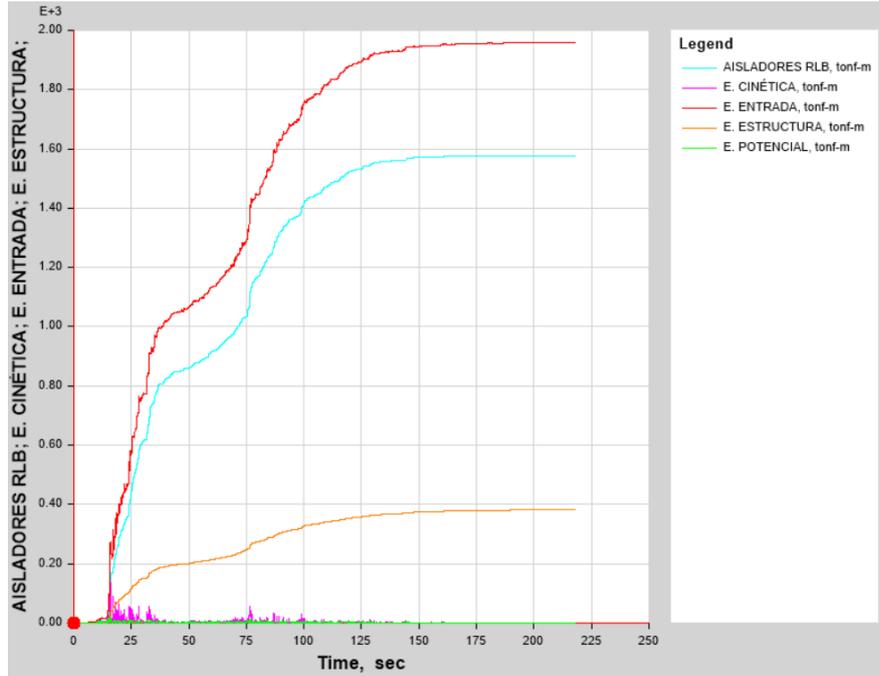


Figura 71: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 1, en estructura aislada de 8 pisos.

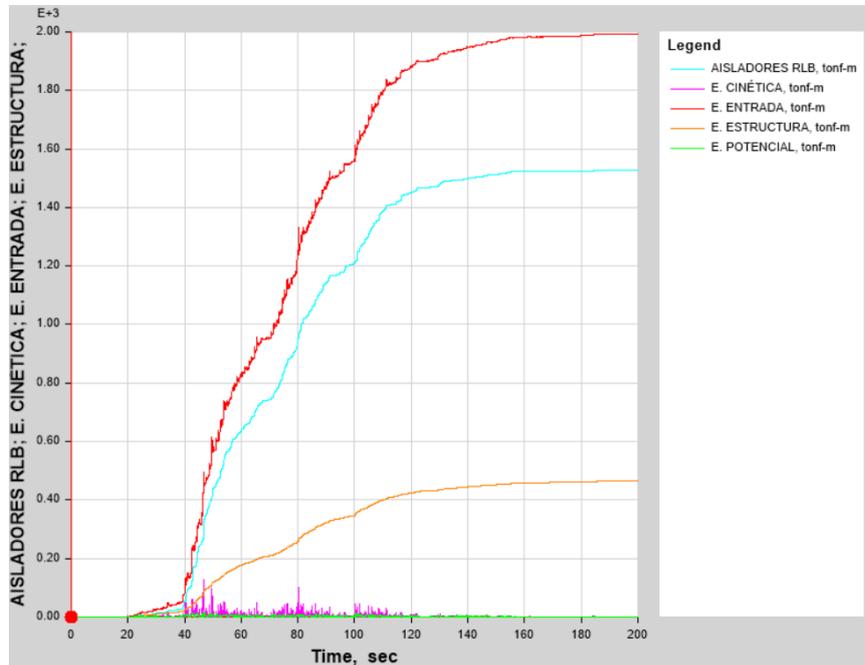


Figura 72: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 2, en estructura aislada de 8 pisos.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

- Distorsiones de entrepiso finales

Para el tratamiento de resultados del análisis no lineal tiempo historia, se obtuvieron las distorsiones de entrepiso para “Caso 1” y “Caso 2” como se muestran en la Tabla N° 96 y Tabla N° 97, en los cuales se ingresaron el 90% de la señal sísmica en la dirección del análisis y el 44% de la señal ortogonal en la otra dirección.

Tabla 96:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 16 pisos con aisladores - CASO I

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 16 PISOS - CASO 1								
Dirección	Piso	Chimbote, Perú 1970	Arequipa, Perú 2001	Callao, Perú 1966	Lima, Perú 1974	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985
"X-X"	16	2.33 ‰	1.84 ‰	2.15 ‰	2.03 ‰	2.01 ‰	2.00 ‰	1.79 ‰
	15	2.58 ‰	2.02 ‰	2.37 ‰	2.26 ‰	2.26 ‰	2.20 ‰	1.98 ‰
	14	2.81 ‰	2.20 ‰	2.56 ‰	2.47 ‰	2.47 ‰	2.40 ‰	2.15 ‰
	13	3.02 ‰	2.37 ‰	2.72 ‰	2.66 ‰	2.65 ‰	2.60 ‰	2.31 ‰
	12	3.19 ‰	2.54 ‰	2.85 ‰	2.79 ‰	2.78 ‰	2.79 ‰	2.44 ‰
	11	3.33 ‰	2.67 ‰	2.94 ‰	2.86 ‰	2.86 ‰	2.94 ‰	2.53 ‰
	10	3.41 ‰	2.78 ‰	3.00 ‰	2.88 ‰	2.87 ‰	3.05 ‰	2.62 ‰
	9	3.43 ‰	2.86 ‰	3.02 ‰	2.84 ‰	2.84 ‰	3.12 ‰	2.67 ‰
	8	3.37 ‰	2.89 ‰	3.01 ‰	2.82 ‰	2.84 ‰	3.13 ‰	2.68 ‰
	7	3.24 ‰	2.87 ‰	2.99 ‰	2.74 ‰	2.79 ‰	3.09 ‰	2.65 ‰
	6	3.06 ‰	2.81 ‰	2.90 ‰	2.64 ‰	2.68 ‰	2.99 ‰	2.57 ‰
	5	2.84 ‰	2.68 ‰	2.74 ‰	2.51 ‰	2.52 ‰	2.82 ‰	2.43 ‰
	4	2.55 ‰	2.51 ‰	2.52 ‰	2.35 ‰	2.41 ‰	2.60 ‰	2.25 ‰
	3	2.24 ‰	2.28 ‰	2.25 ‰	2.14 ‰	2.25 ‰	2.33 ‰	2.02 ‰
	2	1.96 ‰	2.00 ‰	2.02 ‰	1.90 ‰	2.03 ‰	2.02 ‰	1.76 ‰
	1	1.48 ‰	1.51 ‰	1.58 ‰	1.47 ‰	1.55 ‰	1.50 ‰	1.35 ‰
"Y-Y"	16	1.85 ‰	1.98 ‰	1.75 ‰	2.20 ‰	2.17 ‰	2.04 ‰	1.64 ‰
	15	1.99 ‰	2.16 ‰	1.87 ‰	2.38 ‰	2.33 ‰	2.20 ‰	1.78 ‰
	14	2.12 ‰	2.34 ‰	2.03 ‰	2.52 ‰	2.48 ‰	2.40 ‰	1.94 ‰
	13	2.19 ‰	2.52 ‰	2.19 ‰	2.63 ‰	2.60 ‰	2.63 ‰	2.10 ‰
	12	2.31 ‰	2.66 ‰	2.30 ‰	2.72 ‰	2.77 ‰	2.85 ‰	2.24 ‰
	11	2.39 ‰	2.74 ‰	2.37 ‰	2.71 ‰	2.91 ‰	3.03 ‰	2.35 ‰
	10	2.44 ‰	2.77 ‰	2.38 ‰	2.64 ‰	2.99 ‰	3.17 ‰	2.43 ‰
	9	2.52 ‰	2.75 ‰	2.35 ‰	2.58 ‰	3.01 ‰	3.26 ‰	2.46 ‰
	8	2.59 ‰	2.68 ‰	2.31 ‰	2.52 ‰	2.96 ‰	3.28 ‰	2.45 ‰
	7	2.62 ‰	2.66 ‰	2.24 ‰	2.52 ‰	2.83 ‰	3.23 ‰	2.48 ‰
6	2.60 ‰	2.64 ‰	2.27 ‰	2.54 ‰	2.64 ‰	3.11 ‰	2.51 ‰	
5	2.56 ‰	2.58 ‰	2.22 ‰	2.52 ‰	2.48 ‰	2.94 ‰	2.48 ‰	
4	2.45 ‰	2.46 ‰	2.10 ‰	2.40 ‰	2.40 ‰	2.73 ‰	2.39 ‰	

3	2.23 ‰	2.27 ‰	2.01 ‰	2.19 ‰	2.31 ‰	2.44 ‰	2.23 ‰
2	1.95 ‰	1.97 ‰	1.79 ‰	1.86 ‰	2.06 ‰	2.08 ‰	1.96 ‰
1	1.43 ‰	1.47 ‰	1.38 ‰	1.37 ‰	1.55 ‰	1.56 ‰	1.48 ‰

Tabla 97:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura de 16 pisos con aisladores - CASO 2

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA AISLADA DE 16 PISOS - CASO 2								
Dirección	Piso	Chimbote, Perú 1970	Arequipa, Perú 2001	Callao, Perú 1966	Lima, Perú 1974	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaíso, Chile 1985
"X-X"	16	1.66 ‰	1.11 ‰	1.64 ‰	1.45 ‰	1.46 ‰	1.61 ‰	1.41 ‰
	15	1.87 ‰	1.26 ‰	1.83 ‰	1.65 ‰	1.63 ‰	1.76 ‰	1.56 ‰
	14	2.05 ‰	1.39 ‰	1.98 ‰	1.78 ‰	1.78 ‰	1.89 ‰	1.70 ‰
	13	2.22 ‰	1.49 ‰	2.09 ‰	1.86 ‰	1.91 ‰	2.01 ‰	1.83 ‰
	12	2.35 ‰	1.57 ‰	2.15 ‰	1.86 ‰	2.02 ‰	2.08 ‰	1.93 ‰
	11	2.43 ‰	1.64 ‰	2.20 ‰	1.78 ‰	2.09 ‰	2.12 ‰	2.01 ‰
	10	2.44 ‰	1.68 ‰	2.20 ‰	1.78 ‰	2.11 ‰	2.11 ‰	2.06 ‰
	9	2.39 ‰	1.69 ‰	2.13 ‰	1.83 ‰	2.10 ‰	2.06 ‰	2.07 ‰
	8	2.27 ‰	1.67 ‰	2.02 ‰	1.85 ‰	2.04 ‰	2.05 ‰	2.05 ‰
	7	2.15 ‰	1.62 ‰	1.86 ‰	1.84 ‰	1.94 ‰	2.05 ‰	2.00 ‰
	6	2.06 ‰	1.60 ‰	1.79 ‰	1.80 ‰	1.80 ‰	2.02 ‰	1.91 ‰
	5	1.96 ‰	1.55 ‰	1.70 ‰	1.82 ‰	1.65 ‰	1.93 ‰	1.79 ‰
	4	1.80 ‰	1.46 ‰	1.59 ‰	1.76 ‰	1.61 ‰	1.81 ‰	1.64 ‰
	3	1.56 ‰	1.34 ‰	1.46 ‰	1.59 ‰	1.50 ‰	1.65 ‰	1.49 ‰
	2	1.33 ‰	1.19 ‰	1.30 ‰	1.34 ‰	1.35 ‰	1.45 ‰	1.35 ‰
	1	0.96 ‰	0.87 ‰	1.00 ‰	0.95 ‰	1.01 ‰	1.07 ‰	1.04 ‰
"Y-Y"	16	2.81 ‰	3.17 ‰	3.44 ‰	3.11 ‰	3.37 ‰	3.09 ‰	2.58 ‰
	15	3.02 ‰	3.42 ‰	3.69 ‰	3.35 ‰	3.62 ‰	3.33 ‰	2.78 ‰
	14	3.28 ‰	3.71 ‰	3.93 ‰	3.54 ‰	3.89 ‰	3.61 ‰	2.99 ‰
	13	3.58 ‰	4.00 ‰	4.11 ‰	3.64 ‰	4.10 ‰	3.91 ‰	3.19 ‰
	12	3.90 ‰	4.26 ‰	4.19 ‰	3.71 ‰	4.25 ‰	4.18 ‰	3.36 ‰
	11	4.19 ‰	4.48 ‰	4.16 ‰	3.85 ‰	4.32 ‰	4.42 ‰	3.50 ‰
	10	4.43 ‰	4.64 ‰	4.31 ‰	3.96 ‰	4.49 ‰	4.61 ‰	3.61 ‰
	9	4.59 ‰	4.76 ‰	4.39 ‰	4.04 ‰	4.64 ‰	4.73 ‰	3.76 ‰
	8	4.65 ‰	4.80 ‰	4.36 ‰	4.06 ‰	4.71 ‰	4.80 ‰	3.88 ‰
	7	4.59 ‰	4.76 ‰	4.22 ‰	4.21 ‰	4.69 ‰	4.79 ‰	3.94 ‰
	6	4.42 ‰	4.63 ‰	3.98 ‰	4.40 ‰	4.58 ‰	4.70 ‰	3.94 ‰
	5	4.14 ‰	4.40 ‰	3.87 ‰	4.40 ‰	4.38 ‰	4.51 ‰	3.88 ‰
	4	3.75 ‰	4.08 ‰	3.70 ‰	4.18 ‰	4.11 ‰	4.22 ‰	3.75 ‰
	3	3.28 ‰	3.65 ‰	3.38 ‰	3.75 ‰	3.71 ‰	3.81 ‰	3.50 ‰
	2	2.92 ‰	3.08 ‰	2.97 ‰	3.13 ‰	3.17 ‰	3.26 ‰	3.09 ‰
	1	2.25 ‰	2.29 ‰	2.28 ‰	2.32 ‰	2.39 ‰	2.46 ‰	2.37 ‰

- **Parámetros de interés del sistema de aislamiento**

Siguiendo los lineamientos de la norma E0.31 y lo mencionado en la presente investigación, la Tabla N° 98, presenta las características y parámetros de interés para diseño del sistema de aislamiento elastomérico de la estructura de 16 pisos, dichas propiedades finales representan los valores promedios de todos los movimientos del terreno o registros sísmicos usados en el análisis tiempo historia.

Tabla 98:

Parámetros de interés del sistema de aislamiento con análisis TH en estructura de 16 pisos.

PARÁMETROS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS				
Propiedad	Dirección	Límite Inferior	Nominal	Límite Superior
Distorsiones de entrepiso promedio	X-X	1.98 ‰	2.23 ‰	2.98 ‰
	Y-Y	3.16 ‰	3.63 ‰	4.52 ‰
Aceleración máx. promedio	X-X	0.307 g	0.364 g	0.452 g
	Y-Y	0.276 g	0.327 g	0.415 g
Desplazamiento máx. promedio D'_M	X-X	37.51 cm	32.73 cm	27.58 cm
	Y-Y	41.64 cm	34.20 cm	28.01 cm
Fuerza histerética máx. F_M^+	X-X	259.16 Tn	302.85 Tn	383.30 Tn
	Y-Y	287.78 Tn	312.39 Tn	386.30 Tn
Fuerza histerética máx. F_M^-	X-X	277.81 Tn	306.25 Tn	381.23 Tn
	Y-Y	296.31 Tn	320.07 Tn	384.27 Tn
Rígidez efectiva promedio K_{eff}	X-X	776.01 Tn/m	997.92 Tn/m	1507.17 Tn/m
	Y-Y	782.14 Tn/m	1030.07 Tn/m	1499.82 Tn/m
Amortiguamiento efectivo promedio β_{eff}	X-X	17.60%	18.32%	17.60%
	Y-Y	17.60%	18.32%	17.60%
Fuerza restauradora en función al Peso	X-X	2.12%	2.40%	3.02%
	Y-Y	2.31%	2.49%	3.04%

- **Desplazamiento máximo D'_M del sistema de aislamiento**

La determinación de la junta de separación del nivel de base se presenta en la Tabla N° 99, siendo este, el valor mayor calculado con “ D_M ”, “ D'_M ” y la relación según la norma E0.31, donde D_{TM} debe ser mayor o igual a $1.15D'_M$.

Tabla 99:
Desplazamiento total DTM en estructura de 16 pisos.

DESPLAZAMIENTO TOTAL DTM CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA Y LAS PROPIEDADES DEL LÍMITE INFERIOR EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS.			
Parámetros del límite inferior	Und.	X-X	Y-Y
Rigidez efectiva, K_{eff}	ton/m	776.01	782.14
Amortiguamiento efectivo, β_{eff}	(%)	0.1760	0.1760
Periodo de base fija, T_f	s	1.3830	1.8000
Periodo efectiva, T_M	s	4.515	4.646
Periodo rotacional, T_o	s	4.118	4.118
Factor de amortiguamiento efectivo, B_m	-	1.428	1.428
Factor de amplificación sísmica, C	-	0.1472	0.1390
Ordenada de espectro elástico, S_a	cm/s ²	102.32	96.63
Desplazamiento traslacional, DM	cm	37.00	37.00
Dimensión menor de la proyección en planta, b	m	14.4	14.4
Dimensión mayor de la proyección en planta, d	m	19.6	19.6
Distancia al aislador mas alejado, y	m	9.8	7.2
Excentricidad accidental 5%, e	m	0.98	0.72
Razón entre T_M/T_o , P_t	-	1.10	1.13
Desplazamiento total calculado, DTM con DM	cm	43.00	40.06
D'_M , Artículo 26 E0.31	cm	35.38	34.50
Desplazamiento total calculado, DTM con D'_M	cm	41.11	37.35
Requerimiento mínimo, $DTM \geq 1.15D'_M$	cm	42.55	42.55
Desplazamiento total, DTM	cm	43.00	42.55

Asimismo, la Tabla N° 100 muestra el desplazamiento máximo de diseño del sistema de aislamiento elastomérico, con D_{TM} tanto para análisis no lineal tiempo historia y análisis dinámico modal espectral. Para la estructura de 16 pisos el desplazamiento máximo de diseño $D_{MÁX}$ es 38.57cm en la dirección “X” y 41.64 cm en la dirección “Y”.

Tabla 100:

Desplazamiento máximo $D_{MÁX}$ con análisis TH en estructura de 16 pisos.

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO DM CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA Y LAS PROPIEDADES DEL LÍMITE INFERIOR EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS			
Parámetros del límite inferior	Und.	X-X	Y-Y
Desplazamiento total mínimo, 80% D_{TM}	cm	34.40	34.04
Desplazamiento dinámico, D_{TM} Tiempo Historia	cm	37.51	41.64
Desplazamiento dinámico, D_{TM} Modal Espectral	cm	38.57	34.86
Desplazamiento máximo de diseño, $D_{MÁX}$	cm	38.57	41.64

- **Determinación de fuerzas cortantes de diseño**

La Tabla N° 101, presenta el cálculo de la fuerza cortante en el nivel de base del sistema de aislamiento $V_{bx-x}=549.34 \text{ tn.}$ y $V_{by-y}=546.66 \text{ tn.}$ calculada con $R=1$; mientras que, la fuerza cortante para la superestructura reducida $V_{sx-x}=261.55 \text{ tn.}$ y $V_{sy-y}=260.28 \text{ tn.}$ asociadas a un $R=2$.

Tabla 101:

Fuerzas cortantes del sistema de aislamiento y superestructura en edificación de 16 pisos.

FUERZAS CORTANTES V_b Y V_s CONSIDERANDO LÍMITE SUPERIOR DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS			
Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
Rigidez efectiva, K_{eff}	ton/m	1507.17	1499.82
Amortiguamiento efectivo, β_{eff}	(%)	0.1832	0.1832
Periodo de base fija, T_f	s	1.3830	1.8000
Periodo efectiva, T_M	s	4.515	4.646
Periodo rotacional, T_o	s	4.118	4.118
Factor de amortiguamiento efectivo, B_m	-	1.450	1.450
Factor de amplificación sísmica, C	-	0.1472	0.1390
Ordenada de espectro elástico, S_a	cm/s ²	102.32	96.63
Desplazamiento traslacional, DM	cm	36.45	36.45
Fuerza lateral sistema de aislamiento, V_b	ton	549.34	546.66
Peso sísmico, P	ton	4795.02	4795.02
Peso sísmico efectivo, P_s	ton	4381.09	4381.09
Fuerza cortante no reducida de superestructura, V_{st}	ton	523.11	520.56
Coeficiente de reducción sísmica, R_o		8	8
Coeficiente de reducción sísmica, R_a		2	2

Fuerza lateral de superestructura, Vs	ton	261.55	260.28
Fuerza lateral como porcentaje de peso, %P	(%)	5.45%	5.43%

- **Determinación de factor escala para diseño**

Como se mencionó anteriormente, la superestructura del sistema de aislamiento prácticamente se comporta como un bloque sólido; por tal motivo, se puede reducir las fuerzas de diseño de los elementos estructurales que lo conforman, considerando así $R=2$. La Tabla N° 102 muestra el factor de escalamiento que afecta a los patrones de carga sísmica de las combinaciones de diseño.

Tabla 102:

Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la superestructura de la edificación de 16 pisos.

FUERZAS DE DISEÑO Y FACTOR DE ESCALAMIENTO PARA LA SUPERESTRUCTURA (R=2)

Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
Fuerza lateral mínima, Vs	ton	261.55	260.28
Fuerza lateral dinámica, Vs	ton	141.89	135.34
Factor de escalamiento	-	1.843	1.923

Por otro lado, para la subestructura o los elementos estructurales que conforman el sistema de aislamiento, se diseña con $R=1$, considerando un factor de escala como se muestra en la Tabla N° 103.

Tabla 103:

Factor de escalamiento de carga sísmica para el diseño de la subestructura de la edificación de 16 pisos.

FUERZAS DE DISEÑO Y FACTOR DE ESCALAMIENTO PARA LA SUBESTRUCTURA Y SISTEMA DE AISLAMIENTO (R=1)

Parámetros del límite superior	Und.	X-X	Y-Y
---------------------------------------	-------------	------------	------------

Fuerza lateral mínima, 90% Vb	ton	494.40	491.99
Fuerza lateral dinámica, Vb	ton	290.05	276.63
Factor de escalamiento	-	1.705	1.779

- Balance energético

El balance energético de los siete registros sísmicos se presenta en la Tabla N° 104 para el caso 1 y en la Tabla N° 105 para el caso 2, en los cuales se muestra las energías más importantes como energía de entrada impuesta por el sismo, energía disipada por el sistema de aislamiento sísmico mediante los aisladores LRB y la energía disipada por la superestructura de la edificación de 16 pisos. Como se puede observar el sistema de aislamiento elastomérico alcanza disipar en promedio el 90.45% en el caso 1 y el 88.80% en el caso 2, de la energía de entrada impuesta por los sismos.

Tabla 104:

Balance energético de sismos en estructura aislada de 16 pisos - Caso 1

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON AISLADORES - CASO 1						
Sismo	Tiempo (seg.)	Aisladores LRB	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	1172.25	20.07	1333.35	127.48	13.48
Arequipa, Perú 2001	198.88	1134.24	0.47	1226.03	90.60	0.69
Callao, Perú 1966	65.62	1060.37	1.08	1145.36	83.05	0.82
Lima, Perú 1974	97.96	1332.98	0.29	1534.65	199.82	1.49
Pisco, Perú 2007	218.06	2082.69	2.37	2259.43	173.74	0.57
Talca, Chile 2010	199.99	1199.84	0.04	1341.64	140.77	0.95
Valparaíso, Chile 1985	79.35	1312.63	10.44	1431.36	106.55	1.71

Tabla 105:

Balance energético de sismos en estructura aislada de 16 pisos - Caso 2

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON AISLADORES - CASO 2						
---	--	--	--	--	--	--

Sismo	Tiempo (seg.)	Aisladores LRB	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	1011.02	18.23	1168.76	128.22	11.24
Arequipa, Perú 2001	198.88	994.57	0.65	1115.93	120.45	0.22
Callao, Perú 1966	65.62	1019.73	0.97	1116.24	94.88	0.62
Lima, Perú 1974	97.96	1513.39	0.87	1760.77	244.82	1.56
Pisco, Perú 2007	218.06	2455.27	0.95	2673.12	214.03	2.81
Talca, Chile 2010	199.99	1331.73	0.44	1523.16	188.90	2.04
Valparaiso, Chile 1985	79.35	1055.36	6.78	1180.61	117.07	1.39

La Figura 73 y Figura 74, muestran gráficamente el balance de energía del sismo de Pisco 2007 para el caso 1 y para el caso 2; los cuales son los sismos que imponen la mayor cantidad de energía a la estructura aislada de 16 pisos.

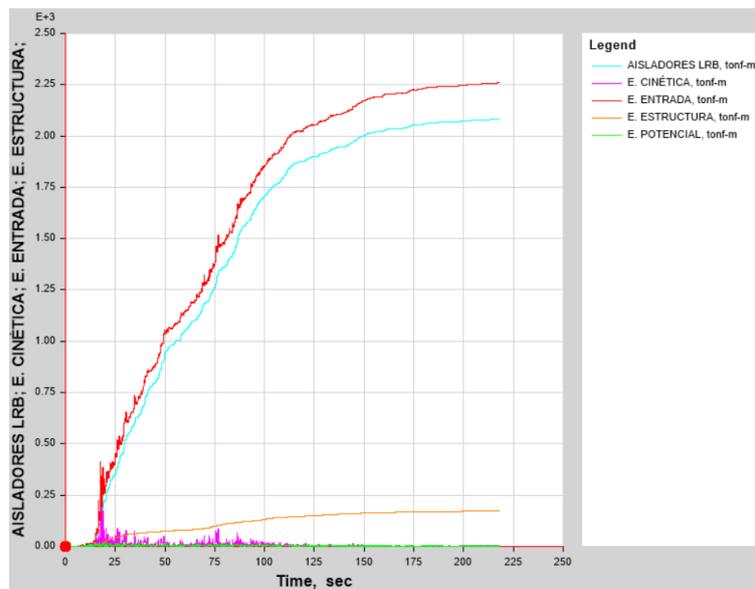


Figura 73: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 1, en estructura aislada de 16 pisos.

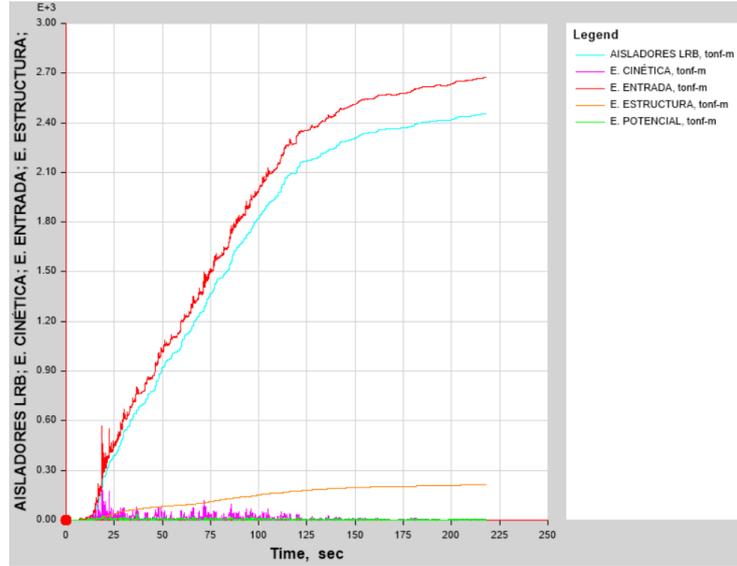


Figura 74: Balance de energía con sismo de Pisco 2007 – Caso 2, en estructura aislada de 16 pisos.

3.8.3.2. Resultados de edificaciones con Disipadores histeréticos SLB

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

- Distorsiones de entrepiso finales

Para el tratamiento de resultados del análisis no lineal tiempo historia, se obtuvieron las distorsiones de entrepiso para “Caso 1” y “Caso 2” en la estructura con disipadores de 4 pisos, como se muestran en la Tabla N° 106 y Tabla N° 107, en los cuales se ingresaron el 90% de la señal sísmica en la dirección del análisis y el 44% de la señal ortogonal en la otra dirección. Como se puede apreciar la distorsión de entrepiso promedio máxima en la dirección “X” es 4.05‰ con el Caso 1 y en la dirección “Y” es 3.69‰ con el Caso 2.

Tabla 106:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 4 pisos - CASO 1

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE 4 PISOS - CASO 1									
Dirección	Piso	Callao, Perú 1966	Chimbote, Perú 1970	Lima, Perú 1974	Arequipa, Perú 2001	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985	Driff promedio

	4	4.17 ‰	3.85 ‰	3.47 ‰	3.16 ‰	3.68 ‰	2.92 ‰	2.90 ‰	3.45 ‰
	3	4.81 ‰	4.37 ‰	4.00 ‰	3.63 ‰	4.28 ‰	3.39 ‰	3.26 ‰	3.96 ‰
"X-X"	2	4.92 ‰	4.38 ‰	4.12 ‰	3.76 ‰	4.37 ‰	3.55 ‰	3.24 ‰	4.05 ‰
	1	3.68 ‰	3.19 ‰	3.12 ‰	2.91 ‰	3.54 ‰	2.73 ‰	2.49 ‰	3.09 ‰
	4	1.66 ‰	2.03 ‰	2.32 ‰	1.74 ‰	1.63 ‰	1.53 ‰	1.67 ‰	1.80 ‰
"Y-Y"	3	1.85 ‰	2.25 ‰	2.37 ‰	1.82 ‰	1.86 ‰	1.68 ‰	1.82 ‰	1.95 ‰
	2	1.93 ‰	2.15 ‰	2.33 ‰	1.84 ‰	1.90 ‰	1.59 ‰	1.70 ‰	1.92 ‰
	1	1.50 ‰	1.56 ‰	1.83 ‰	1.36 ‰	1.41 ‰	1.23 ‰	1.26 ‰	1.45 ‰

Tabla 107:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 4 pisos - CASO 2

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE 4 PISOS - CASO 1									
Dirección	Piso	Callao, Perú 1966	Chimbote, Perú 1970	Lima, Perú 1974	Arequipa, Perú 2001	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985	Drift promedio
	4	1.67 ‰	1.67 ‰	1.93 ‰	1.83 ‰	1.60 ‰	1.22 ‰	1.46 ‰	1.63 ‰
	3	1.94 ‰	1.96 ‰	2.19 ‰	2.07 ‰	1.85 ‰	1.42 ‰	1.73 ‰	1.88 ‰
"X-X"	2	2.01 ‰	2.08 ‰	2.31 ‰	2.06 ‰	1.93 ‰	1.49 ‰	1.83 ‰	1.96 ‰
	1	1.49 ‰	1.59 ‰	1.82 ‰	1.59 ‰	1.55 ‰	1.12 ‰	1.45 ‰	1.52 ‰
	4	3.89 ‰	3.40 ‰	4.09 ‰	3.33 ‰	3.42 ‰	2.68 ‰	2.53 ‰	3.33 ‰
"Y-Y"	3	4.27 ‰	3.78 ‰	4.60 ‰	3.68 ‰	3.77 ‰	2.91 ‰	2.79 ‰	3.69 ‰
	2	4.14 ‰	3.71 ‰	4.61 ‰	3.58 ‰	3.68 ‰	2.76 ‰	2.69 ‰	3.60 ‰
	1	2.88 ‰	2.58 ‰	3.28 ‰	2.55 ‰	2.56 ‰	1.94 ‰	1.81 ‰	2.51 ‰

- Respuesta fuerza - desplazamiento

El dispositivo SLB más solicitado en la dirección "X" por los registros sísmicos; en la edificación de 4 pisos, está ubicado en el vano central del eje 6 y cuarto piso de la estructura como se muestra en la Figura 75.

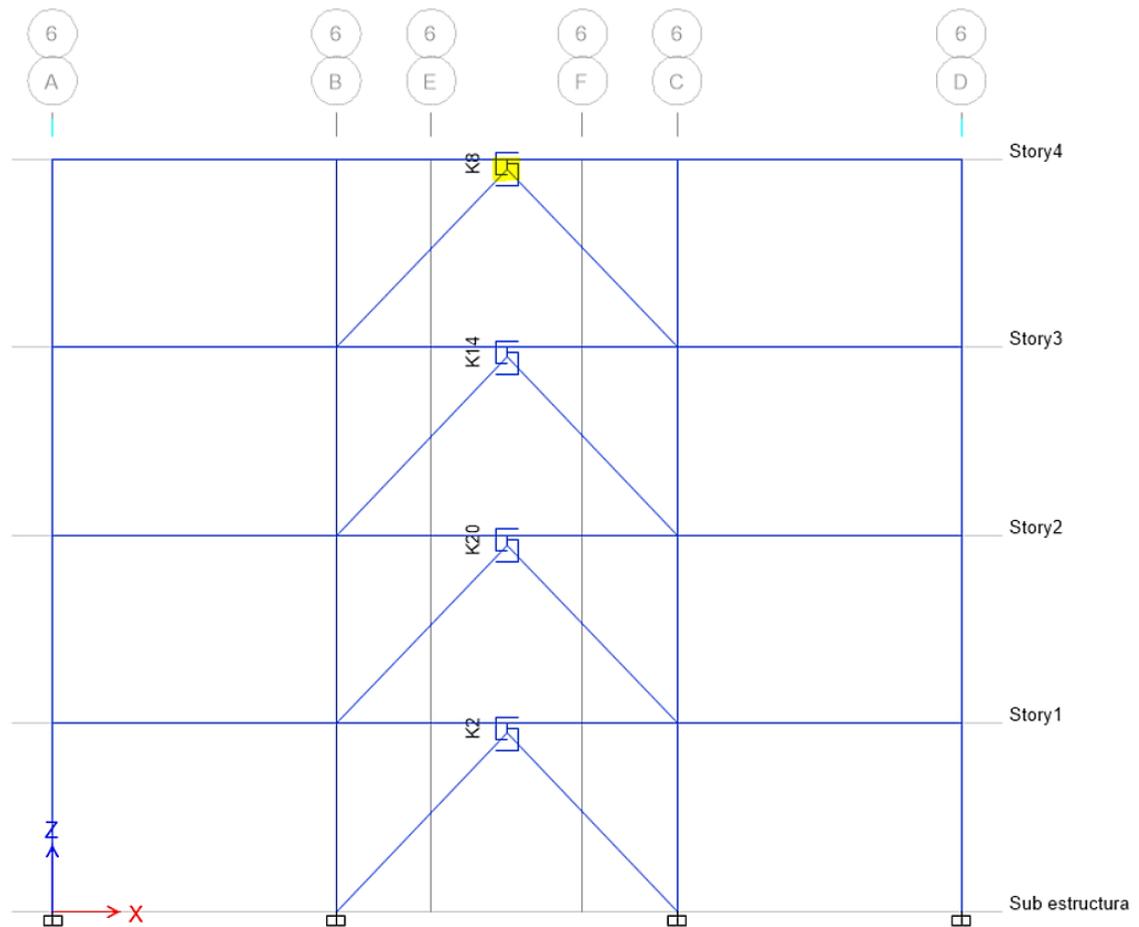


Figura 75: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección "X" en estructura de 4 pisos.

Como se mencionó en las bases teóricas de la presente investigación, la curva histerética que representa el comportamiento de los dispositivos SLB, tienen la propiedad de disipar energía por formar lazos elípticos como se muestra en la Figura 76; en la cual se presenta la curva de histéresis del dispositivo K8 – SLB2 10_4 para el registro sísmico de Callao_1966_Caso 1; por ser este sismo, el que más deformación genera con el análisis tiempo historia no lineal, alcanzando una deformación máxima de 7.25 mm y una fuerza cortante máxima de 10.99 tn.

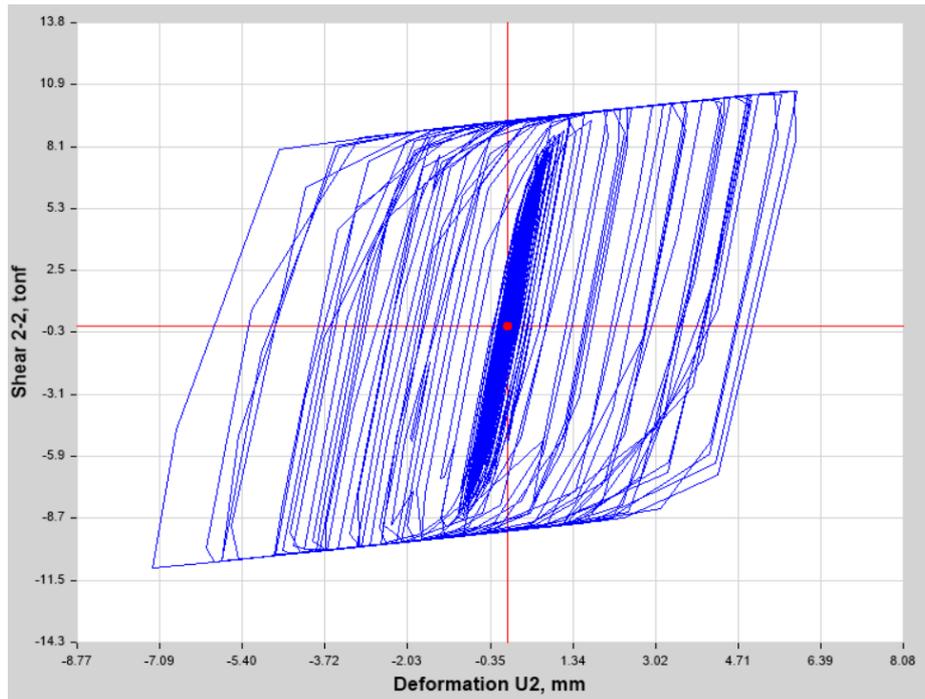


Figura 76: Curva de histéresis para el sismo de Callao_1966_C1 en la dirección “X” en estructura de 4 pisos.

De igual manera el dispositivo más solicitado en la dirección “Y” por los registros sísmicos, está ubicado en el vano exterior del eje D y primer nivel de la estructura de 4 pisos, como se muestra en la Figura 77.

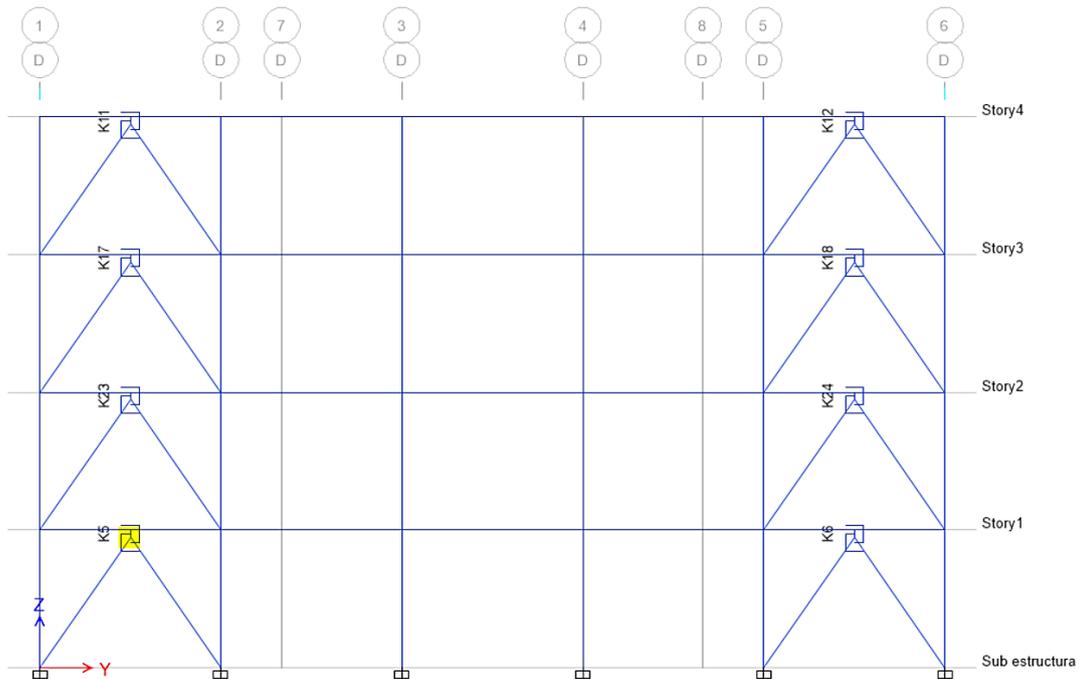


Figura 77: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección “Y” en estructura de 4 pisos.

Figura 78 muestra la curva de histéresis del dispositivo K5 – SLB2 20_4 para el registro sísmico de Lima_1974 Caso 2; por ser este sísmo, el que más deformación genera en la dirección “Y” con el análisis tiempo historia no lineal, alcanzando una deformación máxima de 5.03 mm y una fuerza cortante máxima de 21.59 tn.

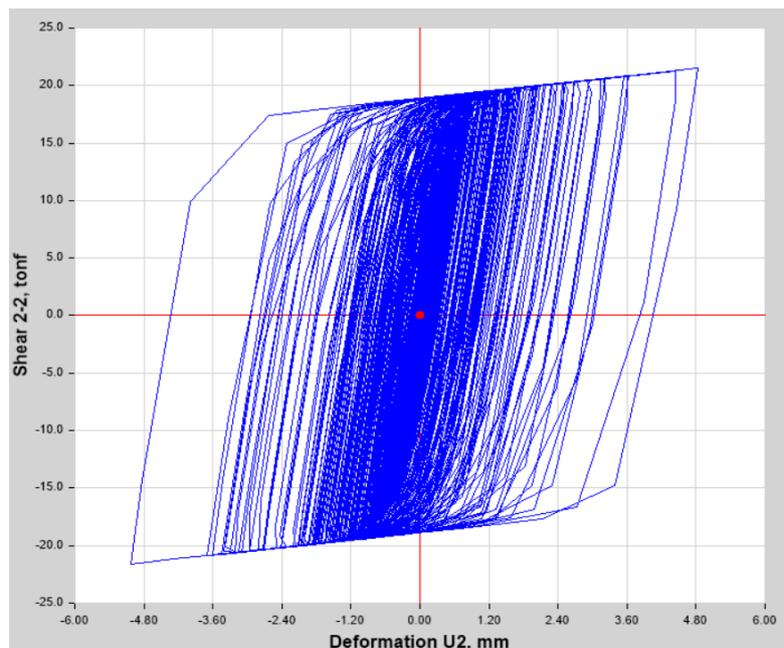


Figura 78: Curva de histéresis para el sismo de Lima_1974_C2 en la dirección “Y” en estructura de 4 pisos.

- Balance de energía

El balance energético de los siete registros sísmicos se presenta en la Tabla N° 108 para el caso 1 y en la Tabla N° 109 para el caso 2, en los cuales se muestra las energías más importantes como energía de entrada impuesta por el sismo, energía disipada por el sistema de disipación de energía histerética mediante los disipadores SLB y la energía disipada por la superestructura de la edificación de 4 pisos. Como se puede observar el sistema de disipación de energía histerética alcanza disipar en promedio el 81.00% en el caso 1 y el 78.45% en el caso 2, de la energía de entrada impuesta por los sismos.

Tabla 108:

Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 4 pisos - Caso 1

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS CON DISIPADORES- CASO 1						
Sismo	Tiempo (seg.)	Disipadores histeréticos	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	251.08	0.01	308.73	57.62	0.00
Arequipa, Perú 2001	198.88	280.09	0.00	353.03	72.93	0.00
Callao, Perú 1966	65.62	194.39	0.03	236.33	41.89	0.02
Lima, Perú 1974	97.96	433.36	0.00	542.92	109.52	0.02
Pisco, Perú 2007	218.06	363.37	0.00	452.47	89.09	0.00
Talca, Chile 2010	199.99	223.40	0.00	269.71	46.30	0.00
Valparaiso, Chile 1985	79.35	247.11	0.02	304.59	57.41	0.04

Tabla 109:

Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 4 pisos - Caso 2

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 4 PISOS CON DISIPADORES- CASO 2						
Sismo	Tiempo (seg.)	Disipadores histeréticos	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	190.40	0.02	244.07	53.63	0.01
Arequipa, Perú 2001	198.88	390.33	0.00	517.74	127.40	0.00
Callao, Perú 1966	65.62	122.72	0.01	154.93	32.19	0.00
Lima, Perú 1974	97.96	478.92	0.00	623.95	145.00	0.00
Pisco, Perú 2007	218.06	196.24	0.00	246.43	50.19	0.00
Talca, Chile 2010	199.99	193.57	0.00	238.53	44.95	0.00
Valparaiso, Chile 1985	79.35	194.27	0.01	245.89	51.55	0.06

La Figura 79 y Figura 80, muestran gráficamente el balance de energía del sismo de Lima 1974 para el caso 1 y para el caso 2; los cuales son los sismos que imponen la mayor cantidad de energía a la estructura con disipadores de 4 pisos.

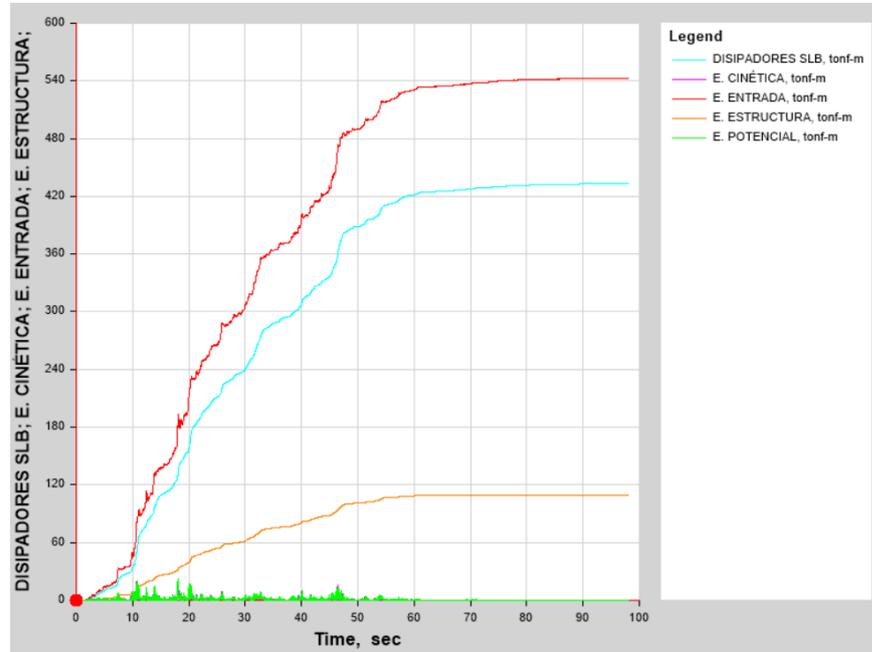


Figura 79: Balance de energía con sismo de Lima 1974 – Caso 1, en estructura con disipadores de 4 pisos.

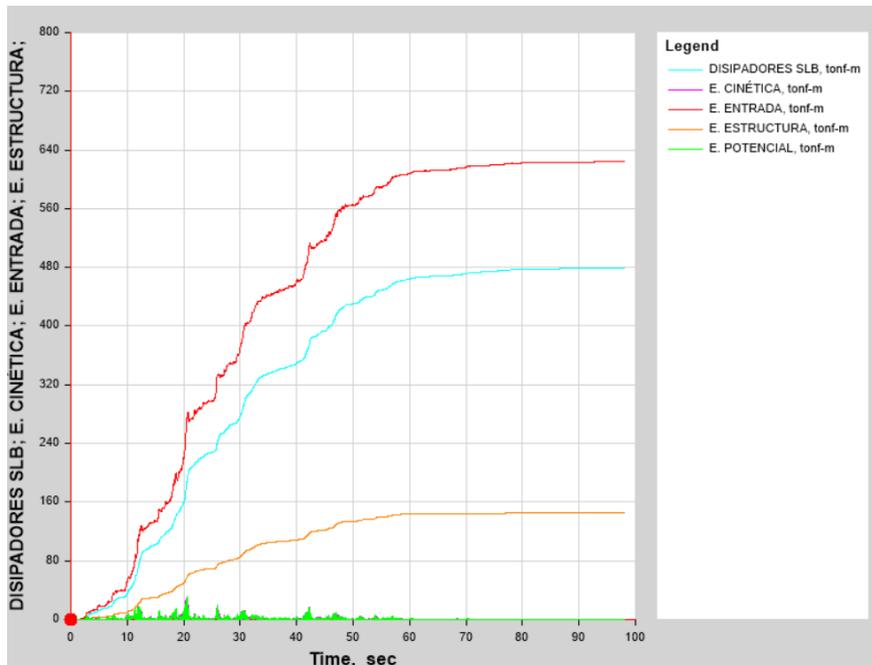


Figura 80: Balance de energía con sismo de Lima 1974 – Caso 2, en estructura con disipadores de 4 pisos.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

- Distorsiones de entrepiso finales

Se obtuvieron las distorsiones de entrepiso para “Caso 1” y “Caso 2” en la estructura con disipadores de 8 pisos, como se muestran en la Tabla N° 110 y Tabla N° 111, en los cuales se ingresaron el 90% de la señal sísmica en la dirección del análisis y el 44% de la señal ortogonal en la otra dirección. Como se puede apreciar la distorsion de entrepiso promedio máxima en la dirección “X” es 6.59% con el Caso 1 y en la dirección “Y” es 6.93% con el Caso 2.

Tabla 110:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 8 pisos - CASO 1

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE 4 PISOS - CASO 1									
Dirección	Piso	Callao, Perú 1966	Chimbote, Perú 1970	Lima, Perú 1974	Arequipa, Perú 2001	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985	Driff promedio
"X-X"	8	0.92 ‰	1.02 ‰	0.97 ‰	1.11 ‰	1.07 ‰	0.84 ‰	1.01 ‰	0.99 ‰
	7	5.32 ‰	5.90 ‰	5.62 ‰	6.36 ‰	6.11 ‰	4.85 ‰	5.74 ‰	5.70 ‰
	6	5.90 ‰	6.45 ‰	5.94 ‰	6.93 ‰	6.66 ‰	5.36 ‰	6.08 ‰	6.19 ‰
	5	6.42 ‰	6.82 ‰	6.47 ‰	7.40 ‰	7.11 ‰	5.80 ‰	6.11 ‰	6.59 ‰
	4	6.58 ‰	6.74 ‰	6.67 ‰	7.43 ‰	7.15 ‰	5.92 ‰	5.54 ‰	6.58 ‰
	3	6.39 ‰	6.28 ‰	6.52 ‰	7.20 ‰	6.80 ‰	5.72 ‰	5.34 ‰	6.32 ‰
	2	5.68 ‰	5.41 ‰	5.86 ‰	6.37 ‰	5.99 ‰	5.04 ‰	4.79 ‰	5.59 ‰
	1	3.67 ‰	3.41 ‰	3.85 ‰	4.00 ‰	3.81 ‰	3.27 ‰	3.18 ‰	3.60 ‰
"Y-Y"	8	0.66 ‰	0.59 ‰	0.83 ‰	0.54 ‰	0.78 ‰	0.49 ‰	0.52 ‰	0.63 ‰
	7	3.66 ‰	3.29 ‰	4.58 ‰	3.11 ‰	4.35 ‰	2.69 ‰	2.89 ‰	3.51 ‰
	6	3.94 ‰	3.47 ‰	4.88 ‰	3.42 ‰	4.60 ‰	2.89 ‰	3.08 ‰	3.75 ‰
	5	4.16 ‰	3.78 ‰	5.08 ‰	3.69 ‰	4.78 ‰	3.01 ‰	3.24 ‰	3.96 ‰
	4	4.23 ‰	3.88 ‰	5.02 ‰	3.76 ‰	4.81 ‰	3.04 ‰	3.27 ‰	4.00 ‰
	3	4.05 ‰	3.74 ‰	4.66 ‰	3.62 ‰	4.53 ‰	2.86 ‰	3.13 ‰	3.80 ‰
	2	3.49 ‰	3.30 ‰	3.92 ‰	3.30 ‰	3.92 ‰	2.34 ‰	2.76 ‰	3.29 ‰
	1	2.09 ‰	2.17 ‰	2.36 ‰	2.20 ‰	2.44 ‰	1.36 ‰	1.80 ‰	2.06 ‰

Tabla 111:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 8 pisos - CASO 2

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE 8 PISOS - CASO 2									
Dirección	Piso	Callao, Perú 1966	Chimbote, Perú 1970	Lima, Perú 1974	Arequipa, Perú 2001	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985	Drift promedio
"X-X"	8	0.60 ‰	0.48 ‰	0.63 ‰	0.57 ‰	0.64 ‰	0.33 ‰	0.46 ‰	0.53 ‰
	7	3.46 ‰	2.77 ‰	3.62 ‰	3.27 ‰	3.66 ‰	1.94 ‰	2.65 ‰	3.05 ‰
	6	3.75 ‰	3.09 ‰	3.94 ‰	3.60 ‰	4.01 ‰	2.04 ‰	2.86 ‰	3.33 ‰
	5	3.96 ‰	3.42 ‰	4.22 ‰	3.89 ‰	4.23 ‰	2.04 ‰	2.99 ‰	3.54 ‰
	4	3.95 ‰	3.58 ‰	4.18 ‰	3.98 ‰	4.20 ‰	2.18 ‰	2.92 ‰	3.57 ‰
	3	3.75 ‰	3.56 ‰	4.05 ‰	3.87 ‰	3.99 ‰	2.17 ‰	2.60 ‰	3.43 ‰
	2	3.28 ‰	3.27 ‰	3.63 ‰	3.44 ‰	3.47 ‰	1.93 ‰	2.25 ‰	3.04 ‰
	1	2.10 ‰	2.19 ‰	2.39 ‰	2.20 ‰	2.19 ‰	1.27 ‰	1.41 ‰	1.96 ‰
"Y-Y"	8	1.35 ‰	1.28 ‰	1.16 ‰	1.01 ‰	1.12 ‰	1.07 ‰	1.05 ‰	1.15 ‰
	7	7.39 ‰	6.37 ‰	6.43 ‰	5.61 ‰	6.18 ‰	5.84 ‰	5.63 ‰	6.21 ‰
	6	7.83 ‰	6.72 ‰	7.00 ‰	6.22 ‰	6.69 ‰	6.20 ‰	5.88 ‰	6.65 ‰
	5	7.55 ‰	7.07 ‰	7.49 ‰	6.81 ‰	7.10 ‰	6.35 ‰	5.94 ‰	6.90 ‰
	4	7.45 ‰	6.96 ‰	7.73 ‰	7.14 ‰	7.18 ‰	6.34 ‰	5.74 ‰	6.93 ‰
	3	7.14 ‰	6.88 ‰	7.44 ‰	6.95 ‰	6.75 ‰	5.90 ‰	5.19 ‰	6.61 ‰
	2	6.07 ‰	6.04 ‰	6.36 ‰	5.99 ‰	5.60 ‰	4.87 ‰	4.20 ‰	5.59 ‰
	1	3.44 ‰	3.58 ‰	3.66 ‰	3.48 ‰	3.24 ‰	2.69 ‰	2.28 ‰	3.20 ‰

- **Respuesta fuerza – desplazamiento**

El dispositivo SLB más solicitado en la dirección “X” por los registros sísmicos; en la edificación de 8 pisos, está ubicado en el vano exterior del eje 6 y segundo piso de la estructura como se muestra en la Figura 81.

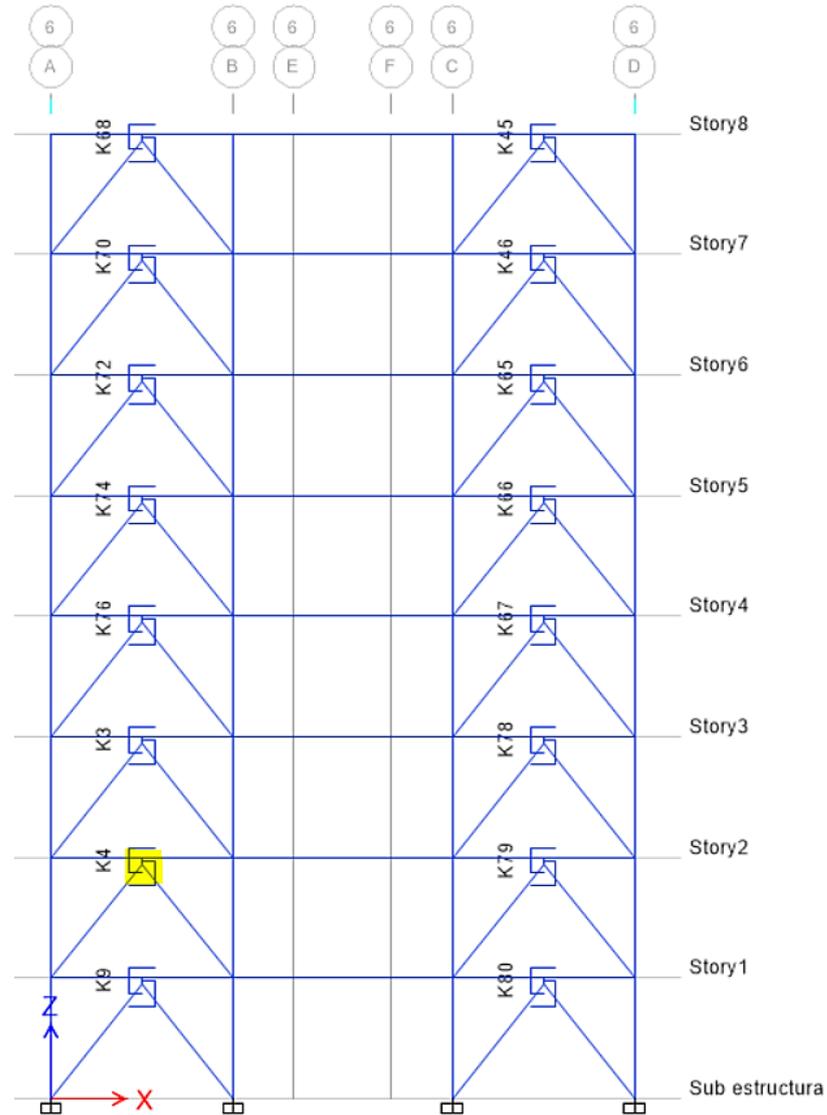


Figura 81: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección “X” en estructura de 8 pisos.

Como se mencionó en las bases teóricas de la presente investigación, la curva histerética que representa el comportamiento de los dispositivos SLB, tienen la propiedad de disipar energía por formar lazos elípticos como se muestra en la Figura 82; en la cual se presenta la curva de histéresis del dispositivo K4 – SLB3 25_6 para el registro sísmico de Pisco_2007_Caso 1; por ser este sismo, el que más deformación genera con el análisis tiempo historia no lineal, alcanzando una deformación máxima de 5.45 mm y una fuerza cortante máxima de 41.35 tn.

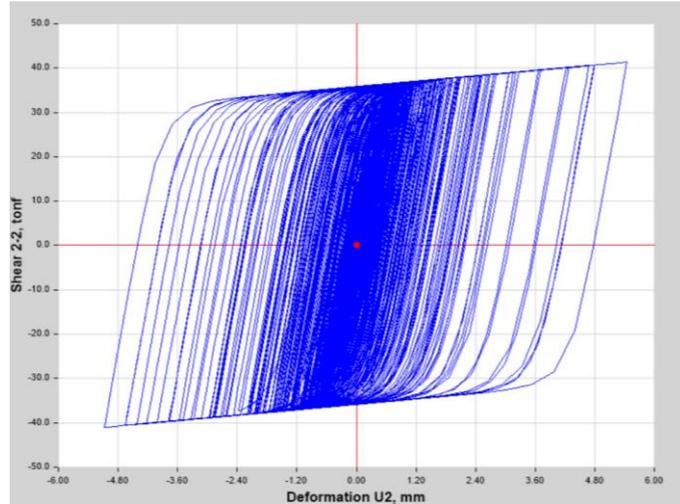


Figura 82: Curva de histéresis para el sismo de Pisco_2007_C1 en la dirección "X" en estructura de 8 pisos.

Del mismo modo, el dispositivo más solicitado en la dirección "Y" por los registros sísmicos es K62 y está ubicado en el vano exterior del eje C y primer nivel de la estructura de 8 pisos, como se muestra en la Figura 83.

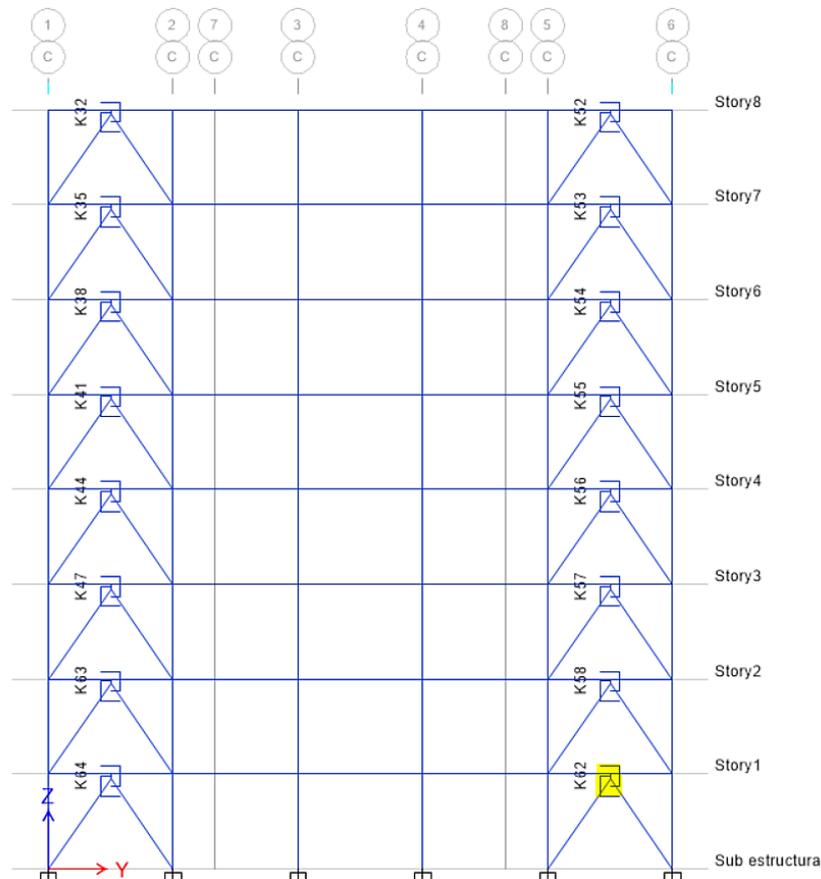


Figura 83: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección "Y" en estructura de 8 pisos.

Figura 84 muestra la curva de histéresis del dispositivo K5 – SLB2 20_4 para el registro sísmico de Lima_1974 Caso 2; por ser este sismo, el que más deformación genera en la dirección “Y” con el análisis tiempo historia no lineal, alcanzando una deformación máxima de 5.03 mm y una fuerza cortante máxima de 21.59 tn.

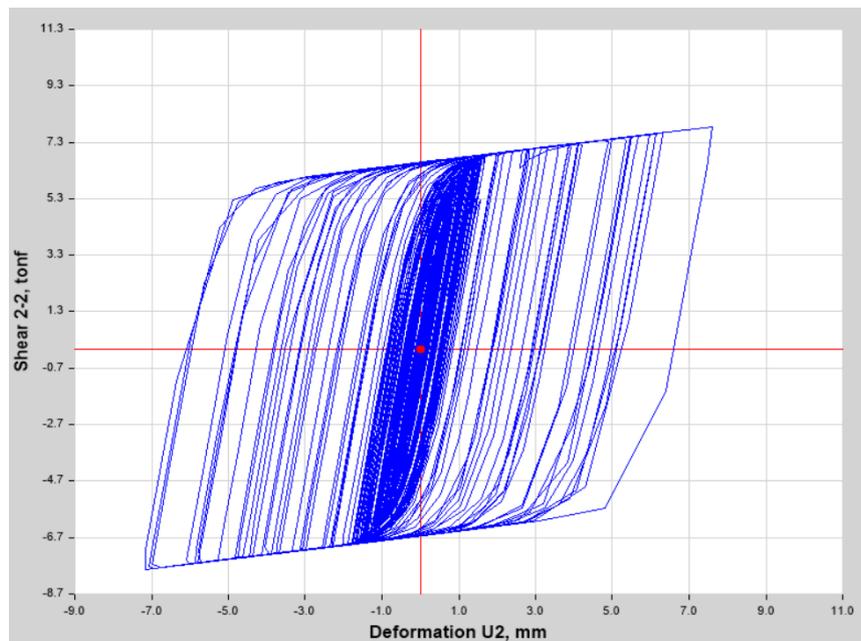


Figura 84: Curva de histéresis para el sismo de Lima_1974_C2 en la dirección “Y” en estructura de 8 pisos.

- Balance de energía

El balance energético de los siete registros sísmicos se presenta en la Tabla N° 112 para el caso 1 y en la Tabla N° 113 para el caso 2, en los cuales se muestra las energías más importantes como energía de entrada impuesta por el sismo, energía disipada por el sistema de disipación de energía histerética mediante los disipadores SLB y la energía disipada por la superestructura de la edificación de 8 pisos. Como se puede observar el sistema de disipación de energía histerética alcanza disipar en promedio el 80.80% en el caso 1 y el 79.84% en el caso 2, de la energía de entrada impuesta por los sismos.

Tabla 112:

Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 8 pisos - Caso 1

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS CON DISIPADORES - CASO 1						
Sismo	Tiempo (seg.)	Disipadores Histeréticos	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	615.34	0.04	757.91	142.45	0.06
Arequipa, Perú 2001	198.88	1399.70	0.00	1754.87	355.11	0.00
Callao, Perú 1966	65.62	267.31	0.01	332.60	65.27	0.00
Lima, Perú 1974	97.96	827.11	0.03	1023.03	195.86	0.01
Pisco, Perú 2007	218.06	1682.09	0.00	2098.33	416.16	0.01
Talca, Chile 2010	199.99	550.89	0.00	672.99	122.07	0.00
Valparaiso, Chile 1985	79.35	562.08	0.01	690.29	128.18	0.00

Tabla 113:

Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 8 pisos - Caso 2

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 8 PISOS CON DISIPADORES - CASO 2						
Sismo	Tiempo (seg.)	Disipadores Histeréticos	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	537.87	0.04	674.58	136.43	0.21
Arequipa, Perú 2001	198.88	1269.95	0.00	1606.09	336.09	0.00
Callao, Perú 1966	65.62	363.01	0.00	449.41	86.39	0.01
Lima, Perú 1974	97.96	1193.72	0.01	1478.85	285.06	0.02
Pisco, Perú 2007	218.06	1192.49	0.00	1493.99	301.46	0.00
Talca, Chile 2010	199.99	922.41	0.00	1173.53	251.09	0.00
Valparaiso, Chile 1985	79.35	578.49	0.02	721.86	143.31	0.02

La Figura 85 y Figura 86, muestran gráficamente el balance de energía del sismo de Pisco_2007 para el caso 1 y para el caso 2; los cuales son los sismos que imponen la mayor cantidad de energía a la estructura con disipadores de 8 pisos.

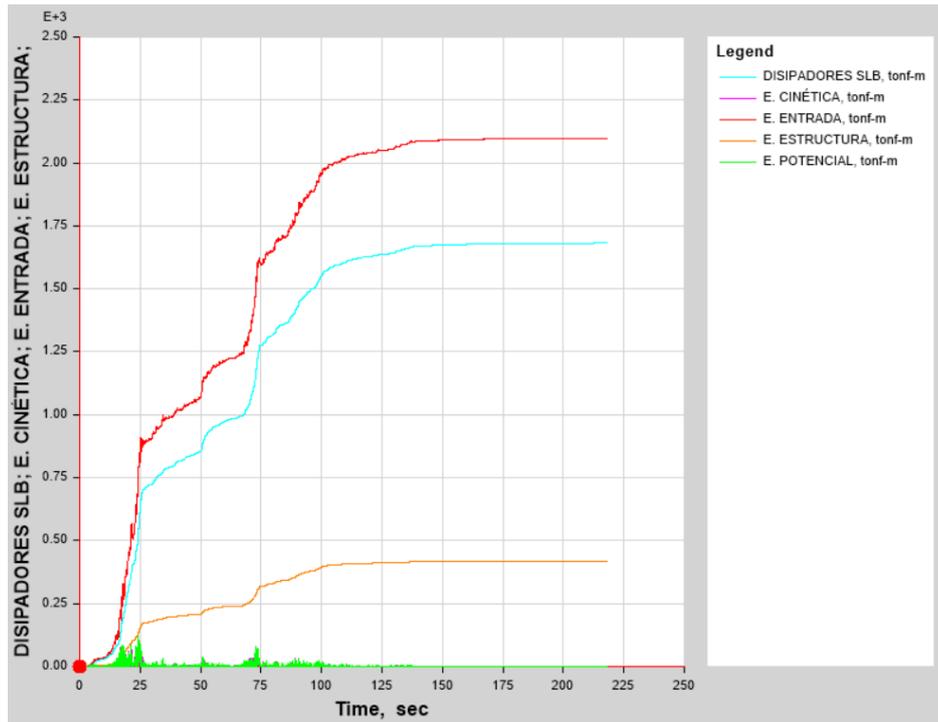


Figura 85: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_ Caso 1, en estructura con disipadores de 8 pisos.

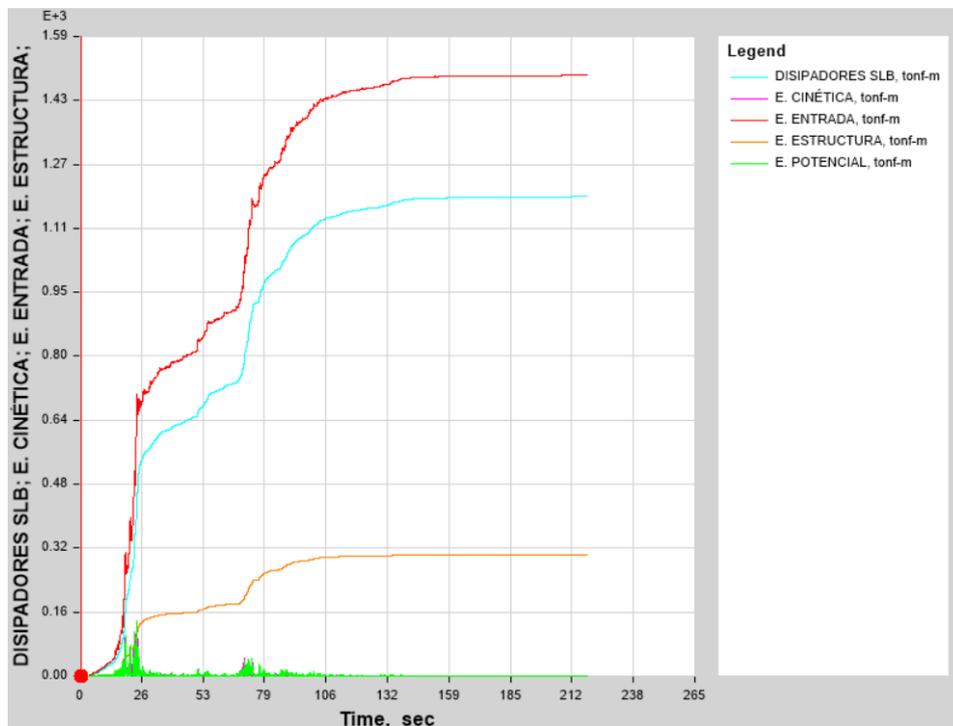


Figura 86: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_ Caso 2, en estructura con disipadores de 8 pisos.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

- Distorsiones de entrepiso finales

Se obtuvieron las distorsiones de entrepiso para “Caso 1” y “Caso 2” en la estructura con disipadores de 16 pisos; como se muestran en la Tabla N° 114 y Tabla N° 115, la distorsion de entrepiso promedio máxima en la dirección “X” es 6.60‰ con el Caso 1 y en la dirección “Y” es 5.59‰ con el Caso 2.

Tabla 114:

Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 16 pisos - CASO 1

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE 16 PISOS - CASO 1									
Dirección	Piso	Callao, Perú 1966	Chimbote, Perú 1970	Lima, Perú 1974	Arequipa, Perú 2001	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985	Driff promedio
"X-X"	16	6.53	6.48	6.63	6.92	6.64	4.92	4.76	6.13
	15	6.78	6.81	6.95	7.28	6.83	5.12	4.91	6.38
	14	6.39	6.94	7.07	7.09	6.90	5.21	4.87	6.35
	13	6.46	7.26	7.33	7.11	7.06	5.41	4.94	6.51
	12	6.64	7.50	7.28	7.22	7.01	5.55	5.01	6.60
	11	6.72	7.65	7.39	6.98	6.81	5.61	5.08	6.60
	10	6.67	7.67	7.42	6.61	6.54	5.57	5.09	6.51
	9	6.53	7.59	7.37	6.49	6.33	5.48	5.07	6.41
	8	6.02	7.45	7.28	6.26	6.24	5.34	5.05	6.23
	7	5.63	6.91	6.87	5.76	6.04	5.02	4.86	5.87
	6	5.24	6.45	6.46	5.50	5.89	4.72	4.70	5.57
	5	4.92	6.06	6.06	5.19	5.79	4.40	4.46	5.27
	4	4.62	5.61	5.48	4.82	5.63	4.07	4.18	4.91
	3	5.24	6.23	6.15	5.33	6.69	4.58	4.78	5.57
	2	4.77	5.76	5.52	4.76	6.33	4.18	4.40	5.10
	1	4.13	5.15	4.79	4.11	5.56	3.66	3.84	4.46
"Y-Y"	16	2.60	2.72	2.70	2.70	2.89	2.08	2.46	2.59
	15	2.63	2.80	2.78	2.53	2.92	2.14	2.50	2.62
	14	2.66	2.86	2.79	2.53	2.86	2.17	2.48	2.62
	13	2.71	2.92	2.83	2.57	2.85	2.22	2.01	2.59
	12	2.74	2.98	2.87	2.62	2.82	2.26	1.80	2.59
	11	2.81	3.03	2.91	2.70	2.80	2.29	1.87	2.63
	10	2.85	3.02	2.05	2.75	2.76	2.31	1.91	2.52
	9	2.87	2.96	2.14	2.76	2.76	2.30	1.94	2.53
	8	2.88	2.87	2.22	2.74	2.79	2.26	1.97	2.53
	7	2.85	2.76	2.25	2.69	2.79	2.21	2.00	2.51
	6	2.82	2.67	2.28	2.64	2.85	2.04	2.03	2.47
	5	2.99	2.78	2.51	2.78	3.15	2.18	2.22	2.66
	4	2.95	2.71	2.56	2.74	3.20	2.23	2.23	2.66
	3	2.90	2.50	2.58	2.61	3.09	2.16	2.14	2.57
	2	2.95	2.46	2.68	2.61	3.10	2.18	2.13	2.59
	1	2.44	1.69	2.23	1.95	2.13	1.53	1.49	1.92

Tabla 115:
Distorsiones de entrepiso con análisis no lineal TH en estructura con disipadores de 16 pisos - CASO 2

DISTORSIONES DE ENTREPISO CON ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE 16 PISOS - CASO 2									
Dirección	Piso	Callao, Perú 1966	Chimbote, Perú 1970	Lima, Perú 1974	Arequipa, Perú 2001	Pisco, Perú 2007	Talca, Chile 2010	Valparaiso, Chile 1985	Drift promedio
"X-X"	16	3.05	3.19	3.33	3.32	3.40	2.11	2.50	2.99
	15	3.19	3.32	3.37	3.48	3.47	2.20	2.42	3.07
	14	3.16	3.36	3.28	3.54	3.49	2.25	2.14	3.03
	13	3.23	3.46	3.44	3.67	3.52	2.34	2.21	3.12
	12	3.29	3.54	3.48	3.57	3.46	2.42	2.25	3.14
	11	3.17	3.58	3.45	3.55	3.36	2.46	2.28	3.12
	10	3.10	3.58	3.49	3.54	3.25	2.44	2.29	3.10
	9	3.04	3.53	3.47	3.48	3.16	2.40	2.28	3.05
	8	2.98	3.47	3.43	3.26	3.10	2.35	2.27	2.98
	7	2.74	3.25	3.20	3.10	3.02	2.22	2.16	2.82
	6	2.64	3.08	3.02	2.96	2.94	2.11	2.04	2.68
	5	2.54	2.88	2.83	2.80	2.89	1.99	1.92	2.55
	4	2.40	2.67	2.55	2.60	2.81	1.88	1.83	2.39
	3	2.84	3.03	2.81	2.94	3.34	2.18	2.19	2.76
	2	2.71	2.74	2.37	2.56	3.13	1.99	2.09	2.51
	1	2.71	2.36	2.50	2.48	2.70	1.70	1.98	2.35
"Y-Y"	16	5.80	6.06	5.63	5.17	6.88	4.50	5.31	5.62
	15	5.95	6.25	5.54	5.32	6.89	4.62	5.45	5.72
	14	5.09	6.34	5.45	5.13	6.80	4.67	5.41	5.55
	13	5.10	6.47	5.53	5.19	6.67	4.77	5.41	5.59
	12	5.25	6.57	5.61	5.31	6.68	4.85	4.45	5.53
	11	5.44	6.68	5.60	5.51	6.65	4.96	4.06	5.56
	10	5.58	6.63	4.99	5.63	6.50	4.99	4.13	5.49
	9	5.66	6.48	4.93	5.65	6.34	4.96	4.14	5.45
	8	5.69	6.27	5.07	5.43	6.26	4.79	4.16	5.38
	7	5.68	6.00	4.99	5.37	6.15	4.33	4.18	5.24
	6	5.60	5.62	4.95	5.30	6.26	4.42	4.22	5.20
	5	5.96	5.83	5.19	5.61	6.74	4.84	4.58	5.54
	4	5.97	5.69	5.12	5.53	6.85	4.90	4.61	5.52
	3	5.83	5.35	5.04	5.30	6.68	4.76	4.48	5.35
	2	5.86	5.18	5.10	5.20	6.69	4.78	4.51	5.33
	1	4.40	3.68	3.73	3.81	4.82	3.48	3.36	3.90

- **Respuesta fuerza – desplazamiento**

El dispositivo SLB más solicitado en la dirección “X” por los registros sísmicos; en la edificación de 16 pisos, está ubicado en el vano exterior del eje 6 y cuarto piso de la estructura como se muestra en la Figura 87.

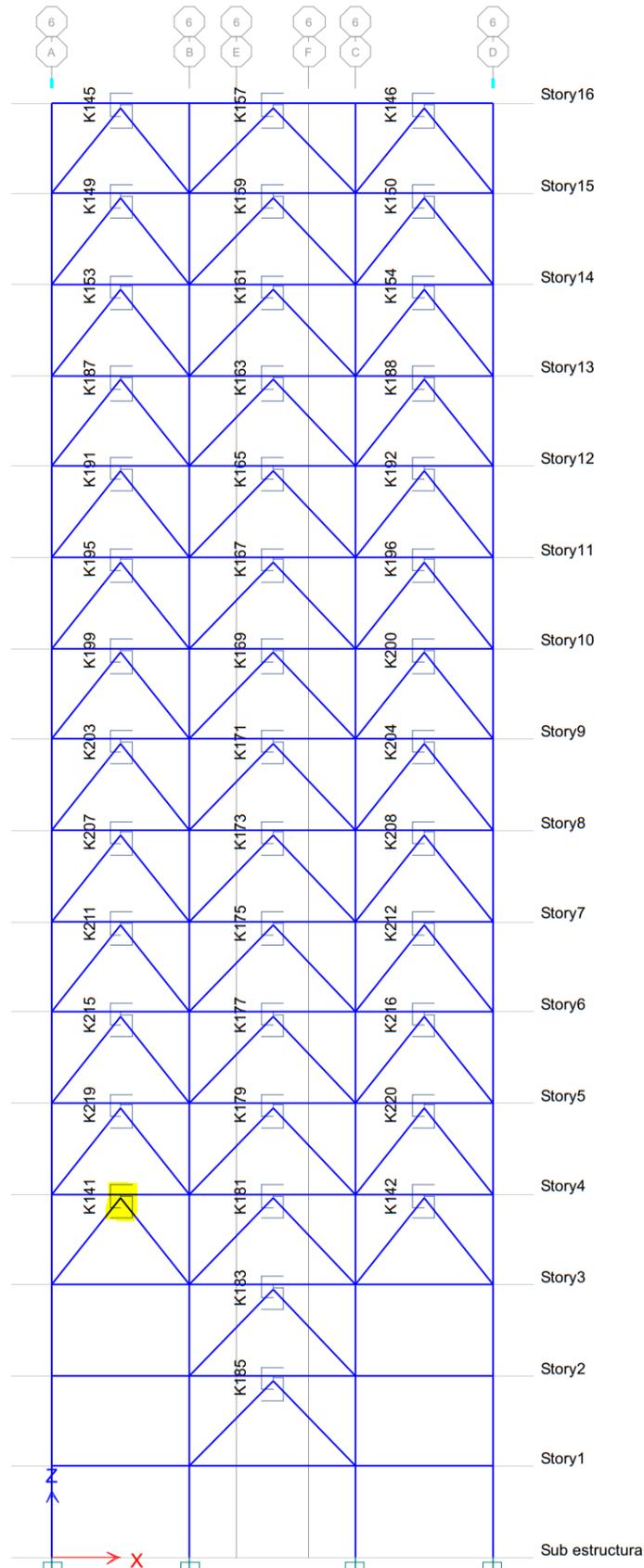


Figura 87: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección “X” en estructura de 16 pisos.

Como se mencionó en las bases teóricas de la presente investigación, la curva hysterética que representa el comportamiento de los dispositivos SLB, tienen la propiedad de disipar energía por formar lazos elípticos como se muestra en la Figura 88; en la cual se presenta la curva de histéresis del dispositivo K141 – 2xSLB3 30_7 para el registro sísmico de Pisco_2007_Caso 1; por ser este sismo, el que más deformación genera con el análisis tiempo historia no lineal, alcanzando una deformación máxima de 5.19 mm y una fuerza cortante máxima de 106.05 tn.

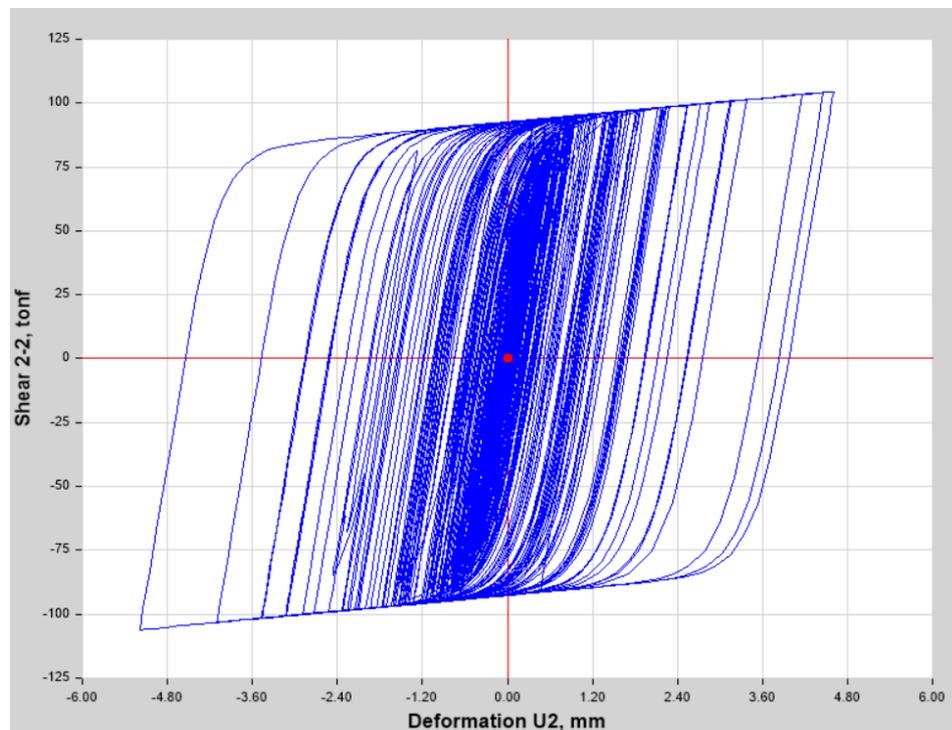


Figura 88: Curva de histéresis para el sismo de Pisco_2007_C1 en la dirección “X” en estructura de 16 pisos.

Del mismo modo, el dispositivo más solicitado en la dirección “Y” por los registros sísmicos es K62 y está ubicado en el vano exterior del eje D y último nivel de la estructura de 16 pisos, como se muestra en la Figura 89.

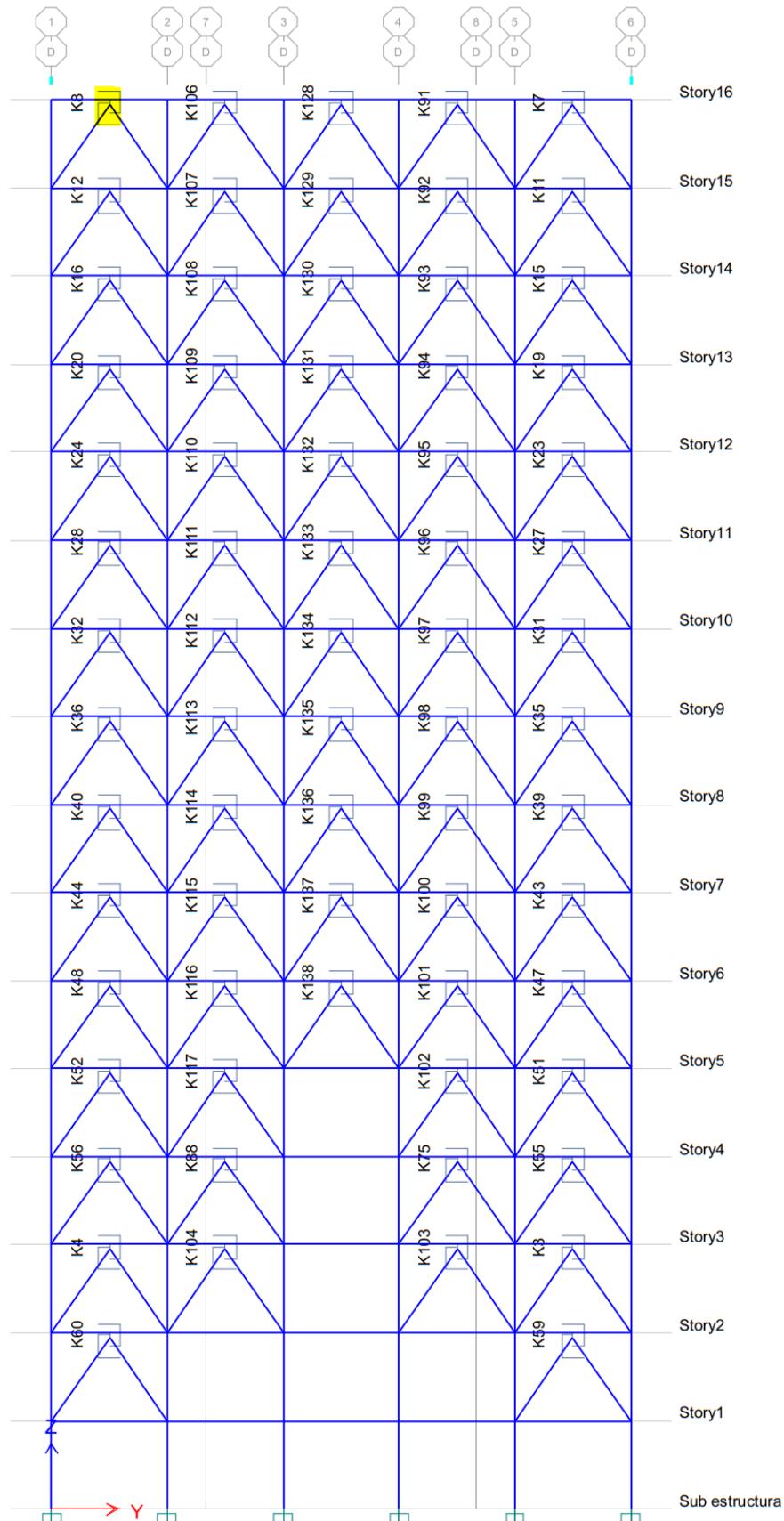


Figura 89: Ubicación del disipador histerético SLB más solicitado en la dirección "Y" en estructura de 16 pisos.

Figura 90 muestra la curva de histéresis del dispositivo K8 – SLB2 6_5 para el registro sísmico de Pisco_2007 Caso 2; por ser este sismo, el que más deformación genera en la dirección “Y” con el análisis tiempo historia no lineal, alcanzando una deformación máxima de 10.42 mm y una fuerza cortante máxima de 6.05 tn.

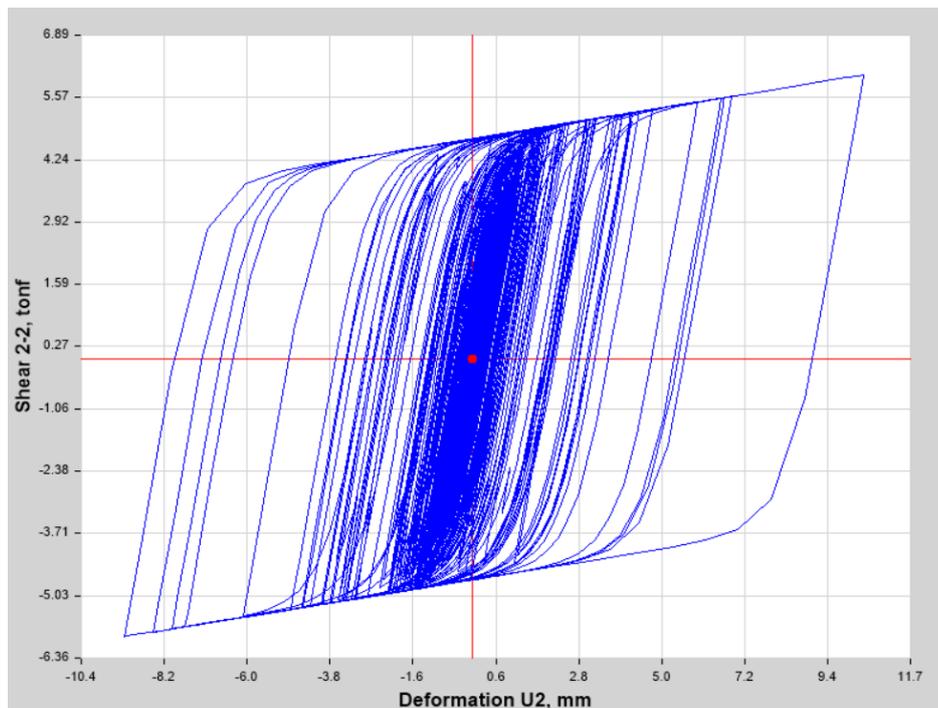


Figura 90: Curva de histéresis para el sismo de Pisco_2007_C2 en la dirección “Y” en estructura de 16 pisos.

- Balance de energía

El balance energético de los siete registros sísmicos se presenta en la Tabla N° 116 para el caso 1 y en la Tabla N° 117 para el caso 2, en los cuales se muestran las energías más importantes como energía de entrada impuesta por el sismo, energía disipada por el sistema de disipación de energía hysterética mediante los disipadores SLB y la energía disipada por la superestructura de la edificación de 16 pisos. Como se puede observar el sistema de disipación de energía hysterética alcanza disipar en promedio el 70.61% en el caso 1 y el 69.28% en el caso 2, de la energía de entrada impuesta por los sismos.

Tabla 116:

Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 16 pisos - Caso 1

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON DISIPADORES HISTERÉTICOS - CASO 1						
Sismo	Tiempo (seg.)	Disipadores Histeréticos	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	1413.029	2.5005	2000.7429	584.4674	0.6897
Arequipa, Perú 2001	198.88	2830.5483	0.0524	4042.311	1211.6102	0.0127
Callao, Perú 1966	65.62	1526.0636	0.4056	2127.0783	600.4713	0.0969
Lima, Perú 1974	97.96	2509.7771	0.0606	3551.9735	1041.8946	0.1452
Pisco, Perú 2007	218.06	3402.3165	0.01	4834.5404	1432.0477	0.0301
Talca, Chile 2010	199.99	1421.6678	0.0436	1999.7491	577.9651	0.0166
Valparaiso, Chile 1985	79.35	1480.4019	0.8353	2123.0132	639.8162	1.9083

Tabla 117:

Balance energético de sismos en estructura con disipadores de 16 pisos - Caso 2

BALANCE ENERGÉTICO EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON DISIPADORES HISTERÉTICOS - CASO 2						
Sismo	Tiempo (seg.)	Disipadores Histeréticos	E. Cinética	E. Entrada	E. Estructura	E. Potencial
Chimbote, Perú 1970	45.06	1212.6956	2.6961	1798.9971	580.5705	2.9894
Arequipa, Perú 2001	198.88	2368.7247	0.0157	3441.2107	1072.3809	0.0033
Callao, Perú 1966	65.62	1554.3184	0.2175	2180.3084	625.539	0.1914
Lima, Perú 1974	97.96	2350.2406	0.0265	3395.255	1044.4625	0.4465
Pisco, Perú 2007	218.06	3561.6039	0.021	5031.753	1469.932	0.061
Talca, Chile 2010	199.99	1503.3806	0.0145	2195.7027	692.224	0.0139
Valparaiso, Chile 1985	79.35	1226.8587	0.5952	1779.6417	551.2808	0.8651

La Figura 91 y Figura 92, muestran gráficamente el balance de energía del sismo de Pisco_2007 para el caso 1 y para el caso 2; los cuales son los sismos que imponen la mayor cantidad de energía a la estructura con disipadores de 16 pisos.

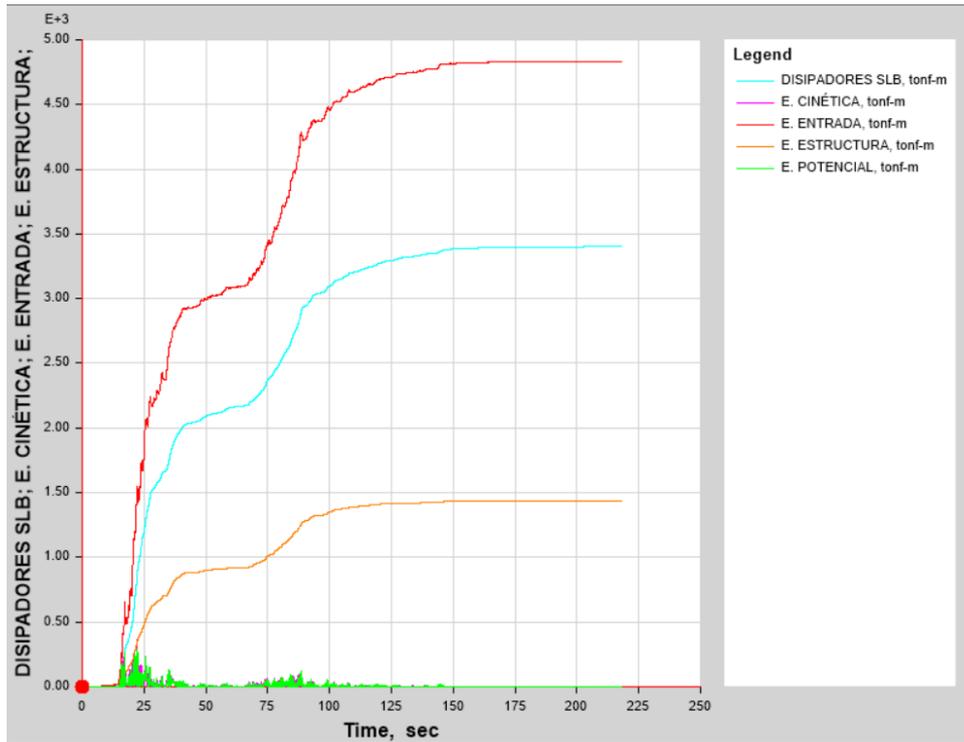


Figura 91: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_ Caso 1, en estructura con disipadores de 16 pisos.

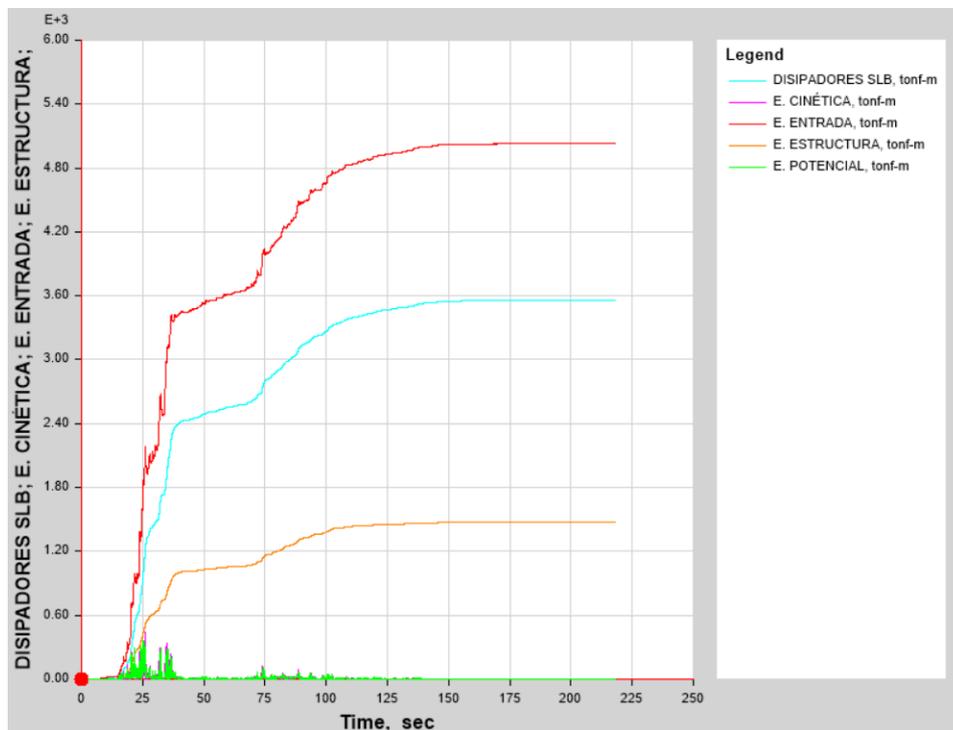


Figura 92: Balance de energía con sismo de Pisco_2007_ Caso 2, en estructura con disipadores de 16 pisos.

3.9. Diseño de concreto armado

3.9.1. Diseño de concreto armado de estructuras con aisladores

3.9.1.1. Diseño de columnas y pedestales

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Para el diseño de columnas y pedestales por flexo-compresión de la estructura de 4 pisos con aisladores, se seleccionaron las columnas más esforzadas como se muestra en la Figura 93.

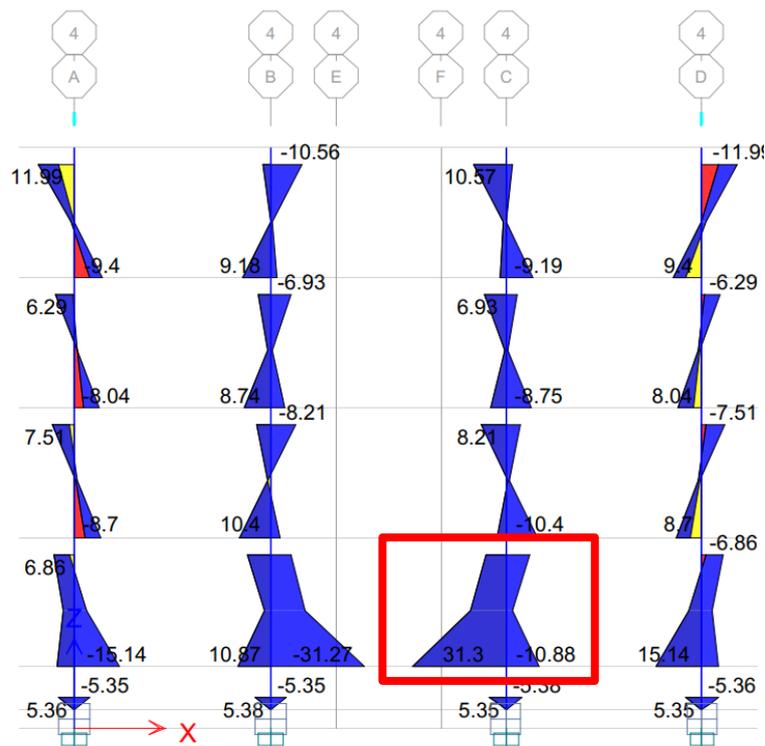


Figura 93: Columna más esforzada en estructura de 4 pisos con aisladores.

A continuación se presenta los cálculos mencionados en los procedimientos y bases teóricas de la presente investigación, a modo de ejemplo la Figura 94 y Figura 95, muestran el diagrama de interacción de la sección de columna C2 en la dirección M3 y M2, respectivamente. En las figuras mencionadas se presenta el diagrama de interacción reducido (curva azul y naranja) y las solicitaciones de las combinaciones

de cargas que soporta el elemento (puntos verdes), dicho diagrama de interacción se construye a partir de la distribución de acero longitudinal, en este caso se colocaron 4Ø3/4" en las esquinas y 8Ø5/8" en las caras de la sección, con la intención que las solicitaciones se encuentren dentro del diagrama reducido.

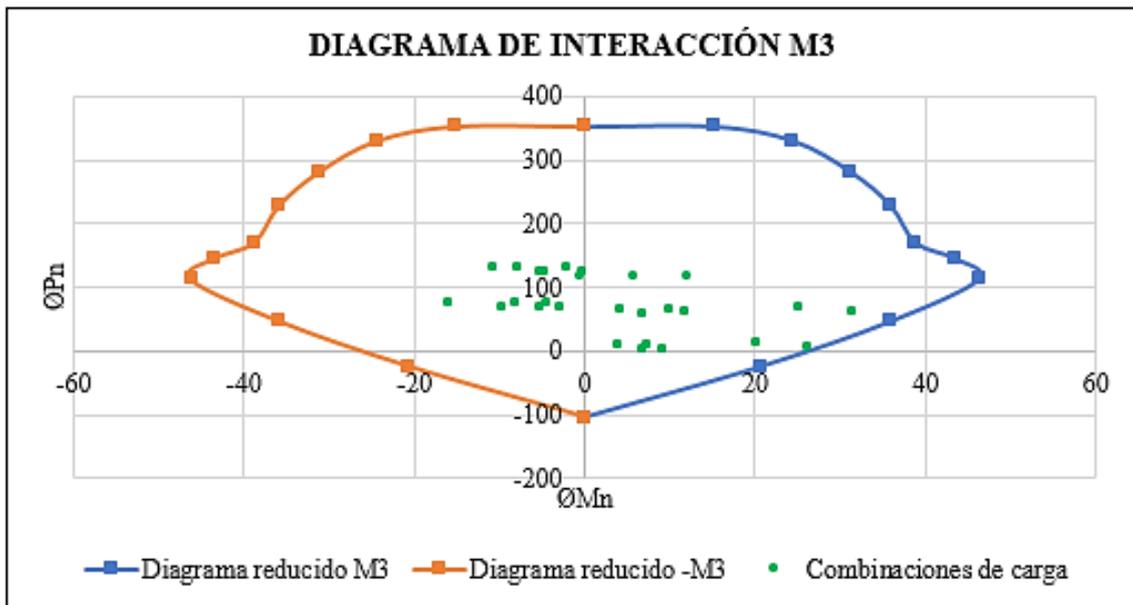


Figura 94: Diagrama de interacción M3, de columna C2 en estructura de 4 pisos con aisladores.

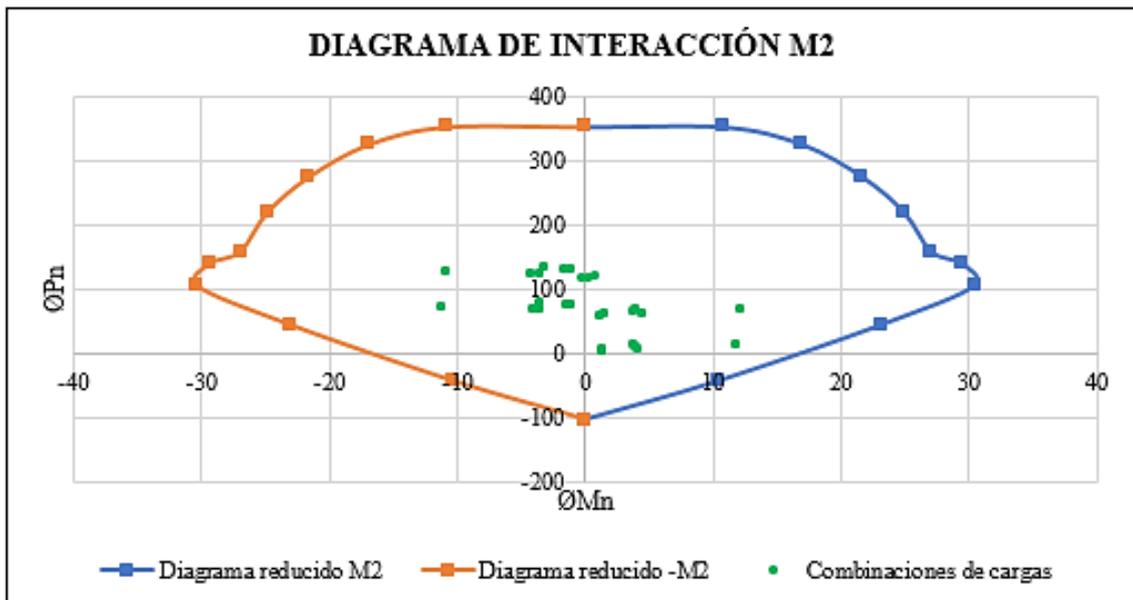


Figura 95: Diagrama de interacción M2, de columna C2 en estructura de 4 pisos con aisladores.

Ahora bien, respecto al diseño por cortante, se considera estribos con diámetro de Ø3/8”, con ganchos sísmicos doblados a 135° y ganchos suplementarios para controlar los esfuerzos cortantes. La Figura 96, muestra la plantilla de diseño de acero transversal de la sección de columna C-2 la cual tiene una distribución de estribos de 1@.05, 6@.10, rto.@.15 m.

DISEÑO TRANSVERSAL	
DIRECCION YY	DIRECCION XX
Nu = 132.988 ton	Nu = 132.988 ton
Vu = 15.080 ton	Vu = 6.272 ton
Mu = 31.273 ton.m	Mu = 12.092 ton.m
f'c = 280 kg/cm ²	f'c = 280 kg/cm ²
fy = 4200 kg/cm ²	fy = 4200 kg/cm ²
b = 40 cm	b = 60 cm
D = 60 cm	D = 40 cm
db long = 5/8 pulg	db long = 5/8 pulg
db trans = 3/8 pulg	db trans = 3/8 pulg
Ln = 2.65 m	Ln = 2.65 m
rec = 4 cm	rec = 4 cm
d = 55.2 cm	d = 35.2 cm
Cálculo de la fuerza cortante en la columna	
Mn = 46.23 ton.m	Mn = 46.23 ton.m
Vu = 34.89 ton	Vu = 34.89 ton
Cálculo de la fuerza cortante máxima que puede resistir el concreto "Vc"	
$V_s = \phi V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{Nu}{140 * Ag}\right) * b_w * d$	
ØVc = 23.2 ton	ØVc = 22.2 ton
ØVc > Vu ❌	ØVc > Vu ❌
Cálculo del aporte de estribos	
Vs = 17.82 ton	$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$
	Vs = 18.83 ton
Cálculo de los estribos	
#ramas = 3	$S = A_v * f_y * \frac{d}{V_s}$
Av = 2.14 cm ²	#ramas = 3
s req = 28 cm ²	Av = 2.14 cm ²
	s req = 17 cm ²
Dentro de zona de confinamiento	
Lo = 60.00 cm	Lo = 60.00 cm
s req = 28 cm	s req = 17 cm
So = 10 cm	So = 10 cm
Fuera de zona de confinamiento	
S1 = 25 cm	S1 = 25 cm
S2 = 30 cm	S2 = 30 cm
S3 = 30 cm	S3 = 20 cm
S req = 28 cm	S req = 17 cm
S = 25 cm	S = 17 cm
1er y último estribo	
S 1er = 5 cm	S 1er = 5 cm
S último = 5 cm	S último = 5 cm

Figura 96: Plantilla de diseño transversal de columna C-2 en estructura de 4 pisos con aisladores

Finalmente, se presenta los detalles de las secciones de las columnas y pedestales diseñadas para la estructura de 4 pisos con aisladores, como se muestra en la Figura 97.

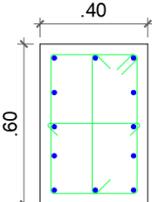
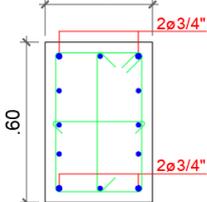
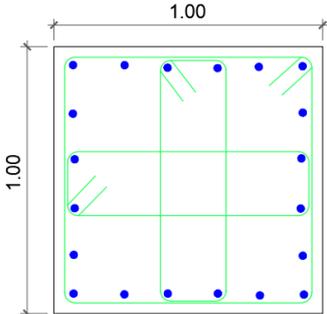
CUADRO DE COLUMNAS Y PEDESTALES			
SECCIÓN	C - 1	C - 2	PEDESTAL - 1
TIPO			
REFUERZO	12 Ø 5/8"	4 Ø 3/4" + 8 Ø 5/8"	20 Ø 1"
ESTRIBOS	Ø 3/8" 1@.05, 6@.10, rto@.15m	Ø 3/8" 1@.05, 6@.10, rto@.15m	Ø 1/2" 1@.05, rto@.10m

Figura 97: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 4 pisos con aisladores.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Para el diseño de columnas y pedestales por flexo-compresión de la estructura de 8 pisos con aisladores, se seleccionaron las columnas más esforzadas como se muestra en la Figura 98.

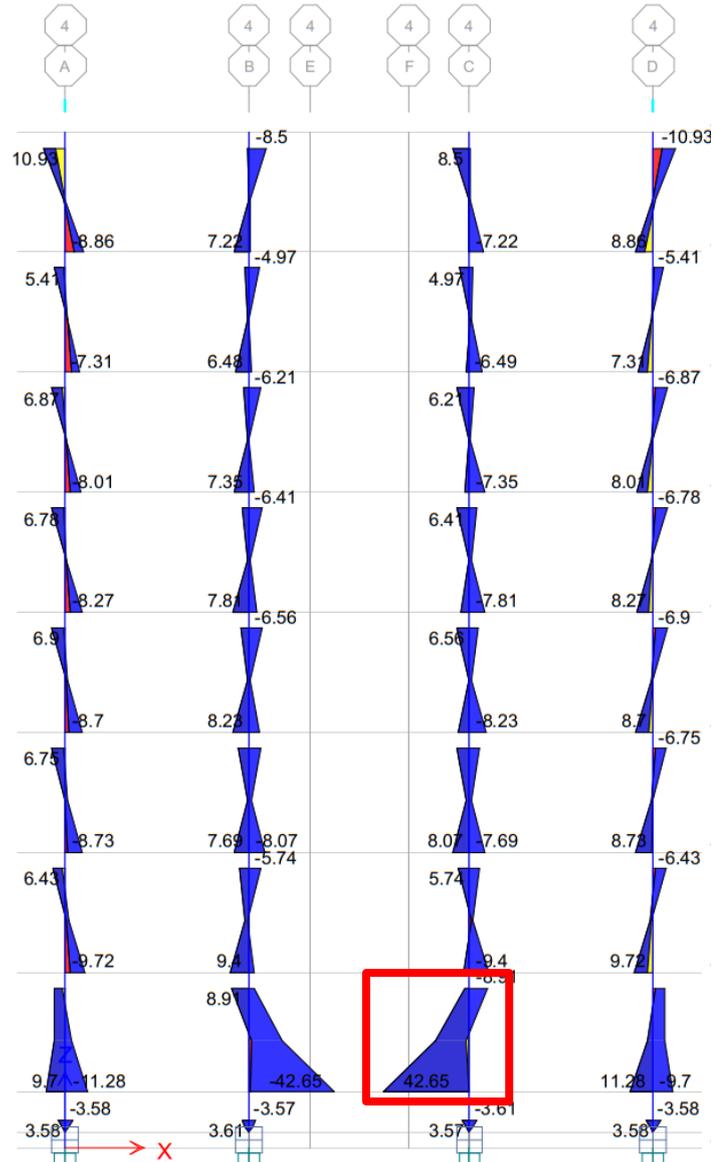


Figura 98: Columna más esforzada en estructura de 8 pisos con aisladores

A continuación se presenta los cálculos mencionados en los procedimientos y bases teóricas de la presente investigación, a modo de ejemplo la Figura 99 y Figura 100, muestran el diagrama de interacción de la sección de columna C2 en la dirección M3 y M2, respectivamente. En las figuras mencionadas se presenta el diagrama de interacción reducido (curva azul y naranja) y las solicitaciones de las combinaciones de cargas que soporta el elemento (puntos verdes), dicho diagrama de interacción se construye a partir de la distribución de acero longitudinal, en este caso se colocaron

4Ø3/4” en las esquinas y 10Ø5/8” en las caras de la sección, con la intención que las sollicitaciones se encuentren dentro del diagrama reducido.

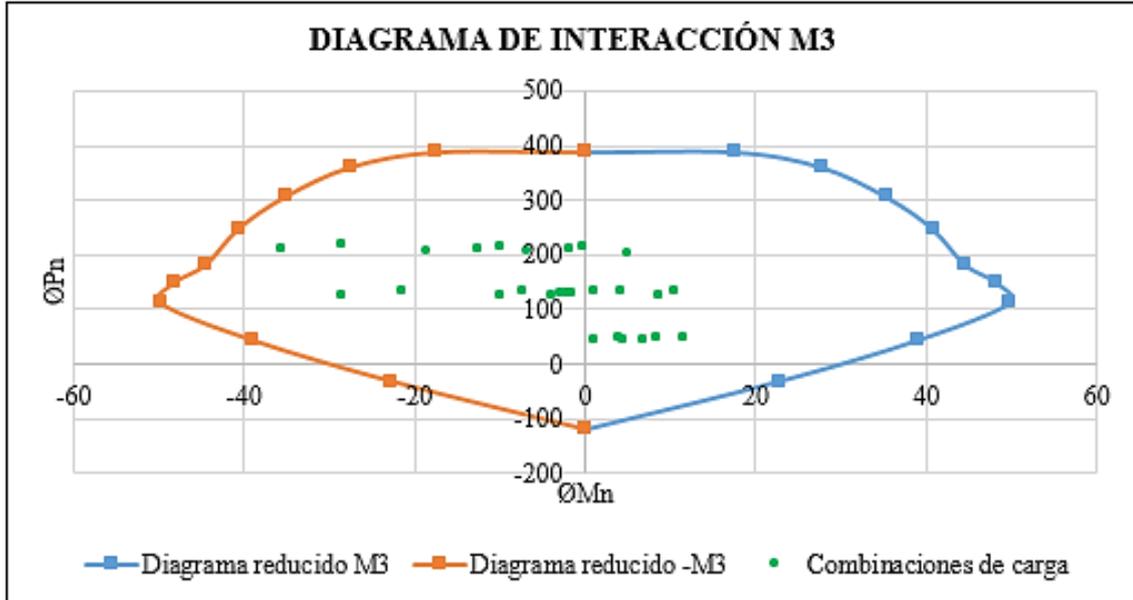


Figura 99: Diagrama de interacción M3, de columna C2 en estructura de 8 pisos con aisladores.

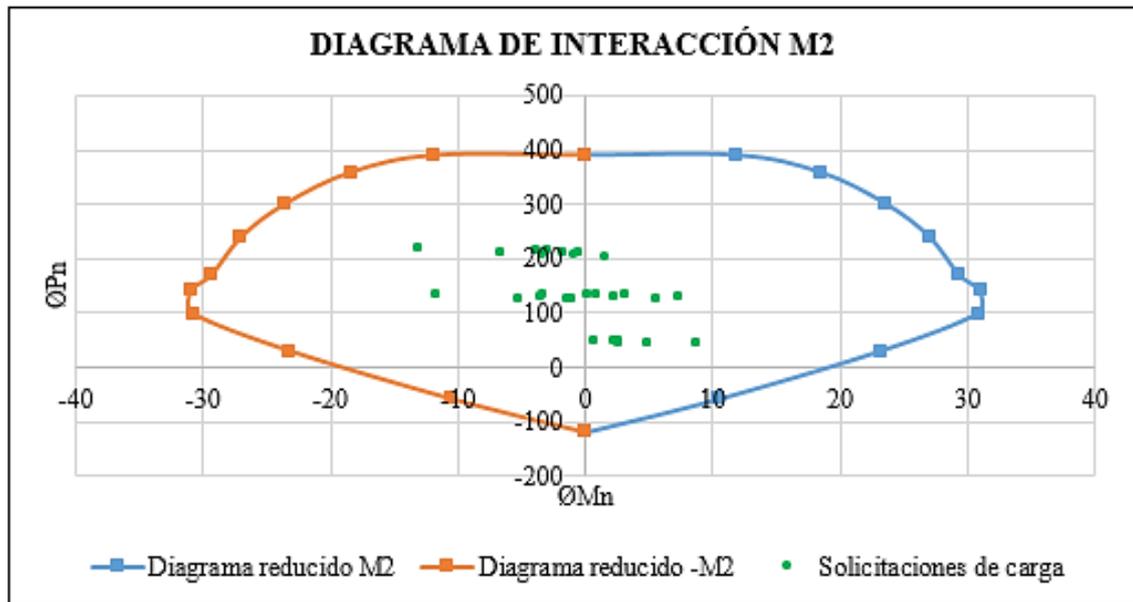


Figura 100: Diagrama de interacción M2, de columna C2 en estructura de 8 pisos con aisladores.

Ahora bien, respecto al diseño por cortante, se considera estribos con diámetro de Ø3/8”, con ganchos sísmicos doblados a 135° y ganchos suplementarios

para controlar los esfuerzos cortantes. La Figura 101, muestra la plantilla de diseño de acero transversal de la sección de columna C-2 la cual tiene una distribución de estribos de 1@.05, 6@.10, rto.@.20 m.

DISEÑO TRANSVERSAL			
DIRECCIÓN YY		DIRECCIÓN XX	
Nu =	217.985 ton	Nu = 217.985 ton	
Vu =	18.408 ton	Vu = 7.439 ton	
Mu =	35.674 ton.m	Mu = 13.090 ton.m	
f'c =	280 kg/cm ²	f'c = 280 kg/cm ²	
fy =	4200 kg/cm ²	fy = 4200 kg/cm ²	
b =	40 cm	b = 60 cm	
D =	60 cm	D = 40 cm	
db long =	3/4 pulg	db long = 3/4 pulg	
db trans =	3/8 pulg	db trans = 3/8 pulg	
Ln =	2.65 m	Ln = 2.65 m	
rec =	4 cm	rec = 4 cm	
d =	55.0 cm	d = 35.0 cm	
Cálculo de la fuerza cortante en la columna			
Mn =	49.78 ton.m	Mn = 49.78 ton.m	
Vu =	37.57 ton	Vu = 37.57 ton	
Cálculo de la fuerza cortante máxima que puede resistir el concreto "Vc"			
$V_s = \phi V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{N_u}{140 * A_g}\right) * b_w * d$			
$\phi V_c =$	27.4 ton	$\phi V_c =$	26.1 ton
$\phi V_c > V_u$	✘	$\phi V_c > V_u$	✘
Cálculo del aporte de estribos			
Vs =	16.83 ton	$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$	Vs = 18.06 ton
Cálculo de los estribos			
#ramas =	3	$S = A_v * f_y * \frac{d}{V_s}$	#ramas = 4
Av =	2.14 cm ²		Av = 2.85 cm ²
s req =	29 cm ²		s req = 23 cm ²
Dentro de zona de confinamiento			
Lo =	60.00 cm	Lo =	60.00 cm
s req =	29 cm	s req =	23 cm
So =	10 cm	So =	10 cm
Fuera de zona de confinamiento			
S1 =	30 cm	S1 =	30 cm
S2 =	30 cm	S2 =	30 cm
S3 =	30 cm	S3 =	20 cm
S req =	29 cm	S req =	23 cm
S =	29 cm	S =	20 cm
1er y ultimo estribo			
S 1er =	5 cm	S 1er =	5 cm
S ultimo =	5 cm	S ultimo =	5 cm

Figura 101: Plantilla de diseño transversal de columna C-2 en estructura de 8 pisos con aisladores.

Finalmente, se presenta los detalles de las secciones de las columnas y pedestales diseñadas para la estructura de 8 pisos con aisladores, como se muestra en la Figura 102.

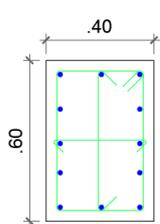
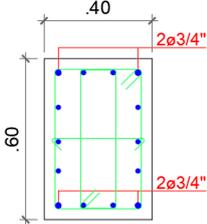
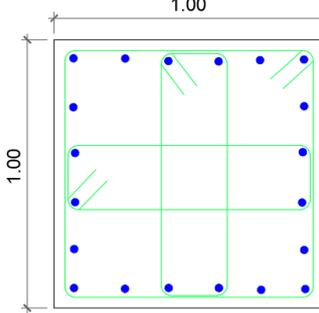
CUADRO DE COLUMNAS Y PEDESTALES			
SECCIÓN	C - 1	C - 2	PEDESTAL - 1
TIPO			
REFUERZO	12 Ø 5/8"	4 Ø 3/4" + 10 Ø 5/8"	20 Ø 1"
ESTRIBOS	Ø 3/8" 1@.05, 6@.10, rto@.18m	Ø 3/8" 1@.05, 6@.10, rto@.20m	Ø 1/2" 1@.05, rto@.10m

Figura 102: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 8 pisos con aisladores.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Para el diseño de columnas y pedestales por flexo-compresión de la estructura de 16 pisos con aisladores, se seleccionaron las columnas más esforzadas como se muestra en la Figura 103.

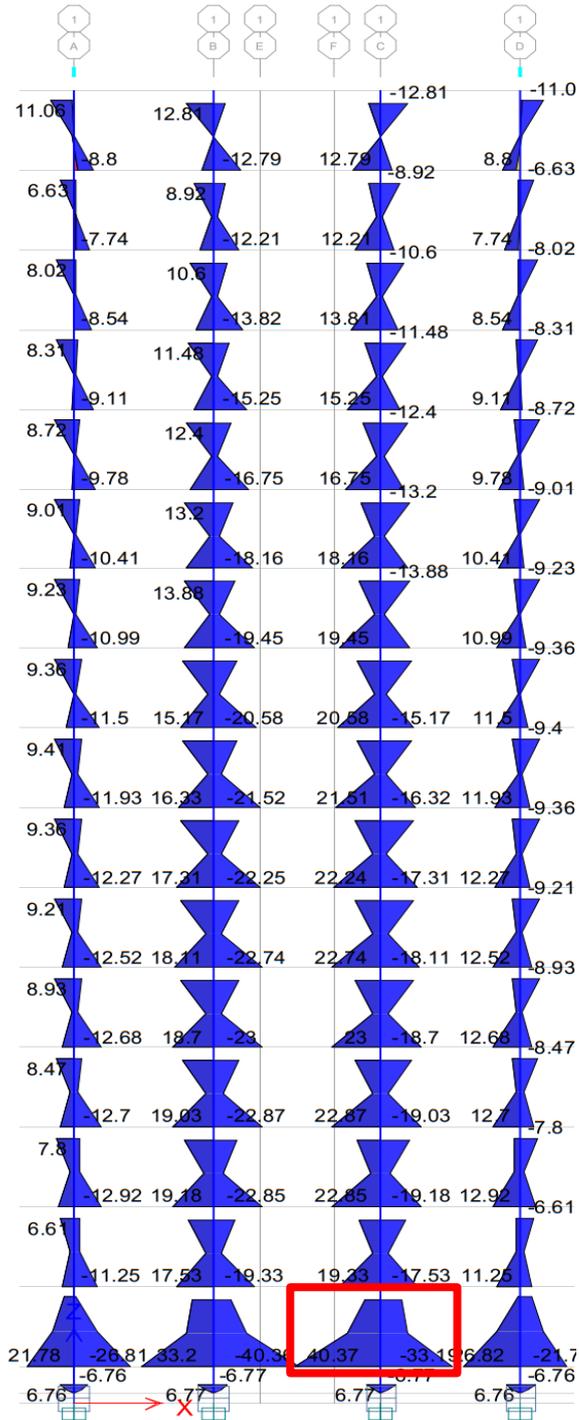


Figura 103: Columna más esforzada en estructura de 16 pisos con aisladores

A continuación se presenta los cálculos mencionados en los procedimientos y bases teóricas de la presente investigación, a modo de ejemplo la Figura 104 y Figura 105, muestran el diagrama de interacción de la sección de columna C2 en la dirección M3 y M2, respectivamente. En las figuras mencionadas se presenta el

diagrama de interacción reducido (curva azul y naranja) y las solicitaciones de las combinaciones de cargas que soporta el elemento (puntos verdes), dicho diagrama de interacción se construye a partir de la distribución de acero longitudinal, en este caso se colocaron $4\varnothing 1''$ en las esquinas y $12\varnothing 3/4''$ en las caras de la sección, con la intención que las solicitaciones se encuentren dentro del diagrama reducido.

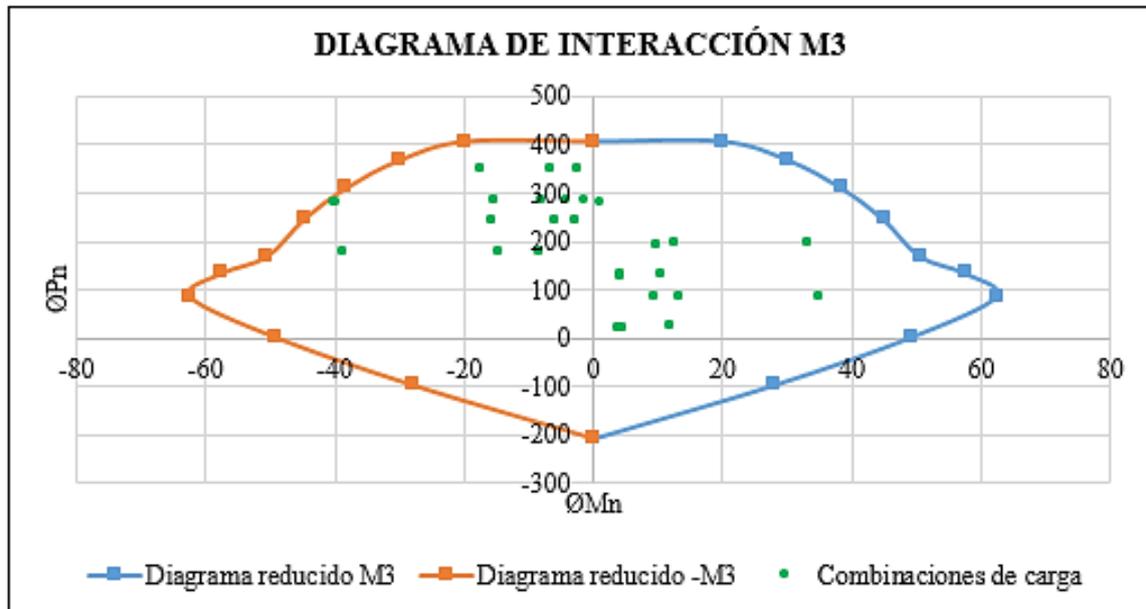


Figura 104: Diagrama de interacción M3, de columna C2 en estructura de 16 pisos con aisladores.

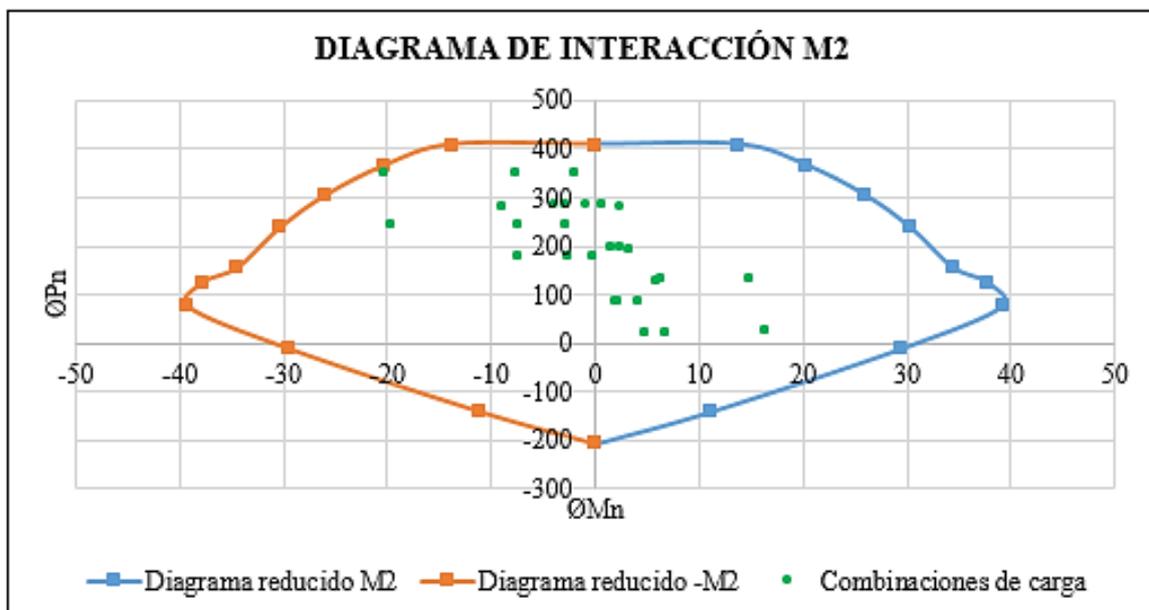


Figura 105: Diagrama de interacción M2, de columna C2 en estructura de 16 pisos con aisladores.

Ahora bien, respecto al diseño por cortante, se considera estribos con diámetro de Ø3/8”, con ganchos sísmicos doblados a 135° y ganchos suplementarios para controlar los esfuerzos cortantes. La Figura 106, muestra la plantilla de diseño de acero transversal de la sección de columna C-2 la cual tiene una distribución de estribos de 1@.05, 6@.10, rto.@.15 m.

DISEÑO TRANSVERSAL		
DIRECCIÓN YY	DIRECCIÓN XX	
Nu = 353.064 ton	Nu = 353.064 ton	
Vu = 20.103 ton	Vu = 10.808 ton	
Mu = 40.300 ton.m	Mu = 20.260 ton.m	
f'c = 280 kg/cm ²	f'c = 280 kg/cm ²	
fy = 4200 kg/cm ²	fy = 4200 kg/cm ²	
b = 40 cm	b = 60 cm	
D = 60 cm	D = 40 cm	
db long = 1 pulg	db long = 1 pulg	
db trans = 3/8 pulg	db trans = 3/8 pulg	
Ln = 2.65 m	Ln = 2.65 m	
rec = 4 cm	rec = 4 cm	
d = 54.7 cm	d = 34.7 cm	
Cálculo de la fuerza cortante en la columna		
Mn = 71.00 ton.m	Mn = 48.00 ton.m	
Vu = 53.58 ton	Vu = 36.23 ton	
Cálculo de la fuerza cortante máxima que puede resistir el concreto "Vc"		
$V_s = \phi V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{N_u}{140 * A_g}\right) * b_w * d$		
ØVc = 33.8 ton	ØVc = 32.2 ton	
ØVc > Vu ❌	ØVc > Vu ❌	
Cálculo del aporte de estribos		
Vs = 29.20 ton	$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$	Vs = 10.40 ton
Cálculo de los estribos		
#ramas = 3	$S = A_v * f_y * \frac{d}{V_s}$	#ramas = 3
Av = 2.14 cm ²		Av = 2.14 cm ²
s req = 17 cm ²		s req = 30 cm ²
Dentro de zona de confinamiento		
Lo = 60.00 cm		Lo = 60.00 cm
s req = 17 cm		s req = 30 cm
So = 10 cm		So = 10 cm
Fuera de zona de confinamiento		
S1 = 40 cm		S1 = 40 cm
S2 = 30 cm		S2 = 30 cm
S3 = 30 cm		S3 = 20 cm
S req = 17 cm		S req = 30 cm
S = 17 cm		S = 20 cm
1er y ultimo estribo		
S 1er = 5 cm		S 1er = 5 cm
S ultimo = 5 cm		S ultimo = 5 cm

Figura 106: Plantilla de diseño transversal de columna C-2 en estructura de 16 pisos con aisladores.

Finalmente, se presenta los detalles de las secciones de las columnas y pedestales diseñadas para la estructura de 16 pisos con aisladores, como se muestra en la Figura 107.

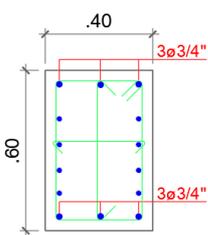
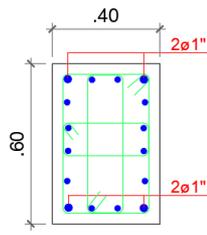
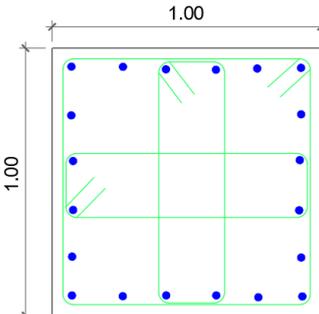
CUADRO DE COLUMNAS Y PEDESTALES			
SECCIÓN	C - 1	C - 2	PEDESTAL - 1
TIPO			
REFUERZO	6 Ø 3/4" + 8 Ø 5/8"	4 Ø 1" + 12 Ø 3/4"	20 Ø 1"
ESTRIBOS	Ø 3/8" 1@.05, 6@.10, rto@.20m	Ø 3/8" 1@.05, 6@.10, rto@.15m	Ø 1/2" 1@.05, rto@.10m

Figura 107: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 16 pisos con aisladores.

3.9.1.2. Diseño de vigas

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Para el diseño de las vigas por flexión en la estructura de 4 pisos con aisladores, se seleccionaron los ejes más solicitados en ambas direcciones del análisis, a modo de ejemplo la Figura 108 muestra las vigas de la superestructura seleccionadas en la dirección X-X, que pertenecen al primer nivel del eje 6.

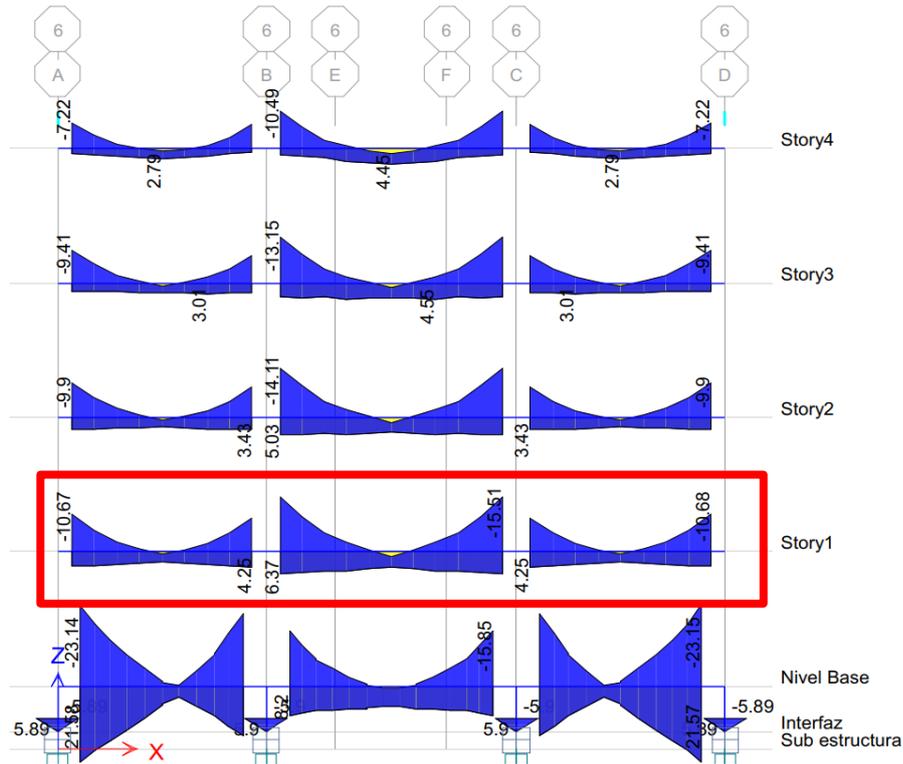


Figura 108: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 4 pisos con aisladores.

A continuación; para el diseño a flexión y cortante de las vigas seleccionadas, se consideran los datos iniciales como muestra en la Tabla N° 118, dicho cuadro hace referencia a la viga del vano central, seleccionado previamente.

Tabla 118:
Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 6 en estructura de 4 pisos con aisladores.

DATOS INICIALES		
db long =	5/8	pulg.
Ab long =	1.98	cm ²
d estribo =	3/8	pulg.
Ab estribo =	0.71	cm ²
b =	30	cm
h =	50	cm
recubrimiento =	4	cm
β =	0.85	
f'c =	280	kg/cm ²
fy =	4200	kg/cm ²
d (+) =	44.25	cm
d (-) =	44.25	cm

Con dichos valores se procede a realizar el diseño del acero longitudinal a flexión de la viga seleccionada, el cual cuenta con 5Ø5/8” en las zonas de momento negativo y 2Ø5/8” en la zona de momento positivo. Dicho diseño se realiza más eficientemente con la ayuda de la siguiente plantilla presentada en la Figura 109, en la cual se muestra el acero requerido por flexión con la curva de color ploma, el acero de refuerzo longitudinal que se encuentra en lo largo de todo el elemento con la recta de color verde y finalmente el acero adicional de color rojo para cubrir los esfuerzos en las zonas de momento negativo y momento positivo.

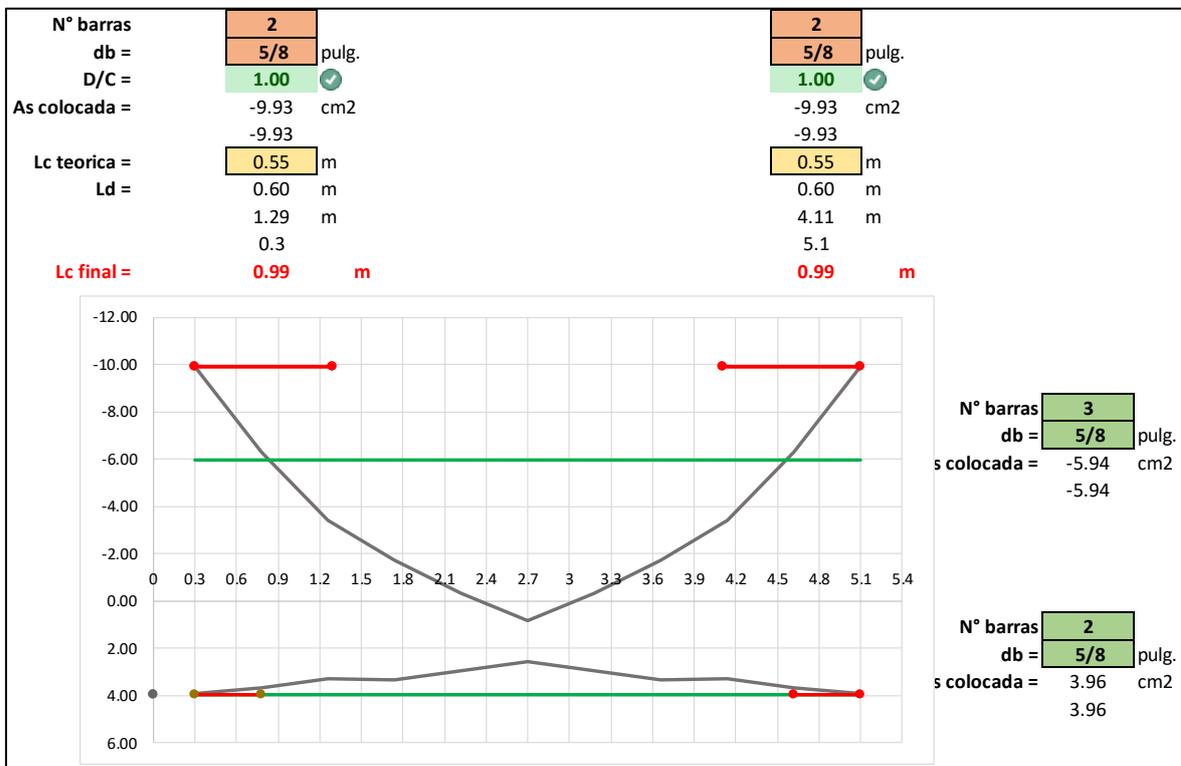
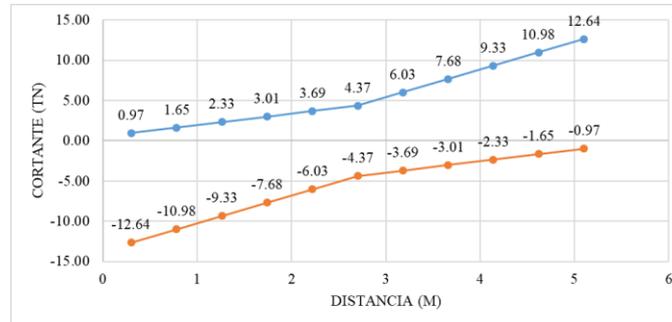


Figura 109: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 6 en estructura de 4 pisos con aisladores.

Ahora bien, para el diseño del refuerzo transversal de la viga mencionada anteriormente, se obtienen los esfuerzos cortantes con el software ETABS, estas solicitaciones generan estribos distribuidos a 22 cm. en toda la longitud del elemento; sin embargo, siguiendo los lineamientos del Capítulo 21 de la NTE E0.60, la

distribución final del refuerzo transversal de la viga seleccionada es 1@0.05, 10@0.11, resto@0.22m., como se muestra en la Figura 110.

CÁLCULO DE REFUERZO TRANSVERSAL



Vc (-) = 11773.1 kg ØVc (-) = 10007.1 kg
 Vc (+) = 11773.1 kg ØVc (+) = 10007.1 kg

Refuerzo transversal sin consideraciones sísmicas de E0.60

Vu (kg)	Vu / Ø	Vs (kg)	S (cm)	0.5 Ø Vc	Vu > 0.5ØVc	S para Avmin	S máx (cm)	S final (cm)
12640	14871	3097.5	85.2	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
10980	12918	1144.6	230.6	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
9330	10976	-796.6	-331.3	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
7680	9035	-2737.8	-96.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
6030	7094	-4678.9	-56.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
6030	7094	-4678.9	-56.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
7680	9035	-2737.8	-96.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
9330	10976	-796.6	-331.3	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
10980	12918	1144.6	230.6	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
12640	14871	3097.5	85.2	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0

Consideraciones sísmicas del Cap. 21 - E0.60

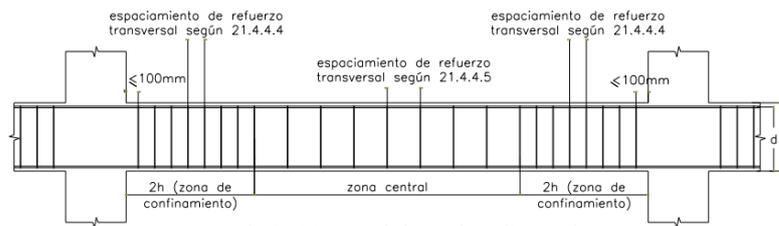


Fig. 21.4.4 Requerimientos de estribos en vigas.

- 1er estribo a 5cm de la cada del elemento de apoyo
- Zona de confinamiento
 - L conf = 100.0 cm
 - s conf = 11.1 cm
- Zona fuera del confinamiento
 - s fuera conf = 22.0 cm

DISTRIBUCION FINAL DE ESTRIBOS

1 @ 0.05 , 10 @ 0.11 , resto @ 0.22 m

Figura 110: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 4 pisos con aisladores.

Finalmente, se presenta el detalle del acero de refuerzo de la viga del vano central del eje 6 en la dirección X-X, en estructura de 4 pisos con aisladores, como se muestra en la Figura 111.

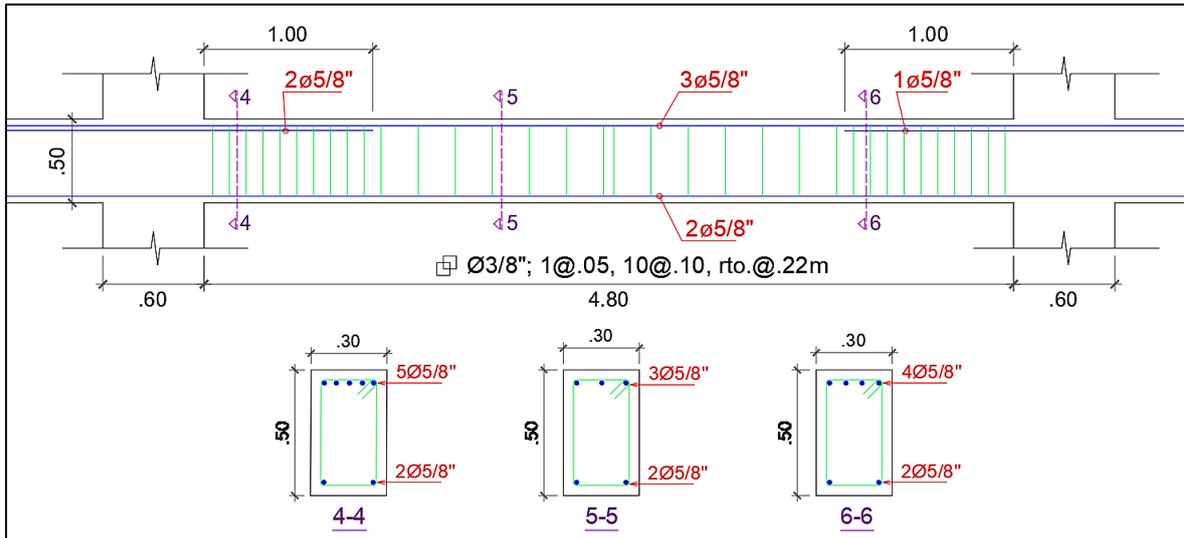


Figura 111: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 4 pisos con aisladores.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Para el diseño de las vigas por flexión en la estructura de 8 pisos con aisladores, se seleccionaron los ejes más solicitados en ambas direcciones del análisis, a modo de ejemplo la Figura 112 muestra las vigas de la superestructura seleccionadas en la dirección X-X, que pertenecen al primer y tercer nivel del eje 2.

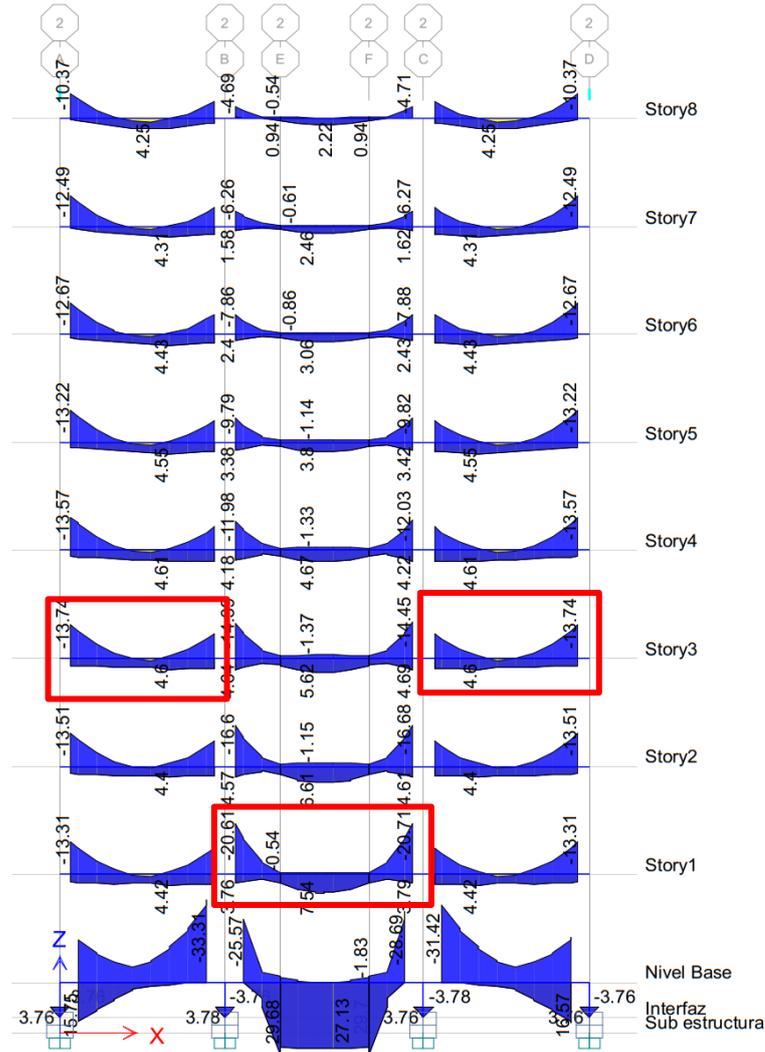


Figura 112: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 8 pisos con aisladores.

A continuación; para el diseño a flexión y cortante de las vigas seleccionadas, se consideran los datos iniciales como muestra en la Tabla N° 119, dicho cuadro hace referencia a la viga del vano central, seleccionado previamente.

Tabla 119:
Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 6 en estructura de 8 pisos con aisladores.

DATOS INICIALES		
db long =	5/8 – 3/4"	pulg.
Ab long =	1.99 – 2.84	cm ²
d estribo =	3/8	pulg.
Ab estribo =	0.71	cm ²
b =	30	cm
h =	50	cm

recubrimiento =	4	cm
β =	0.85	
f'_c =	280	kg/cm ²
f_y =	4200	kg/cm ²
d (+) =	44.25	cm
d (-) =	44.25	cm

Con dichos valores se procede a realizar el diseño del acero longitudinal a flexión de la viga seleccionada, el cual cuenta con 4Ø5/8”+1Ø3/4” en las zonas de momento negativo y 2Ø5/8”+1Ø1/2” en la zona de momento positivo. Dicho diseño se realiza más eficientemente con la ayuda de la siguiente plantilla presentada en la Figura 113, en la cual se muestra el acero requerido por flexión con la curva de color ploma, el acero de refuerzo longitudinal que se encuentra en lo largo de todo el elemento con la recta de color verde y finalmente el acero adicional de color rojo para cubrir los esfuerzos en las zonas de momento negativo y momento positivo.

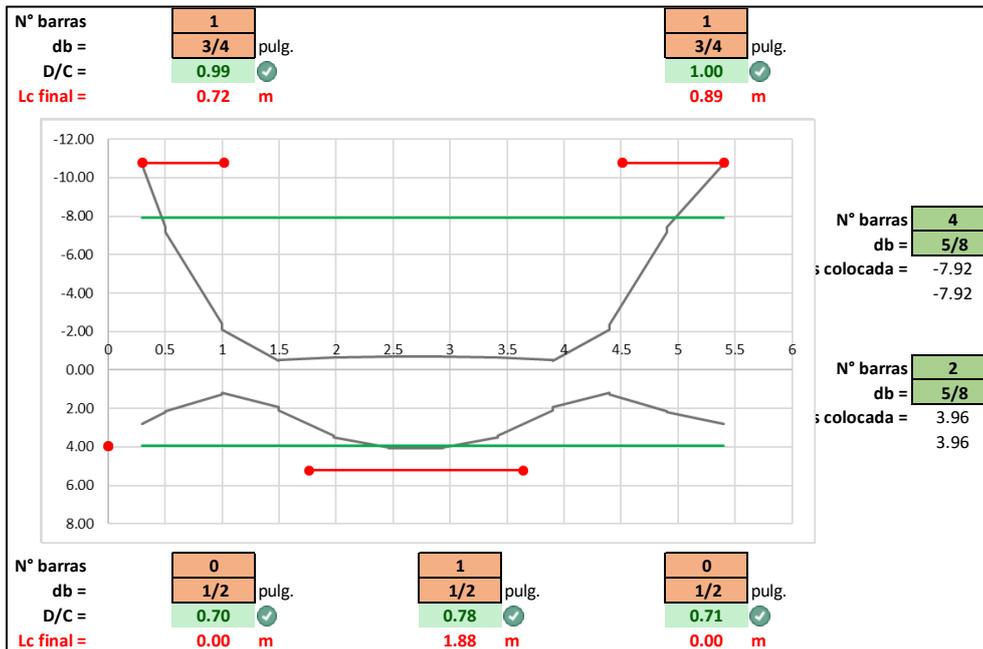


Figura 113: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 2 en estructura de 8 pisos con aisladores.

Ahora bien, para el diseño del refuerzo transversal de la viga mencionada anteriormente, se obtienen los esfuerzos cortantes con el software ETABS, estas solicitaciones generan estribos distribuidos a 10 cm. en los extremos (70cm) y 22

cm. en la zona central del elemento; sin embargo, siguiendo los lineamientos del Capítulo 21 de la NTE E0.60, la distribución final del refuerzo transversal de la viga seleccionada es 1@0.05, 10@0.10, resto@0.22 m., como se muestra en la Figura 114.

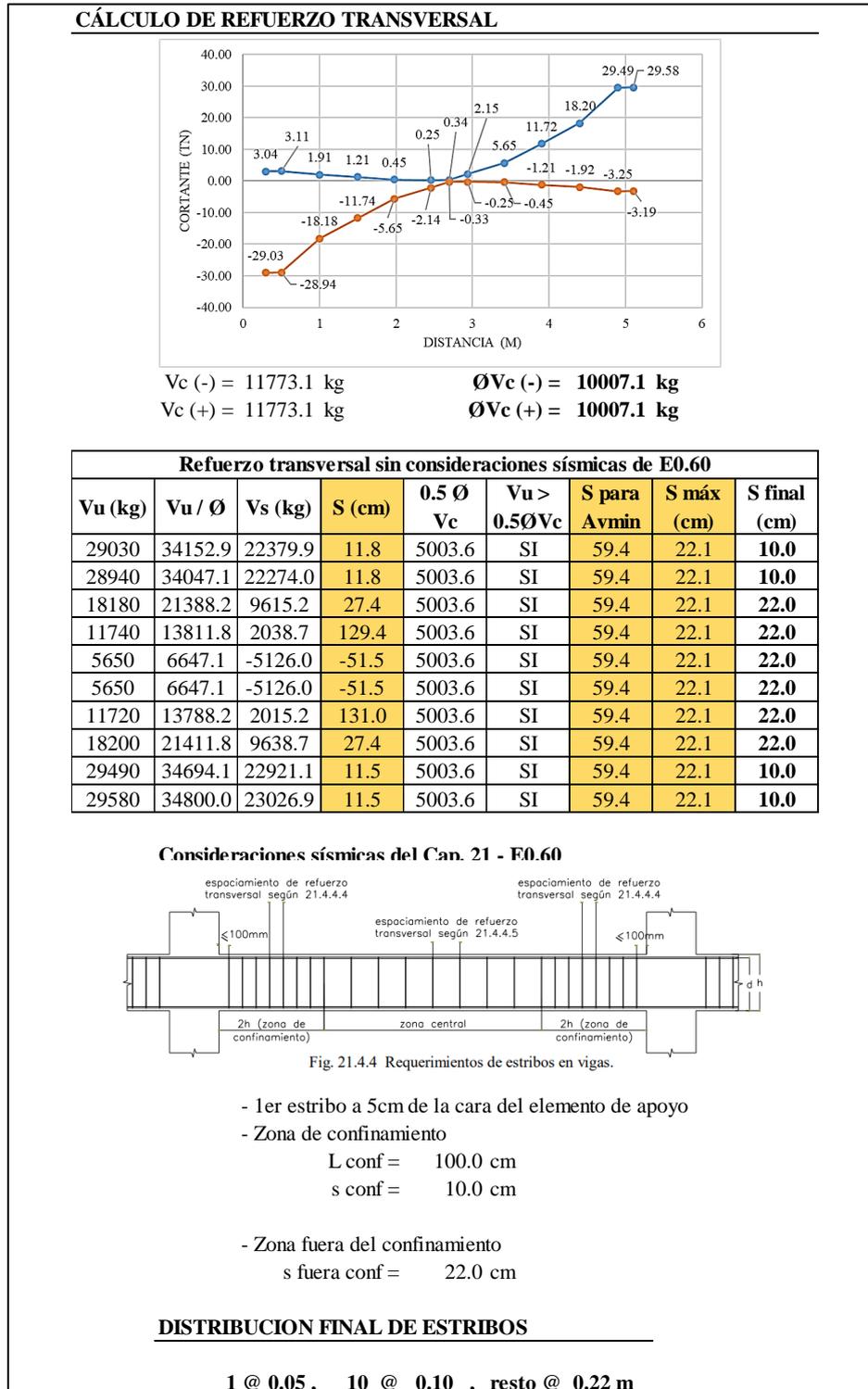


Figura 114: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 8 pisos con aisladores.

Finalmente, se presenta el detalle del acero de refuerzo de la viga del vano central del eje 2 en la dirección X-X, en estructura de 8 pisos con aisladores como se muestra en la Figura 115.

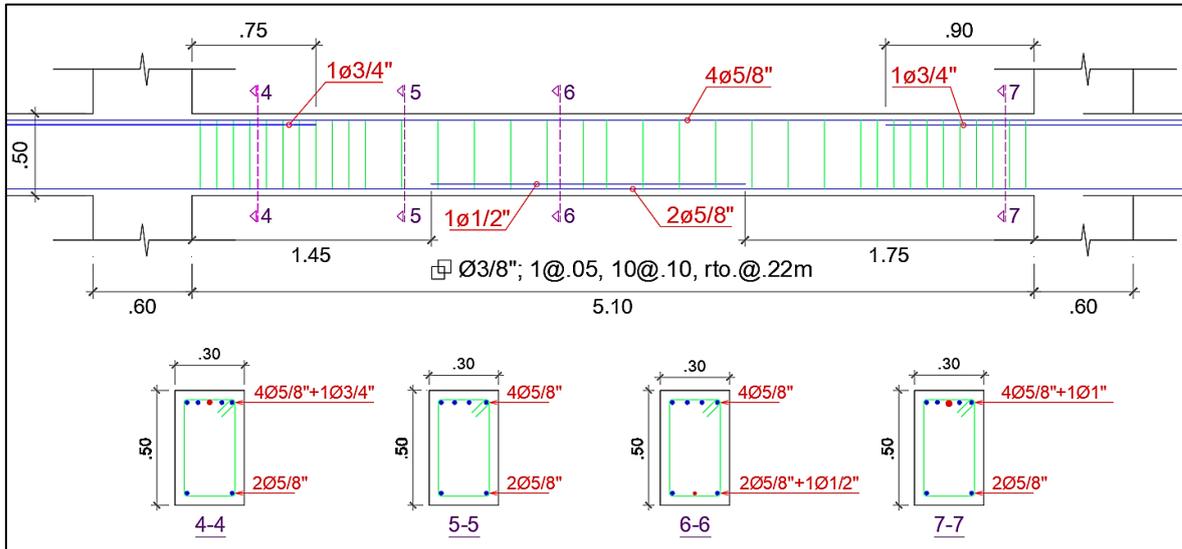


Figura 115: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 8 pisos con aisladores.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Para el diseño de las vigas por flexión en la estructura de 16 pisos con aisladores, se seleccionaron los ejes más solicitados en ambas direcciones del análisis, a modo de ejemplo la Figura 116 muestra las vigas de la superestructura seleccionadas en la dirección X-X, que pertenecen al primer y tercer nivel del eje 1.



Figura 116: Envoltura de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 16 pisos con aisladores.

A continuación; para el diseño a flexión y cortante de las vigas seleccionadas, se consideran los datos iniciales como muestra en la Tabla N° 120, dicho cuadro hace referencia a la viga del vano central, seleccionado previamente.

Tabla 120:
Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 16 pisos con aisladores.

DATOS INICIALES		
db long =	3/4" – 1"	pulg.
Ab long =	2.84 – 5.06	cm ²
d estribo =	3/8	pulg.
Ab estribo =	0.71	cm ²
b =	30	cm
h =	50	cm
recubrimiento =	4	cm
β =	0.85	
f'c =	280	kg/cm ²
fy =	4200	kg/cm ²
d (+) =	44.10	cm
d (-) =	42.14	cm

Con dichos valores se procede a realizar el diseño del acero longitudinal a flexión de la viga seleccionada, el cual cuenta con 3Ø3/4”+2Ø1” en la parte superior y 3Ø3/4”+1Ø1” en la parte inferior de la sección en las extremas del elemento y en la zona central se cuenta con 3Ø3/4”. Dicho diseño se realiza más eficientemente con la ayuda de la siguiente plantilla presentada en la Figura 117, en la cual se muestra el acero requerido por flexión con la curva de color ploma, el acero de refuerzo longitudinal que se encuentra en lo largo de todo el elemento con la recta de color verde y finalmente el acero adicional de color rojo para cubrir los esfuerzos en las zonas de momento negativo y momento positivo.

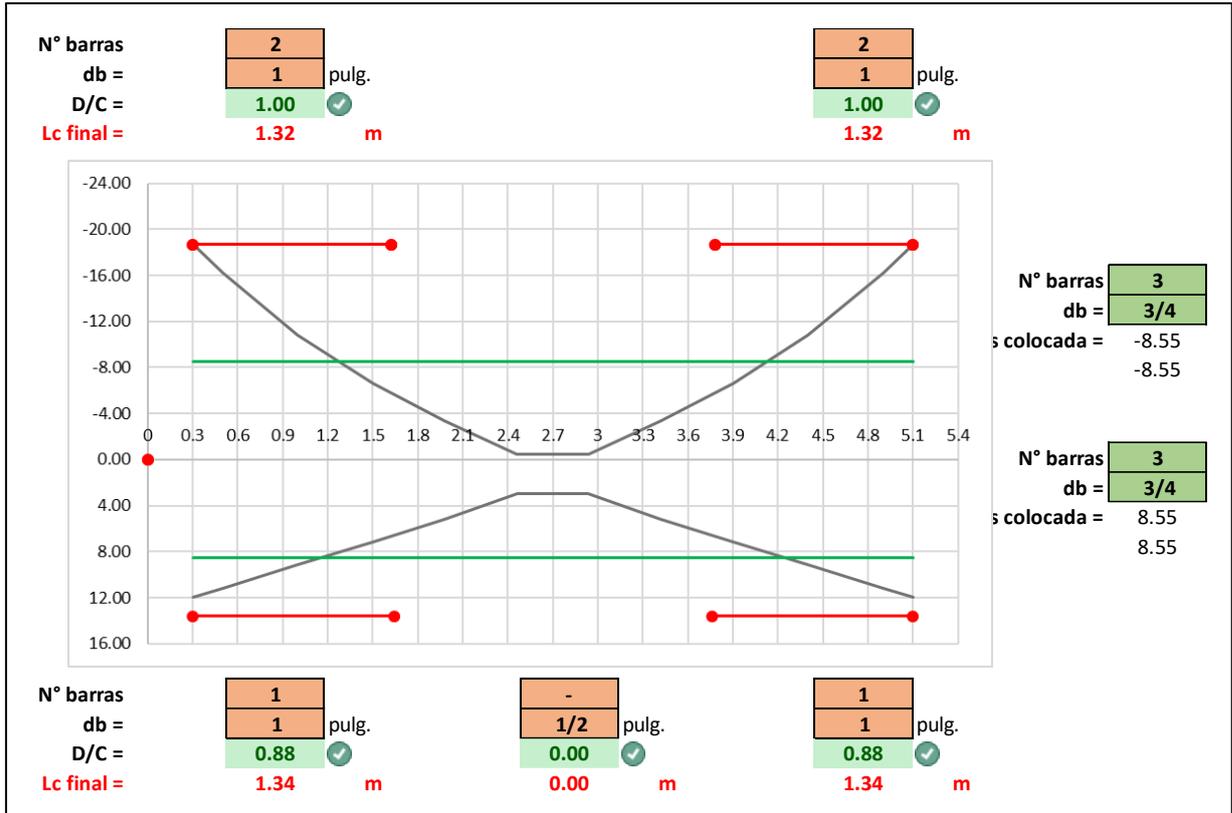
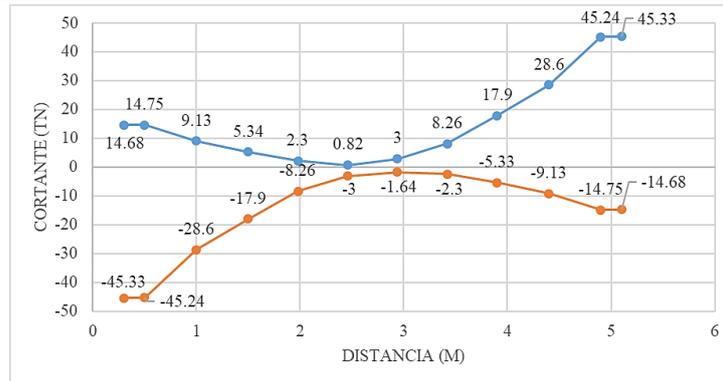


Figura 117: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 1 en estructura de 16 pisos con aisladores.

Ahora bien, para el diseño del refuerzo transversal de la viga mencionada anteriormente, se obtienen los esfuerzos cortantes con el software ETABS, estas solicitaciones generan estribos distribuidos a cada 5 cm. en los primeros 25 cm., cada 8 cm. en los siguientes 25 cm., cada 10 cm. en los siguientes 50 cm. y cada 22 cm. en el resto del elemento; asimismo, siguiendo los lineamientos del Capítulo 21 de la NTE E0.60, la distribución final del refuerzo transversal de la viga seleccionada es 5@0.05, 4@0.08, 5@0.10, resto@0.22m., como se muestra en la Figura 118.

CÁLCULO DE REFUERZO TRANSVERSAL



Vc (-) = 11773.1 kg ØVc (-) = 10007.1 kg
 Vc (+) = 11773.1 kg ØVc (+) = 10007.1 kg

Refuerzo transversal sin consideraciones sísmicas de E0.60								
Vu (kg)	Vu / Ø	Vs (kg)	S (cm)	0.5 Ø Vc	Vu > 0.5ØVc	S para Avmin	S máx (cm)	S final (cm)
45240	53223.5	41450.5	6.4	5003.6	SI	59.4	22.1	5.0
36920	43435.3	31662.2	8.3	5003.6	SI	59.4	22.1	8.0
28600	33647.1	21874.0	12.1	5003.6	SI	59.4	22.1	10.0
17900	21058.8	9285.8	28.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
8260	9717.6	-2055.4	-128.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
3000	3529.4	-8243.6	-32.0	5003.6	NO	59.4	22.1	22.0
3000	3529.4	-8243.6	-32.0	5003.6	NO	59.4	22.1	22.0
8260	9717.6	-2055.4	-128.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
17900	21058.8	9285.8	28.4	5003.6	SI	59.4	22.1	22.0
28600	33647.1	21874.0	12.1	5003.6	SI	59.4	22.1	10.0
36920	43435.3	31662.2	8.3	5003.6	SI	59.4	22.1	8.0
45240	53223.5	41450.5	6.4	5003.6	SI	59.4	22.1	5.0

Consideraciones sísmicas del Can. 21 - E0.60

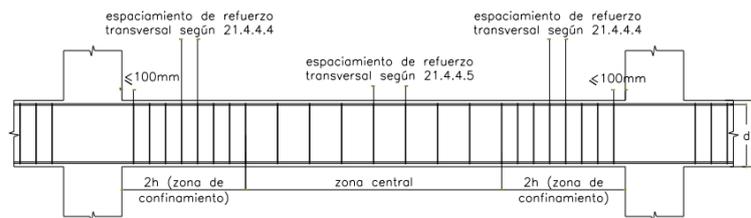


Fig. 21.4.4 Requerimientos de estribos en vigas.

- 1er estribo a 5cm de la cara del elemento de apoyo
- Zona de confinamiento
 - L conf = 100.0 cm
 - s conf = 10.0 cm
- Zona fuera del confinamiento
 - s fuera conf = 22.0 cm

DISTRIBUCION FINAL DE ESTRIBOS

5 @ 0.05 , 4 @ 0.08 , 5 @ 0.10 , resto @ 0.22 m

Figura 118: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 16 pisos con aisladores.

Finalmente, se presenta el detalle del acero de refuerzo de la viga del vano central del eje 1 en la dirección X-X, en estructura de 16 pisos con aisladores como se muestra en la Figura 119.

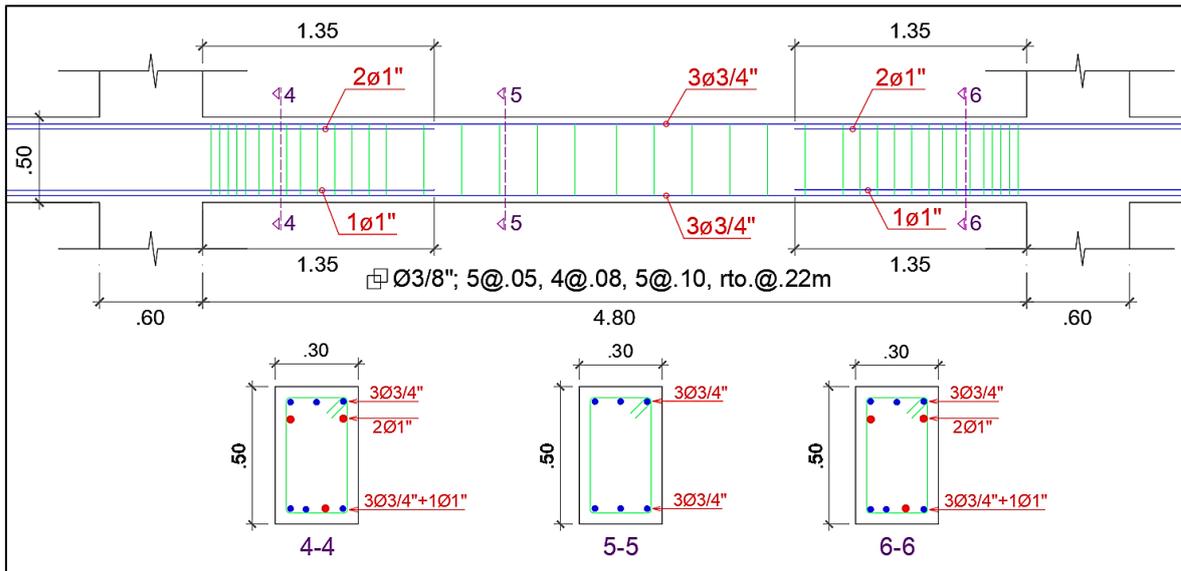


Figura 119: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 16 pisos con aisladores.

3.9.2. Diseño de concreto armado en estructuras con disipadores

3.9.2.1. Diseño de columnas

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Para el diseño de columnas por flexo-compresión de la estructura de 4 pisos con disipadores, se seleccionó la columna más esforzada ante momento flector y fuerza cortante, como se muestra en la Figura 120.

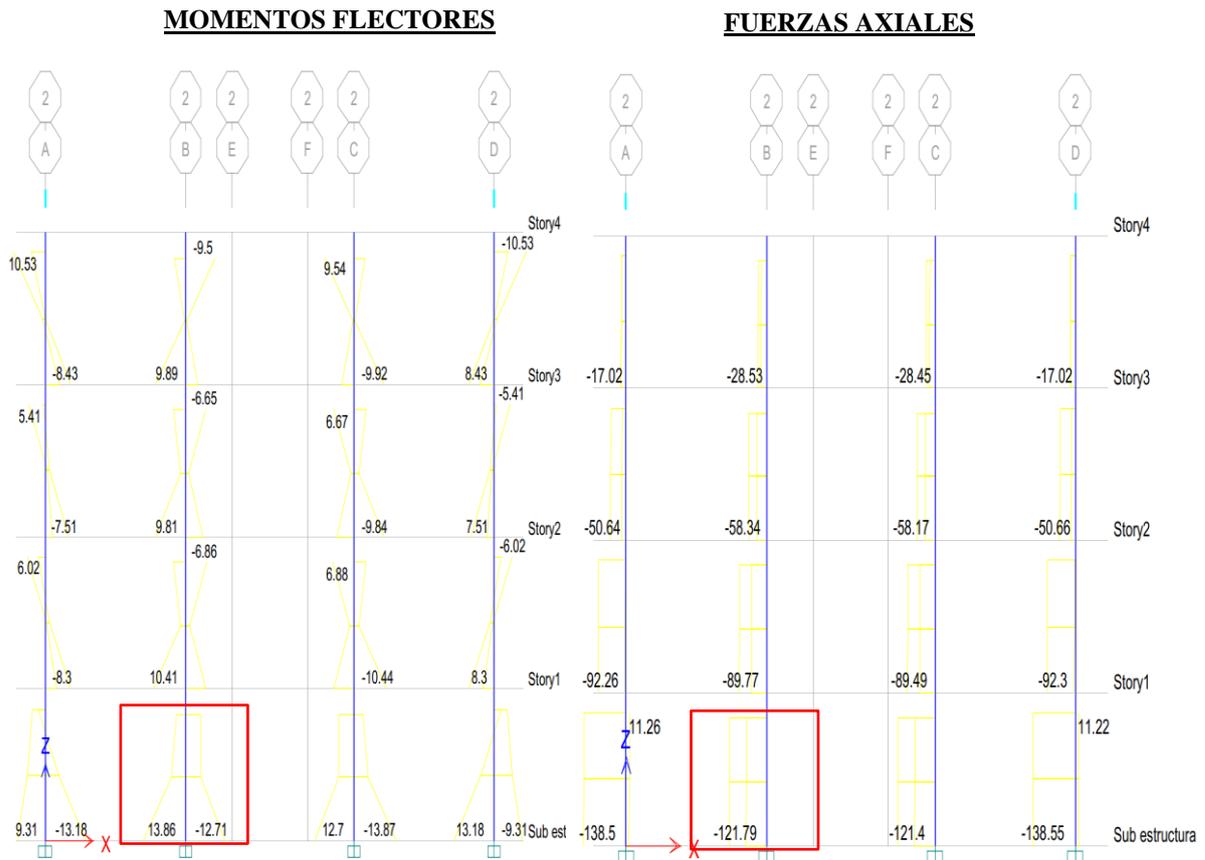


Figura 120: Momentos y axiales de columna más esforzada en estructura de 4 pisos con disipadores

A continuación se presenta los cálculos mencionados en los procedimientos y bases teóricas de la presente investigación, a modo de ejemplo la Figura 121 y Figura 122, muestran el diagrama de interacción de la sección de columna C1 en la dirección M3 y M2, respectivamente. En las figuras mencionadas se presenta el diagrama de intracción reducido (curva azul y naranja) y las solicitaciones de las combinaciones de cargas que soporta el elemento (puntos verdes), dicho diagrama de interacción se construye a partir de la distribución de acero longitudinal, en este caso se colocaron 12Ø5/8” en toda la sección, con la intención que las solicitaciones se encuentren dentro del diagrama reducido.

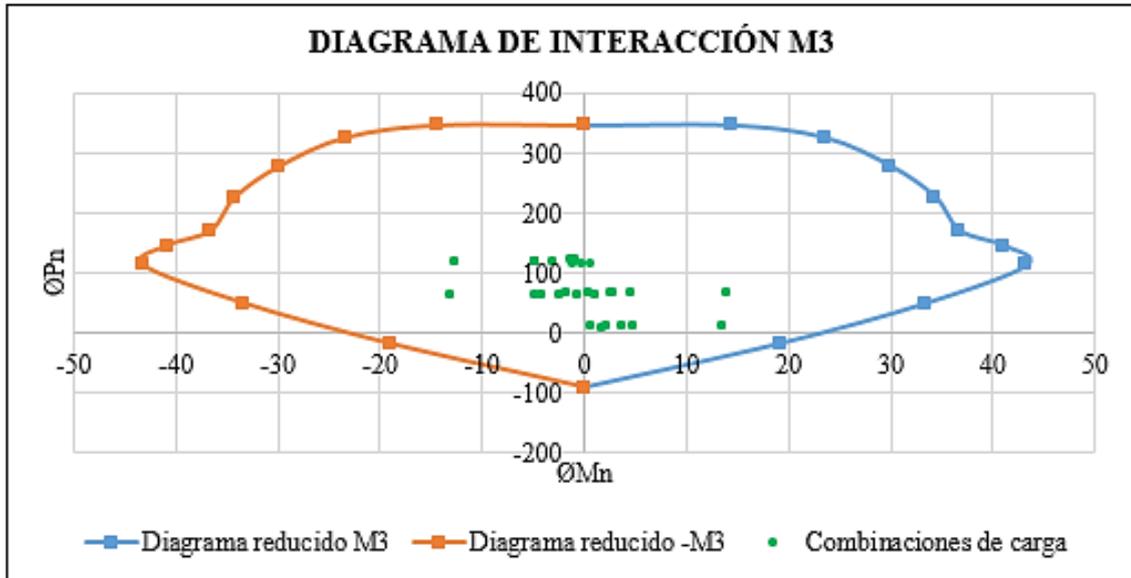


Figura 121: Diagrama de interacción M3, de columna C1 en estructura de 4 pisos con disipadores.

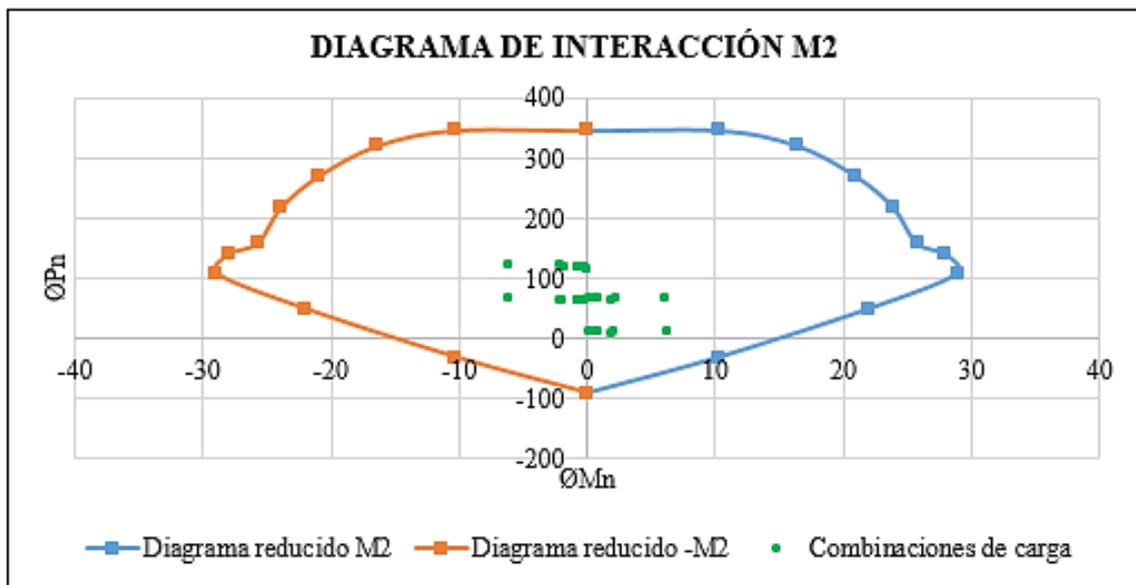


Figura 122: Diagrama de interacción M2, de columna C1 en estructura de 4 pisos con disipadores.

Ahora bien, respecto al diseño por cortante, se considera estribos con diámetro de $\varnothing 3/8''$, con ganchos sísmicos doblados a 135° y ganchos suplementarios para controlar los esfuerzos cortantes. La Figura 123, muestra la plantilla de diseño de acero transversal de la sección de columna C-1 la cual tiene una distribución de estribos de $1@.05$, $6@.10$, $rto.@.20$ m.

DISEÑO TRANSVERSAL	
DIRECCIÓN YY Nu = 121.794 ton Vu = 7.458 ton Mu = 13.860 ton.m f'c = 280 kg/cm ² fy = 4200 kg/cm ² b = 40 cm D = 60 cm db long = 5/8 pulg db trans = 3/8 pulg Ln = 2.65 m rec = 4 cm d = 55.2 cm	DIRECCIÓN XX Nu = 121.794 ton Vu = 3.233 ton Mu = 6.201 ton.m f'c = 280 kg/cm ² fy = 4200 kg/cm ² b = 60 cm D = 40 cm db long = 5/8 pulg db trans = 3/8 pulg Ln = 2.65 m rec = 4 cm d = 35.2 cm
Cálculo de la fuerza cortante en la columna Mn = 48.00 ton.m Vu = 36.23 ton Mn = 32.00 ton.m Vu = 24.15 ton	
Cálculo de la fuerza cortante máxima que puede resistir el concreto "Vc" $V_s = \phi V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{Nu}{140 * Ag} \right) * b_w * d$ ØVc = 22.7 ton ØVc = 21.7 ton ØVc > Vu ❌ ØVc > Vu ❌	
Cálculo del aporte de estribos Vs = 19.94 ton Vs = 6.72 ton $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$	
Cálculo de los estribos #ramas = 3 #ramas = 3 Av = 2.14 cm ² Av = 2.14 cm ² s req = 25 cm ² s req = 47 cm ² $S = A_v * f_y * \frac{d}{V_s}$	
Dentro de zona de confinamiento Lo = 60.00 cm Lo = 60.00 cm s req = 25 cm s req = 47 cm So = 10 cm So = 10 cm	
Fuera de zona de confinamiento S1 = 25 cm S1 = 25 cm S2 = 30 cm S2 = 30 cm S3 = 30 cm S3 = 20 cm S req = 25 cm S req = 47 cm S = 25 cm S = 20 cm	

Figura 123: Plantilla de diseño transversal de columna C-1 en estructura de 4 pisos con disipadores.

Finalmente, se presenta el detalle de la columna C1 diseñada para la estructura de 4 pisos con disipadores, como se muestra en la Figura 124.



Figura 124: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 4 pisos con disipadores.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Para el diseño de columnas por flexo-compresión de la estructura de 8 pisos con disipadores, se seleccionó la columna más esforzada ante momento flector y fuerza cortante, como se muestra en la Figura 125.



Figura 125: Momentos y axiales de columna más esforzada en estructura de 8 pisos con disipadores

A continuación se presenta los cálculos mencionados en los procedimientos y bases teóricas de la presente investigación, a modo de ejemplo la Figura 126 y Figura 127, muestran el diagrama de interacción de la sección de columna C1 en la dirección M3 y M2, respectivamente. En las figuras mencionadas se presenta el diagrama de intracción reducido (curva azul y naranja) y las solicitaciones de las combinaciones de cargas que soporta el elemento (puntos verdes), dicho diagrama

de interacción se construye a partir de la distribución de acero longitudinal, en este caso se colocaron $16\text{Ø}3/4''$ en toda la sección, con la intención que las solicitaciones se encuentren dentro del diagrama reducido.

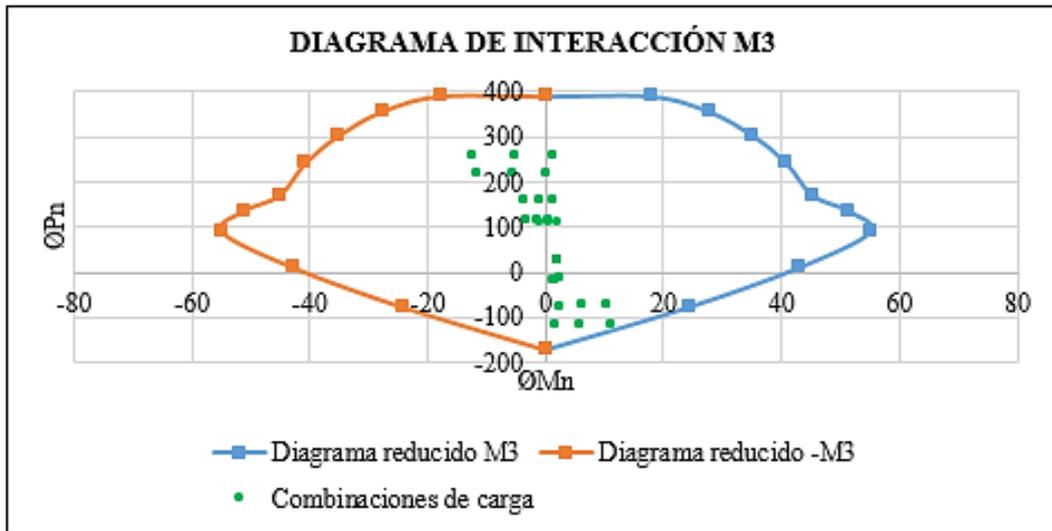


Figura 126: Diagrama de interacción M3, de columna C1 en estructura de 8 pisos con disipadores.

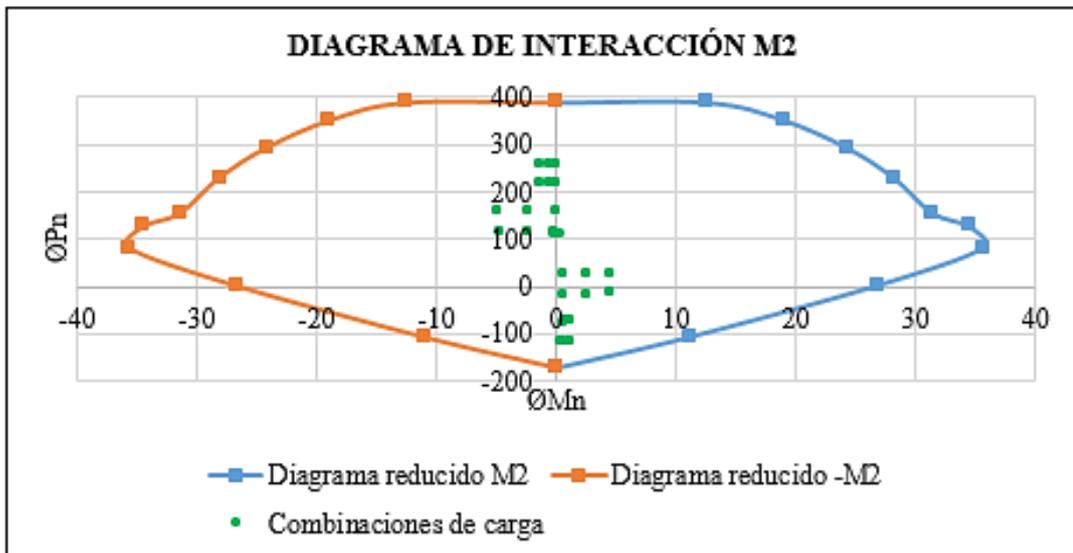


Figura 127: Diagrama de interacción M2, de columna C1 en estructura de 8 pisos con disipadores.

Ahora bien, respecto al diseño por cortante, se considera estribos con diámetro de $\text{Ø}3/8''$, con ganchos sísmicos doblados a 135° y ganchos suplementarios para controlar los esfuerzos cortantes. La Figura 128, muestra la plantilla de diseño

de acero transversal de la sección de columna C-1 la cual tiene una distribución de estribos de 1@.05, 6@.10, rto.@.20 m.

DISEÑO TRANSVERSAL		
DIRECCIÓN YY	DIRECCIÓN XX	
Nu = 261.488 ton	Nu = 261.488 ton	
Vu = 5.309 ton	Vu = 1.907 ton	
Mu = 12.289 ton.m	Mu = 4.846 ton.m	
f'c = 280 kg/cm ²	f'c = 280 kg/cm ²	
fy = 4200 kg/cm ²	fy = 4200 kg/cm ²	
b = 40 cm	b = 60 cm	
D = 60 cm	D = 40 cm	
db long = 3/4 pulg	db long = 3/4 pulg	
db trans = 3/8 pulg	db trans = 3/8 pulg	
Ln = 2.65 m	Ln = 2.65 m	
rec = 4 cm	rec = 4 cm	
d = 55.0 cm	d = 35.0 cm	
Cálculo de la fuerza cortante en la columna		
Mn = 70.00 ton.m	Mn = 48.00 ton.m	
Vu = 52.83 ton	Vu = 36.23 ton	
Cálculo de la fuerza cortante máxima que puede resistir el concreto "Vc"		
$V_s = \phi V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{Nu}{140 * Ag} \right) * b_w * d$		
ØVc = 29.5 ton	ØVc = 28.2 ton	
ØVc > Vu ❌	ØVc > Vu ❌	
Cálculo del aporte de estribos		
Vs = 32.64 ton	$V_s = \frac{Vu}{\phi} - V_c$	Vs = 14.43 ton
Cálculo de los estribos		
#ramas = 4	$S = A_v * f_y * \frac{d}{V_s}$	#ramas = 3
Av = 2.85 cm ²		Av = 2.14 cm ²
s req = 20 cm ²		s req = 22 cm ²
Dentro de zona de confinamiento		
Lo = 60.00 cm		Lo = 60.00 cm
s req = 20 cm		s req = 22 cm
So = 10 cm		So = 10 cm
Fuera de zona de confinamiento		
S1 = 30 cm		S1 = 30 cm
S2 = 30 cm		S2 = 30 cm
S3 = 30 cm		S3 = 20 cm
S req = 20 cm		S req = 22 cm
S = 20 cm		S = 20 cm

Figura 128: Plantilla de diseño transversal de columna C-1 en estructura de 8 pisos con disipadores.

Finalmente, se presenta los detalles de las columnas diseñadas para la estructura de 8 pisos con disipadores, como se muestra en la Figura 129.

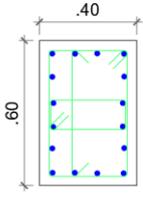
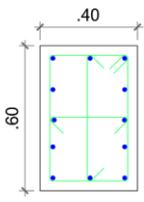
CUADRO DE COLUMNAS		
SECCIÓN	C - 1	C - 2
TIPO		
REFUERZO	16 Ø 3/4" Ø 3/8"	12 Ø 5/8" Ø 3/8"
ESTRIBOS	1@.05, 6@.10, rto@.20m	1@.05, 6@.10, rto@.15m

Figura 129: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 8 pisos con disipadores.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Para el diseño de columnas y pedestales por flexo-compresión de la estructura de 16 pisos con disipadores, se seleccionaron las columnas más esforzadas como se muestra en la Figura 130.

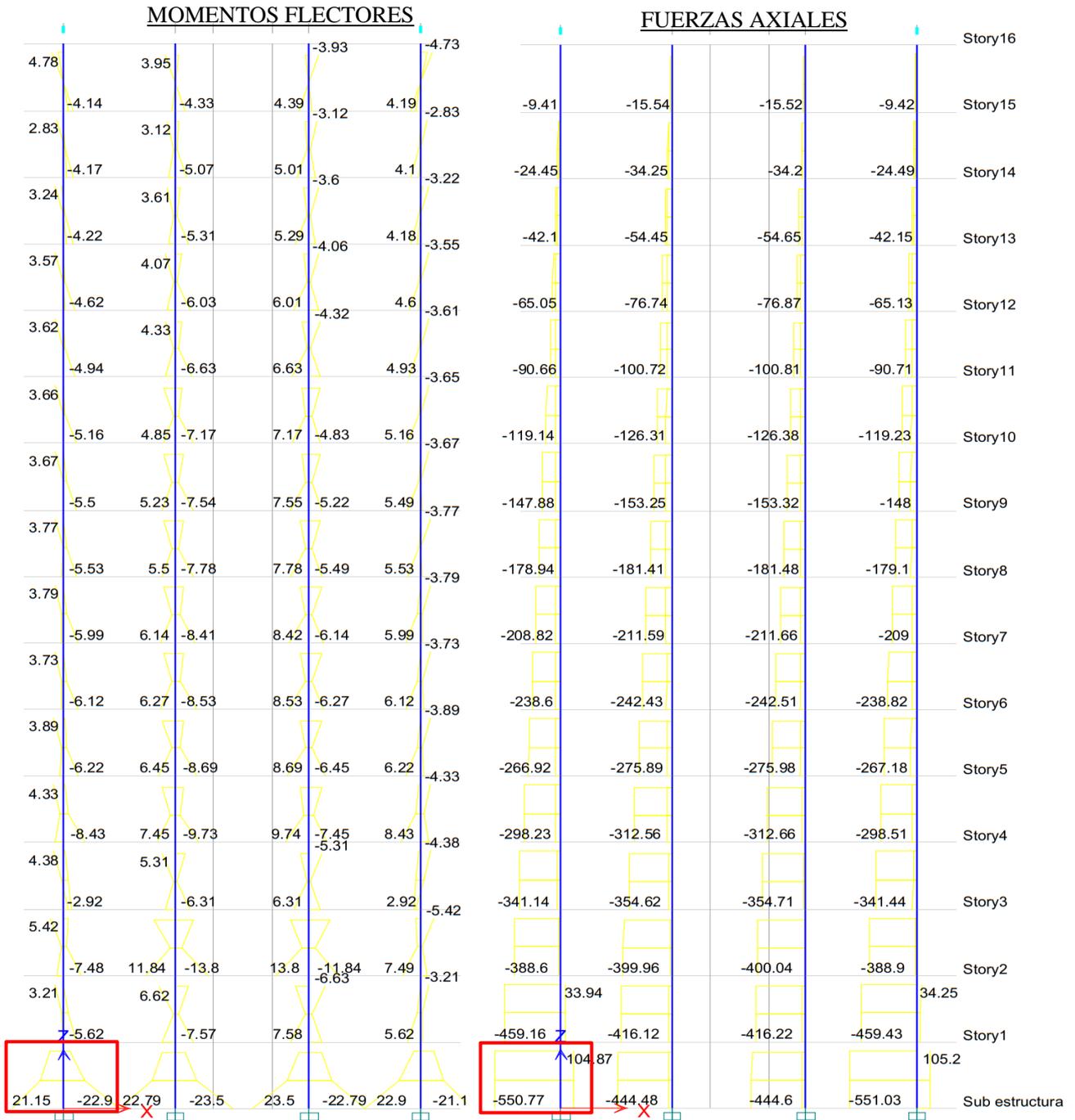


Figura 130: Momentos y axiales de columna más esforzada en estructura de 16 pisos con disipadores.

La Figura 131 y Figura 132, muestran el diagrama de interacción de la sección de columna C1 en la dirección M3 y M2, respectivamente. En las figuras mencionadas se presenta el digrama de intracción reducido (curva azul y naranja) y las solicitaciones de las combinaciones de cargas que soporta el elemento (puntos verdes), dicho diagrama de interacción se construye a partir de la distribución de

acero longitudinal, en este caso se colocaron $4\varnothing 1''$ en las esquinas y $12\varnothing 3/4''$ en las caras de la sección, con la intención que las solicitaciones se encuentren dentro del diagrama reducido.

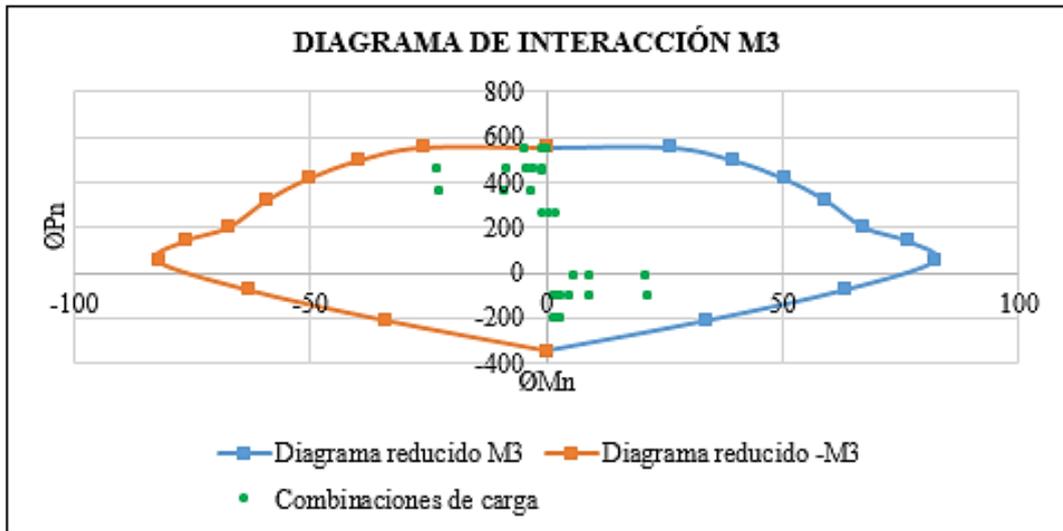


Figura 131: Diagrama de interacción M3, de columna C1 en estructura de 16 pisos con disipadores.

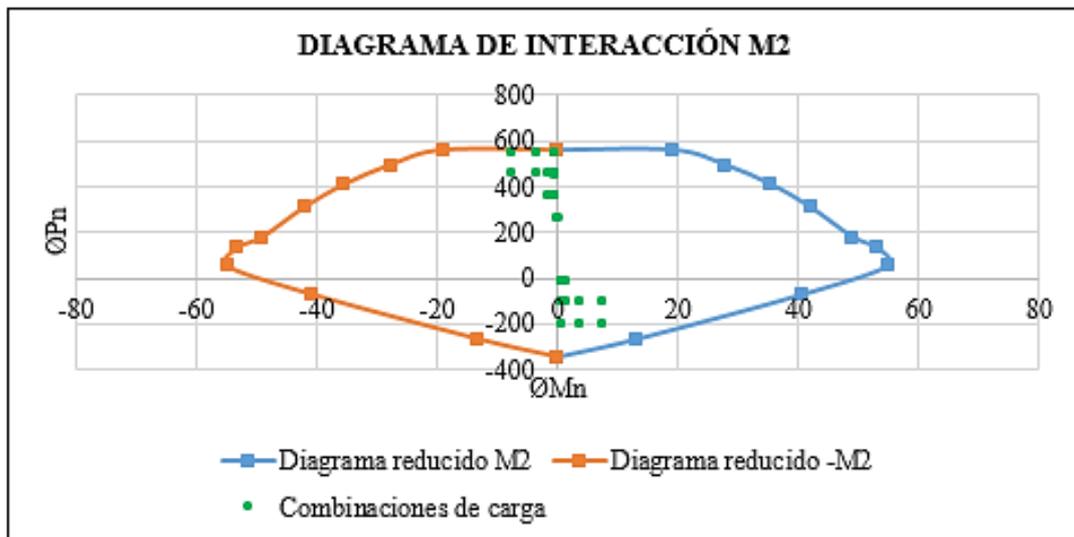


Figura 132: Diagrama de interacción M2, de columna C1 en estructura de 16 pisos con disipadores.

Ahora bien, respecto al diseño por cortante, se considera estribos con diámetro de $\varnothing 3/8''$, con ganchos sísmicos doblados a 135° y ganchos suplementarios para controlar los esfuerzos cortantes. La Figura 133, muestra la plantilla de diseño

de acero transversal de la sección de columna C-1 la cual tiene una distribución de estribos de 1@.05, 6@.10, rto.@.20 m.

DISEÑO TRANSVERSAL		
DIRECCIÓN YY	DIRECCIÓN XX	
Nu = 550.775 ton	Nu = 550.775 ton	
Vu = 10.978 ton	Vu = 3.167 ton	
Mu = 22.897 ton.m	Mu = 7.743 ton.m	
f'c = 280 kg/cm ²	f'c = 280 kg/cm ²	
fy = 4200 kg/cm ²	fy = 4200 kg/cm ²	
b = 40 cm	b = 60 cm	
D = 60 cm	D = 40 cm	
db long = 1 pulg	db long = 1 pulg	
db trans = 3/8 pulg	db trans = 3/8 pulg	
Ln = 2.65 m	Ln = 2.65 m	
rec = 4 cm	rec = 4 cm	
d = 54.7 cm	d = 34.7 cm	
Cálculo de la fuerza cortante en la columna		
Mn = 85.00 ton.m	Mn = 60.00 ton.m	
Vu = 64.15 ton	Vu = 45.28 ton	
Cálculo de la fuerza cortante máxima que puede resistir el concreto "Vc"		
$V_s = \phi V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{Nu}{140 * Ag}\right) * b_w * d$		
$\phi V_c = 43.6$ ton	$\phi V_c = 41.5$ ton	
$\phi V_c > Vu$ ✘	$\phi V_c > Vu$ ✘	
Cálculo del aporte de estribos		
Vs = 31.92 ton	$V_s = \frac{Vu}{\phi} - V_c$	Vs = 11.82 ton
Cálculo de los estribos		
#ramas = 4	$S = A_v * f_y * \frac{d}{V_s}$	#ramas = 3
Av = 2.85 cm ²		Av = 2.14 cm ²
s req = 21 cm ²		s req = 26 cm ²
Dentro de zona de confinamiento		
Lo = 60.00 cm		Lo = 60.00 cm
s req = 21 cm		s req = 26 cm
So = 10 cm		So = 10 cm
Fuera de zona de confinamiento		
S1 = 40 cm		S1 = 40 cm
S2 = 30 cm		S2 = 30 cm
S3 = 30 cm		S3 = 20 cm
S req = 21 cm		S req = 26 cm
S = 21 cm		S = 20 cm

Figura 133: Plantilla de diseño transversal de columna C-1 en estructura de 16 pisos con disipadores.

Finalmente, se presenta los detalles de las secciones de las columnas y pedestales diseñadas para la estructura de 16 pisos con disipadores, como se muestra en la Figura 134.

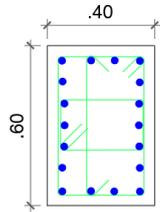
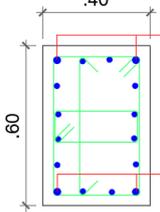
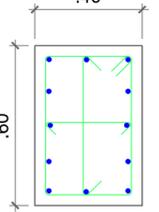
CUADRO DE COLUMNAS			
SECCIÓN	C - 1	C - 2	C - 3
TIPO			
REFUERZO	18 Ø 1" Ø 3/8"	4 Ø 1" + 12 Ø 3/4" Ø 3/8"	12 Ø 5/8" Ø 3/8"
ESTRIBOS	1@.05, 6@.10, rto@.20m	1@.05, 6@.10, rto@.20m	1@.05, 6@.10, rto@.20m

Figura 134: Detalle de acero de refuerzo en columnas de estructura de 16 pisos con disipadores.

3.9.2.2. Diseño de de vigas

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Para el diseño de las vigas por flexión en la estructura de 4 pisos con disipadores, se seleccionaron los ejes más solicitados en ambas direcciones del análisis, a modo de ejemplo la Figura 135 muestra las vigas de la superestructura seleccionadas en la dirección X-X, que pertenecen al primer y tercer nivel del eje 1.

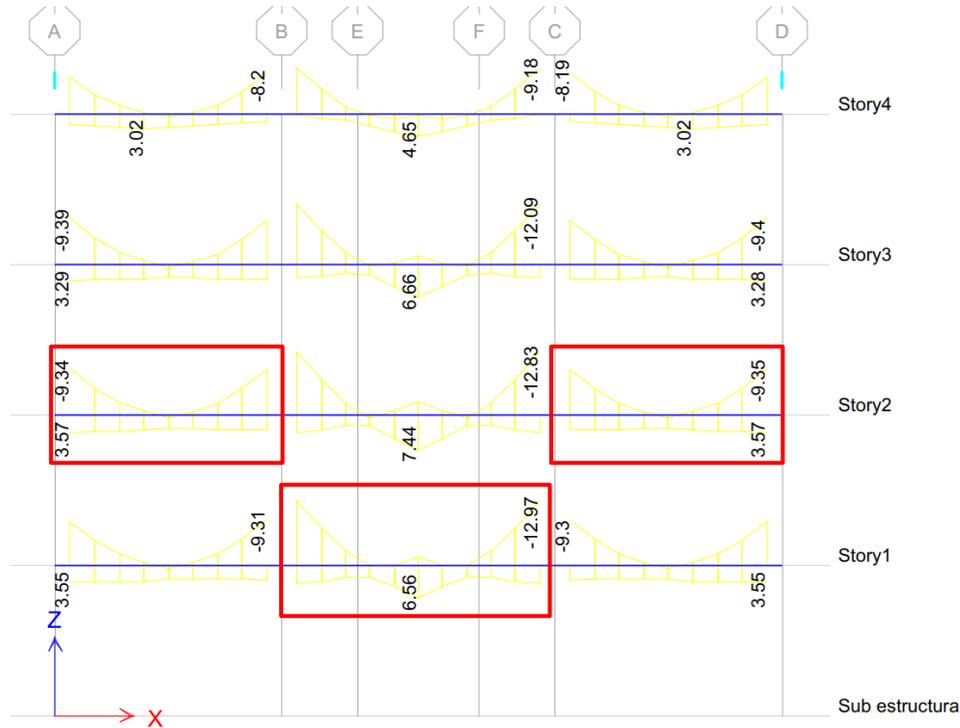


Figura 135: Envoltura de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 4 pisos con disipadores.

A continuación; para el diseño a flexión y cortante de las vigas seleccionadas, se consideran los datos iniciales como muestra en la Tabla N° 121, dicho cuadro hace referencia a la viga del vano central, seleccionado previamente.

Tabla 121:

Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.

DATOS INICIALES		
db long =	5/8" – 3/4"	pulg.
Ab long =	1.99 – 2.84	cm ²
d estribo =	3/8	pulg.
Ab estribo =	0.71	cm ²
b =	30	cm
h =	50	cm
recubrimiento =	4	cm
β =	0.85	
f'c =	280	kg/cm ²
fy =	4200	kg/cm ²
d (+) =	44.25	cm
d (-) =	44.25	cm

Con dichos valores se procede a realizar el diseño del acero longitudinal a

flexión de la viga seleccionada, el cual cuenta con 3Ø5/8" + 1Ø3/4" en la parte

superior y 2Ø5/8” en la parte inferior de la sección en los extremos del elemento y en la zona central se cuenta con 2Ø5/8”+1Ø1/2” en la parte inferior y 3Ø5/8” en la parte superior. Dicho diseño se realiza más eficientemente con la ayuda de la siguiente plantilla presentada en la Figura 136, en la cual se muestra el acero requerido por flexión con la curva de color ploma, el acero de refuerzo longitudinal que se encuentra en lo largo de todo el elemento con la recta de color verde y finalmente el acero adicional de color rojo para cubrir los esfuerzos en las zonas de momento negativo y momento positivo.

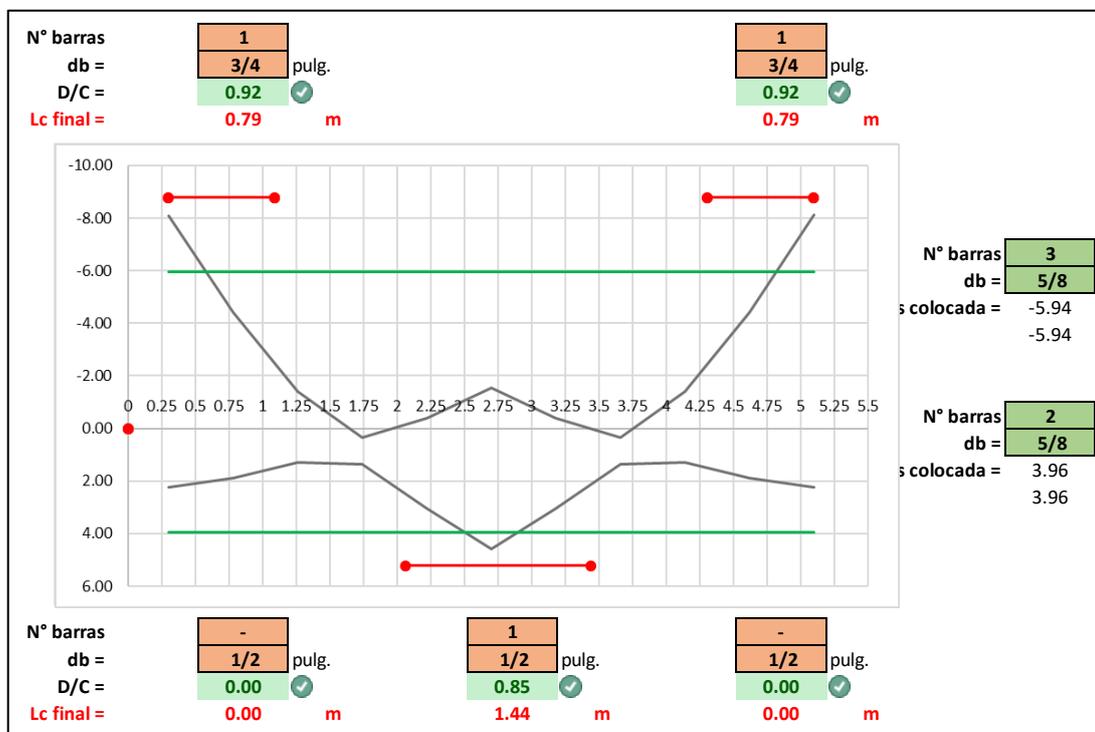


Figura 136: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.

Ahora bien, para el diseño del refuerzo transversal de la viga mencionada anteriormente, se obtienen los esfuerzos cortantes con el software ETABS, estas solicitaciones generan estribos distribuidos a cada 22 cm. en toda la longitud del elemento; sin embargo, siguiendo los lineamientos del Capítulo 21 de la NTE E0.60,

la distribución final del refuerzo transversal de la viga seleccionada es 1@0.05, 10@0.10, resto@0.22m., como se muestra en la Figura 137.

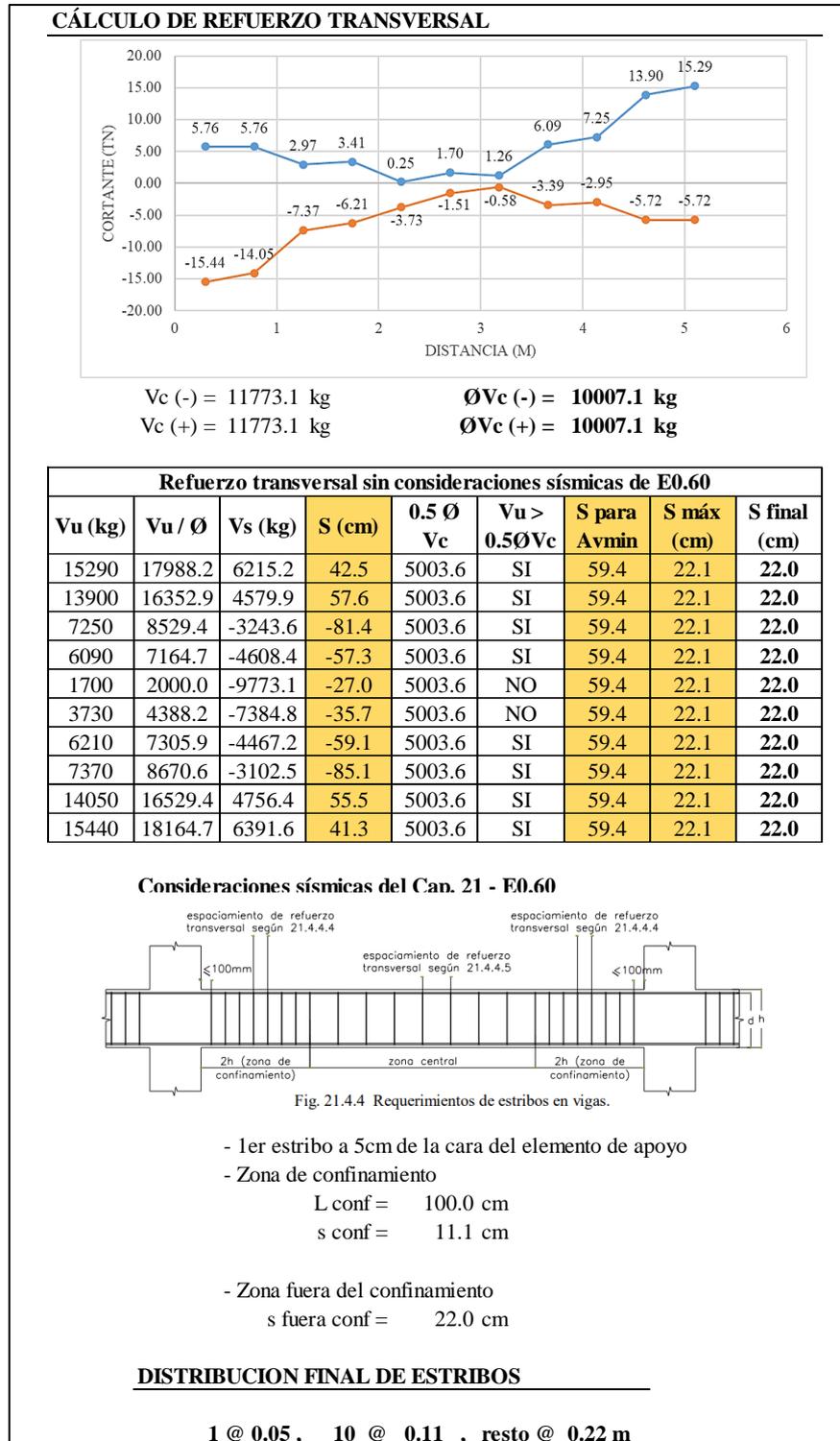


Figura 137: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 4 pisos con disipadores.

Finalmente, se presenta el detalle del acero de refuerzo de la viga del vano central del eje 1 en la dirección X-X, en estructura de 4 pisos con disipadores como se muestra en la Figura 138.

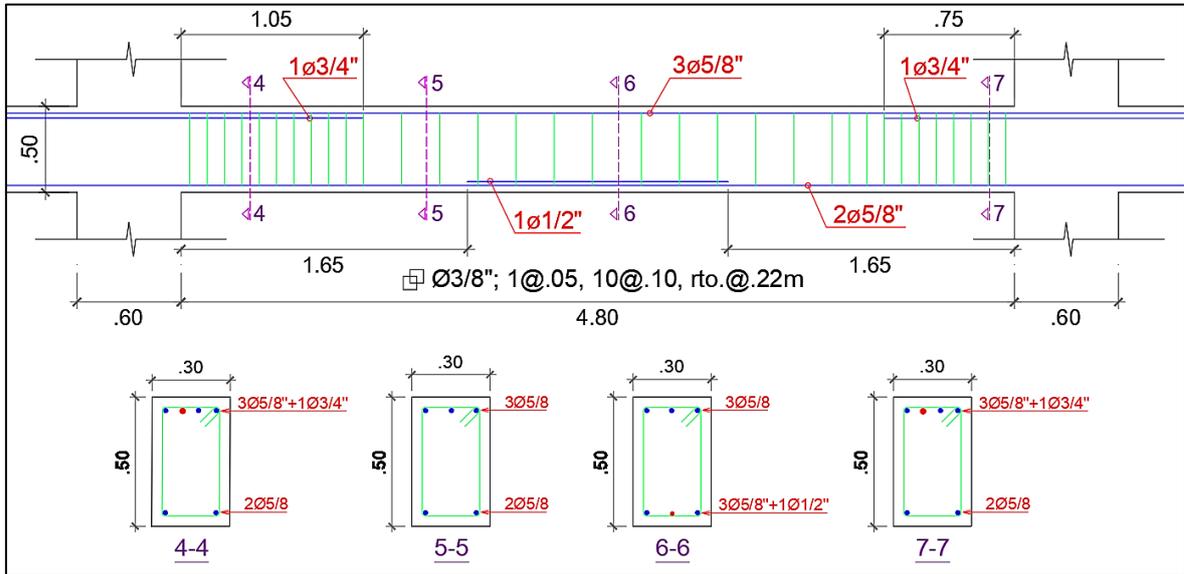


Figura 138: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 4 pisos con disipadores.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Para el diseño de las vigas por flexión en la estructura de 8 pisos con disipadores, se seleccionaron los ejes más solicitados en ambas direcciones del análisis, a modo de ejemplo la Figura 139 muestra las vigas de la superestructura seleccionadas en la dirección X-X, que pertenecen al primer y tercer nivel del eje 2.



Figura 139: Envolvente de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 8 pisos con disipadores.

A continuación; para el diseño a flexión y cortante de las vigas seleccionadas, se consideran los datos iniciales como muestra en la Tabla N° 122, dicho cuadro hace referencia a la viga del vano central, seleccionado previamente.

Tabla 122:
Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.

DATOS INICIALES		
db long =	5/8" – 3/4"	pulg.
Ab long =	1.99 – 2.84	cm ²
d estribo =	3/8	pulg.
Ab estribo =	0.71	cm ²
b =	30	cm

h =	50	cm
recubrimiento =	4	cm
β =	0.85	
f'c =	280	kg/cm ²
fy =	4200	kg/cm ²
d (+) =	44.10	cm
d (-) =	44.10	cm

Con dichos valores se procede a realizar el diseño del acero longitudinal a flexión de la viga seleccionada, el cual cuenta con 6Ø5/8” en la parte superior y 3Ø5/8”+1Ø1/2” en la parte inferior de la sección en el extremo izquierdo del elemento, 4Ø5/8”+2Ø3/4” en la parte superior y 3Ø5/8”+1Ø1/2” en la parte inferior de la sección en el extremo derecho del elemento y en la zona central se cuenta con 3Ø5/8” en la parte inferior y 4Ø5/8” en la parte superior. Dicho diseño se realiza más eficientemente con la ayuda de la siguiente plantilla presentada en la Figura 140.

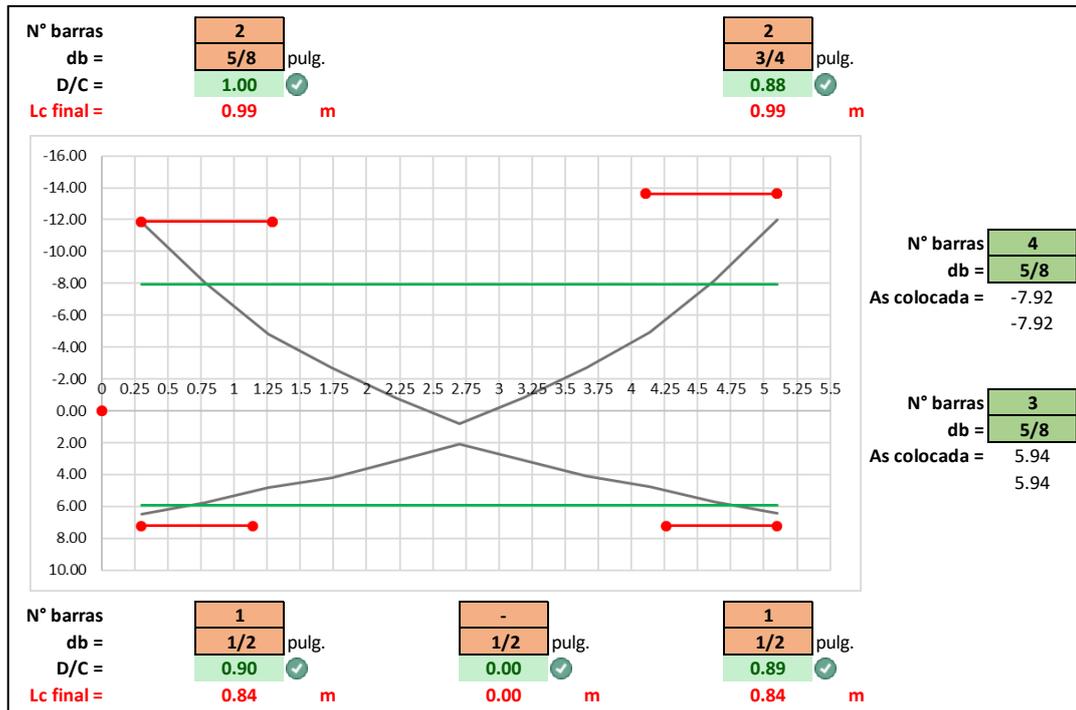


Figura 140: Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 2 en estructura de 8 pisos con disipadores.

Ahora bien, para el diseño del refuerzo transversal de la viga mencionada anteriormente, se obtienen los esfuerzos cortantes con el software ETABS, estas solicitaciones generan estribos distribuidos a cada 22 cm. en toda la longitud del

elemento; sin embargo, siguiendo los lineamientos del Capítulo 21 de la NTE E0.60, la distribución final del refuerzo transversal de la viga seleccionada es 1@0.05, 10@0.10, resto@0.22m., como se muestra en la Figura 141.

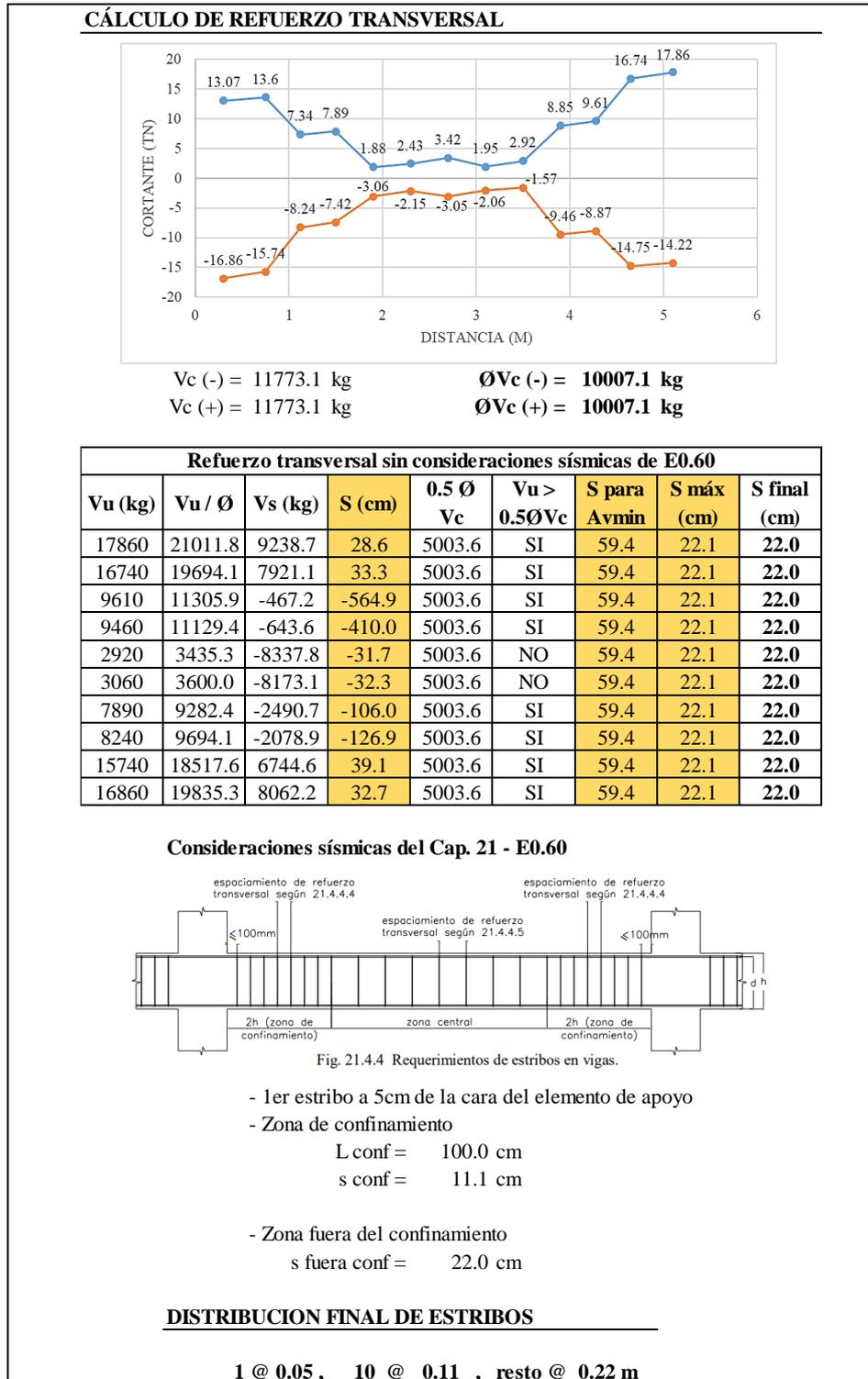


Figura 141: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 8 pisos con disipadores.

Finalmente, se presenta el detalle del acero de refuerzo de la viga del vano central del eje 2 en la dirección X-X, en estructura de 8 pisos con disipadores como se muestra en la Figura 142.

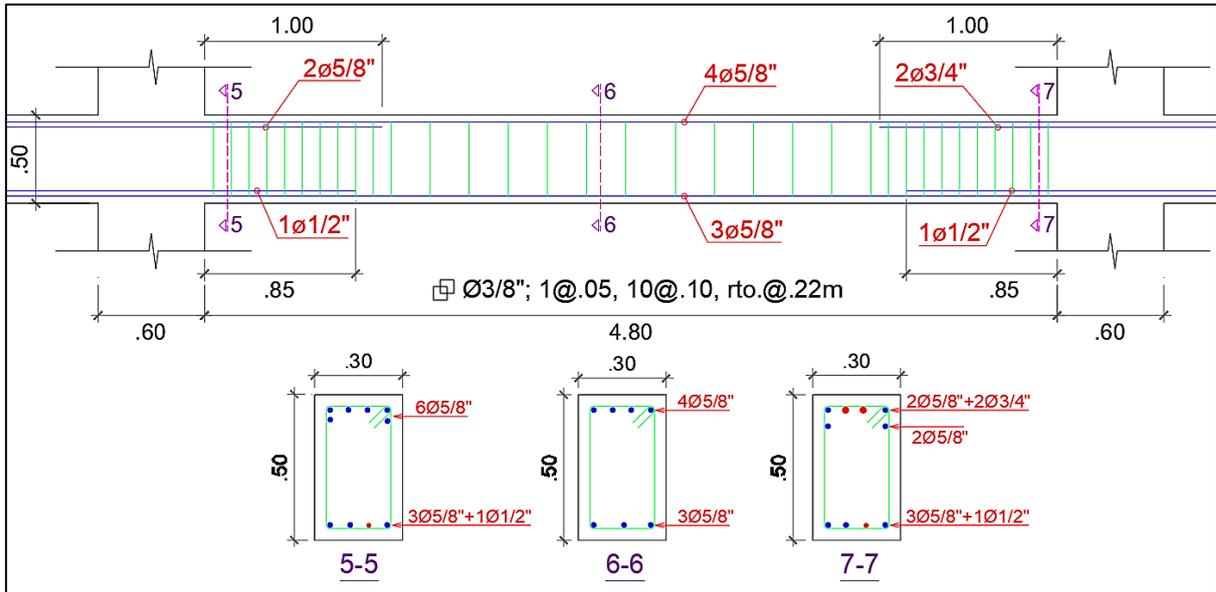


Figura 142: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 8 pisos con disipadores.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Para el diseño de las vigas por flexión en la estructura de 16 pisos con disipadores, se seleccionaron los ejes más solicitados en ambas direcciones del análisis, a modo de ejemplo la Figura 143 muestra las vigas de la superestructura seleccionadas en la dirección X-X, que pertenecen al primer y tercer nivel del eje 1.

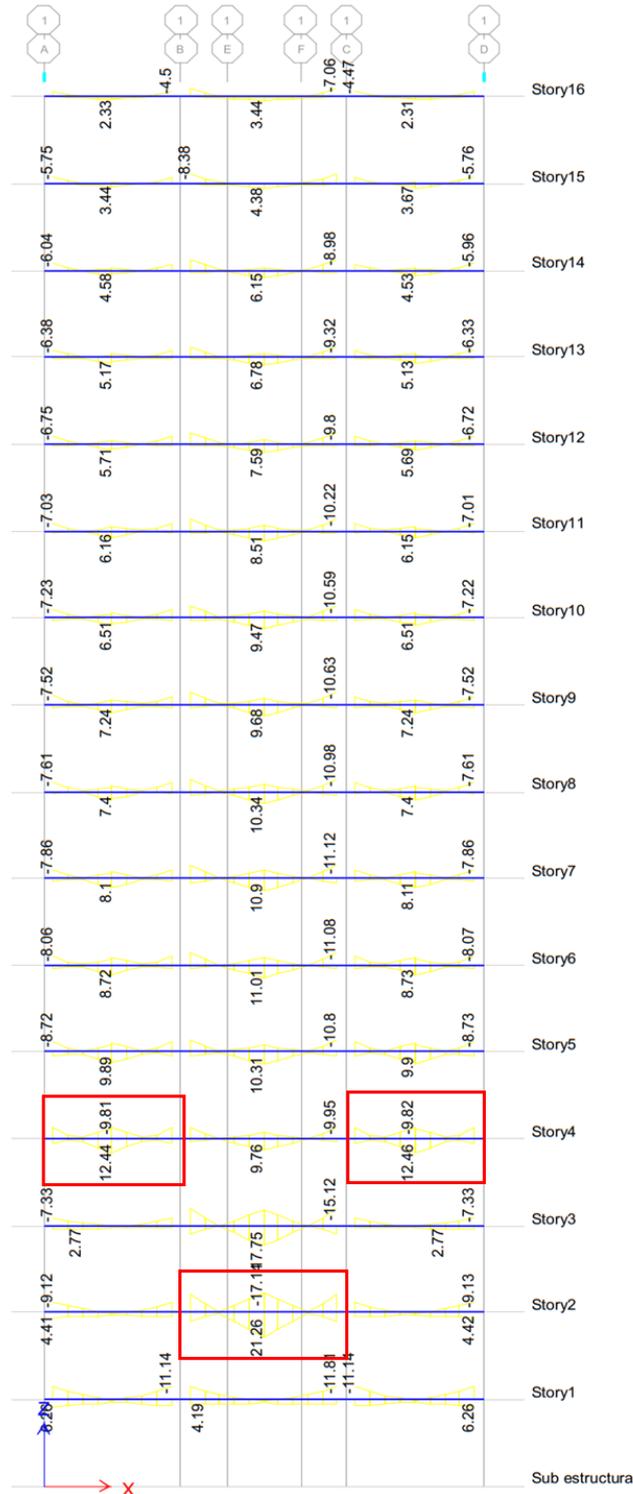


Figura 143: Envoltura de momentos de vigas más solicitadas en la dirección X-X, en estructura de 16 pisos con disipadores.

A continuación; para el diseño a flexión y cortante de las vigas seleccionadas, se consideran los datos iniciales como muestra en la Tabla N° 123, dicho cuadro hace referencia a la viga del vano central, seleccionado previamente.

Tabla 123:
Datos iniciales para el diseño de viga a flexión del eje 1 en estructura de 4 pisos con disipadores.

DATOS INICIALES		
db long =	5/8" – 3/4"	pulg.
Ab long =	1.99 – 2.84	cm ²
d estribo =	3/8	pulg.
Ab estribo =	0.71	cm ²
b =	30	cm
h =	50	cm
recubrimiento =	4	cm
β =	0.85	
f'c =	280	kg/cm ²
fy =	4200	kg/cm ²
d (+) =	44.10	cm
d (-) =	44.10	cm

Con dichos valores se procede a realizar el diseño del acero longitudinal a flexión de la viga seleccionada, el cual cuenta con 5Ø5/8" en la parte superior y 3Ø5/8" en la parte inferior de la sección en ambos extremos del elemento y en la zona central se cuenta con 3Ø5/8"+2Ø3/4" en la parte inferior y 5Ø5/8" en la parte superior. Dicho diseño se realiza más eficientemente con la ayuda de la siguiente plantilla presentada en la Figura 144.

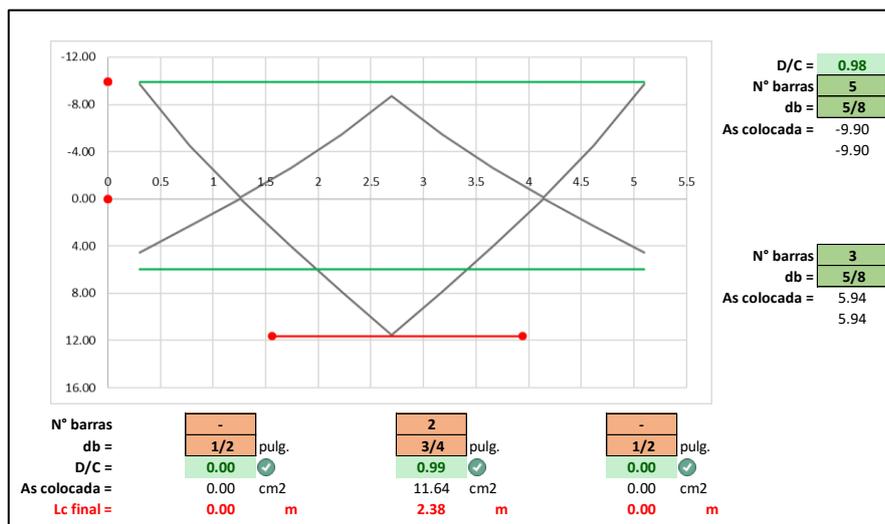


Figura 144: *Plantilla para el diseño del acero longitudinal de las vigas del eje 1 en estructura de 16 pisos con disipadores.*

Ahora bien, para el diseño del refuerzo transversal de la viga mencionada anteriormente, se obtienen los esfuerzos cortantes con el software ETABS, estas

solicitaciones generan estribos distribuidos a cada 22 cm. en toda la longitud del elemento; sin embargo, siguiendo los lineamientos del Capítulo 21 de la NTE E0.60, la distribución final del refuerzo transversal de la viga seleccionada es 1@0.05, 10@0.10, resto@0.22m., como se muestra en la Figura 145.

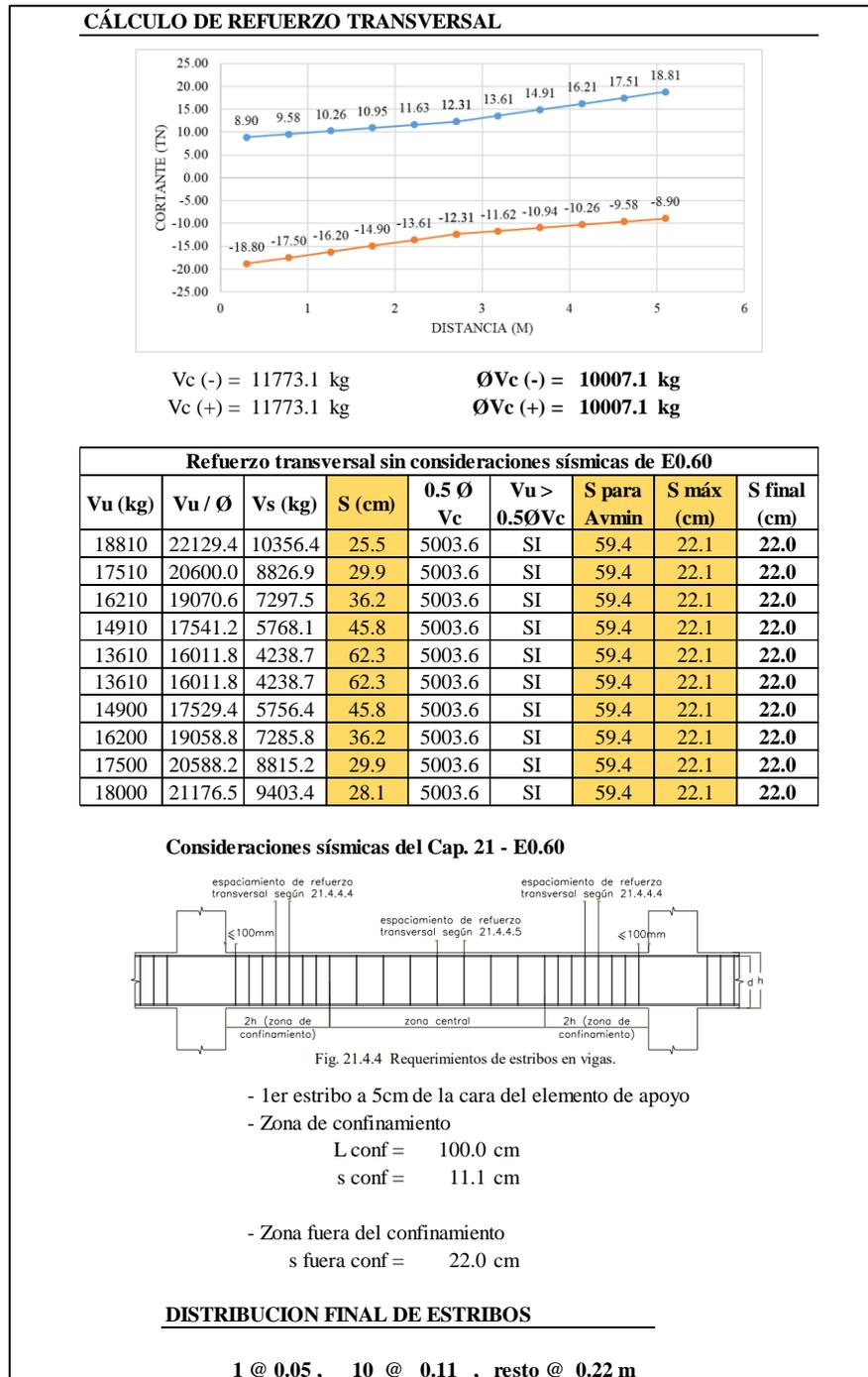


Figura 145: Plantilla de diseño por cortante de vigas en estructura de 16 pisos con disipadores.

Finalmente, se presenta el detalle del acero de refuerzo de la viga del vano central del eje 1 en la dirección X-X, en estructura de 16 pisos con disipadores como se muestra en la Figura 146.

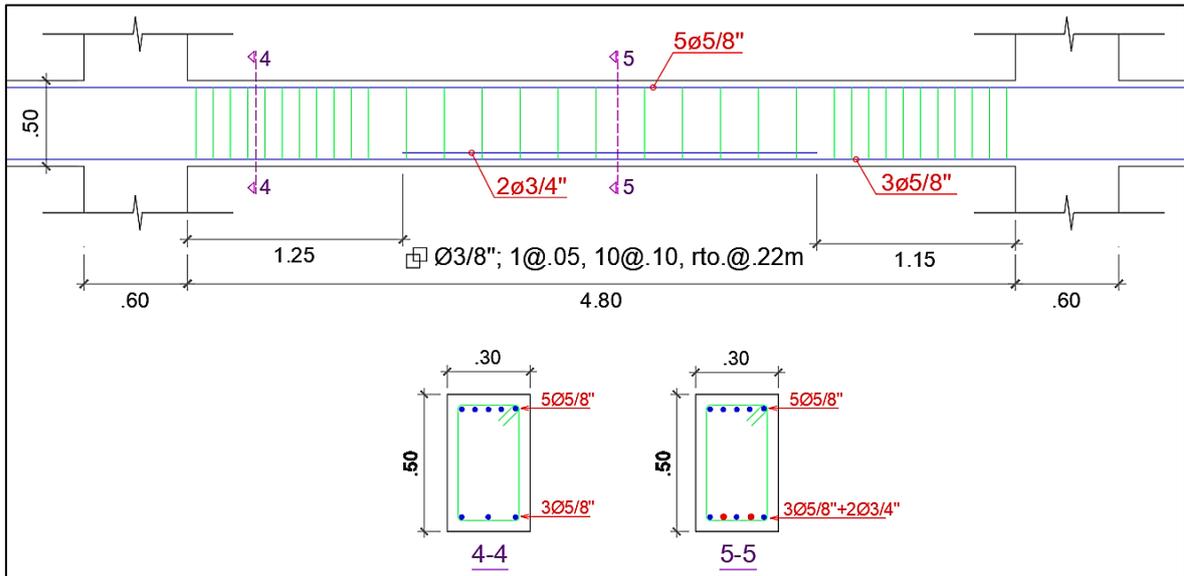


Figura 146: Detalle de acero de refuerzo de viga en la dirección X-X de estructura de 16 pisos con disipadores.

3.10. Análisis Estático No Lineal “Pushover”

3.10.1. Formación de rótulas plásticas

3.10.1.1. Formación de rótulas plásticas en estructura con aisladores

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Para esta edificación; como se observa en la Figura 147 y Figura 148, las rótulas plásticas de los elementos estructurales de la estructura aislada de 4 pisos, no incursionan en el rango inelástico, es decir las columnas y vigas tienen un comportamiento lineal y no fallarán con el acero propuesto en el diseño antes mencionado.

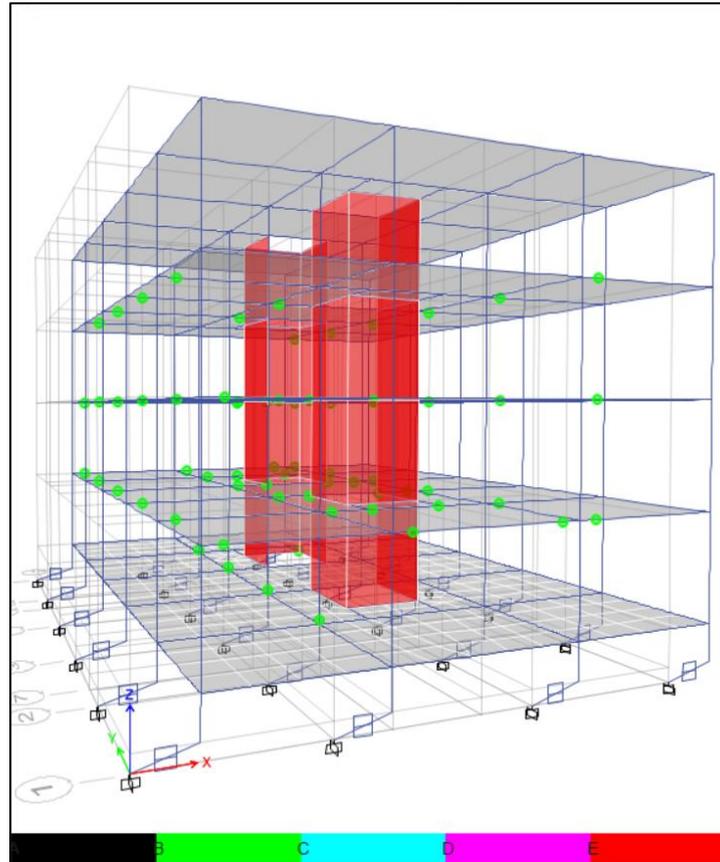


Figura 147: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura aislada de 4 pisos.

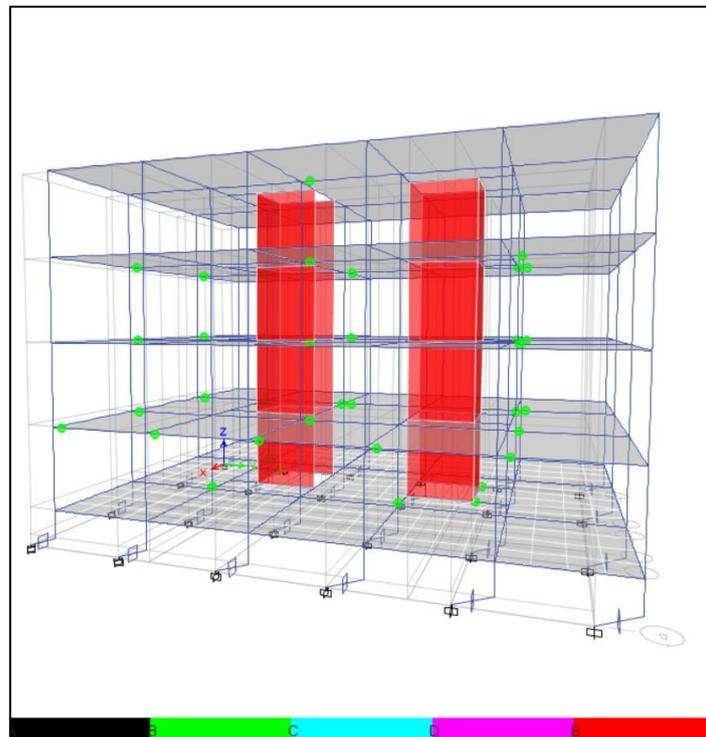


Figura 148: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura aislada de 4 pisos.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Para esta edificación; como se observa en la Figura 149 y Figura 150, las rótulas plásticas de los elementos estructurales de la estructura aislada de 8 pisos, no incursionan en el rango inelástico, es decir las columnas y vigas tienen un comportamiento lineal y no fallarán con el acero propuesto en el diseño antes mencionado.

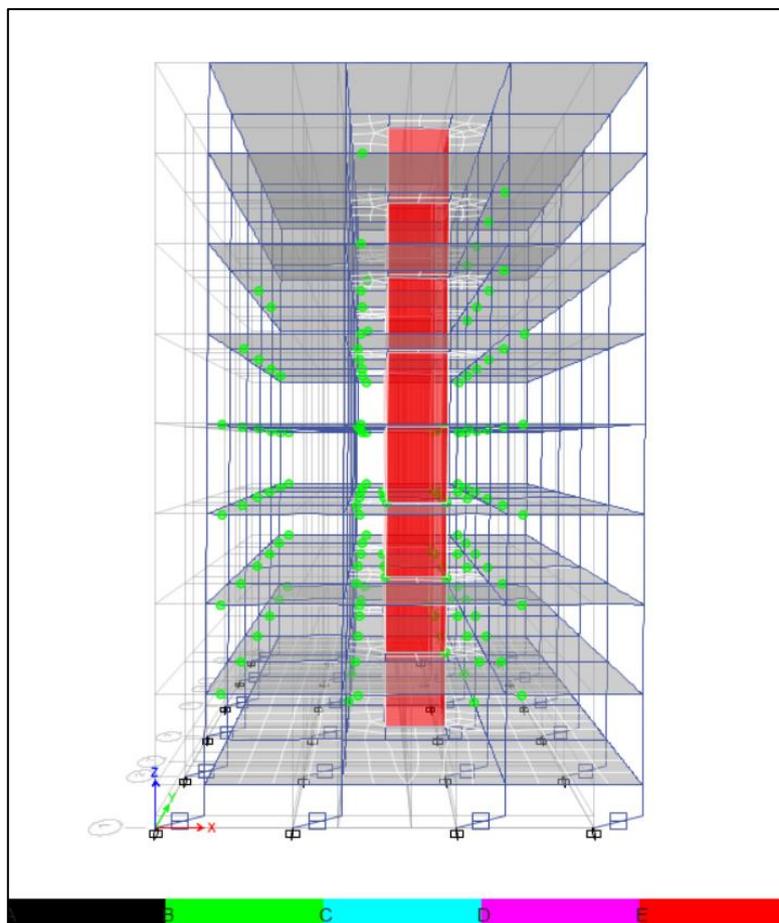


Figura 149: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura aislada de 8 pisos.

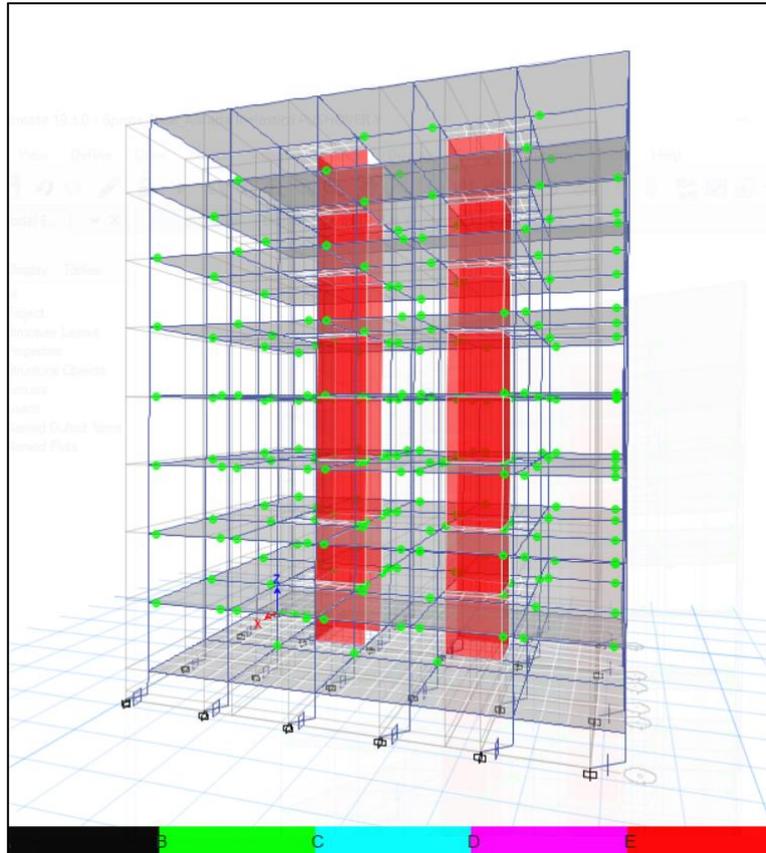


Figura 150: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura aislada de 8 pisos.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Para esta edificación; como se observa en la Figura 151 y Figura 152, las rótulas plásticas de los elementos estructurales de la estructura aislada de 16 pisos, no incursionan en el rango inelástico, es decir las columnas y vigas tienen un comportamiento lineal y no fallarán con el acero propuesto en el diseño antes mencionado.

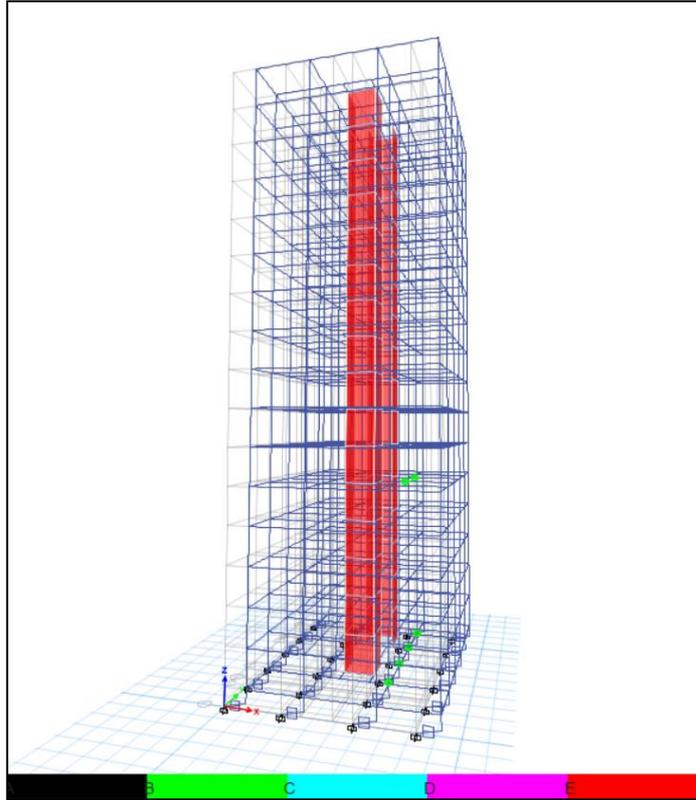


Figura 151: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura aislada de 16 pisos.

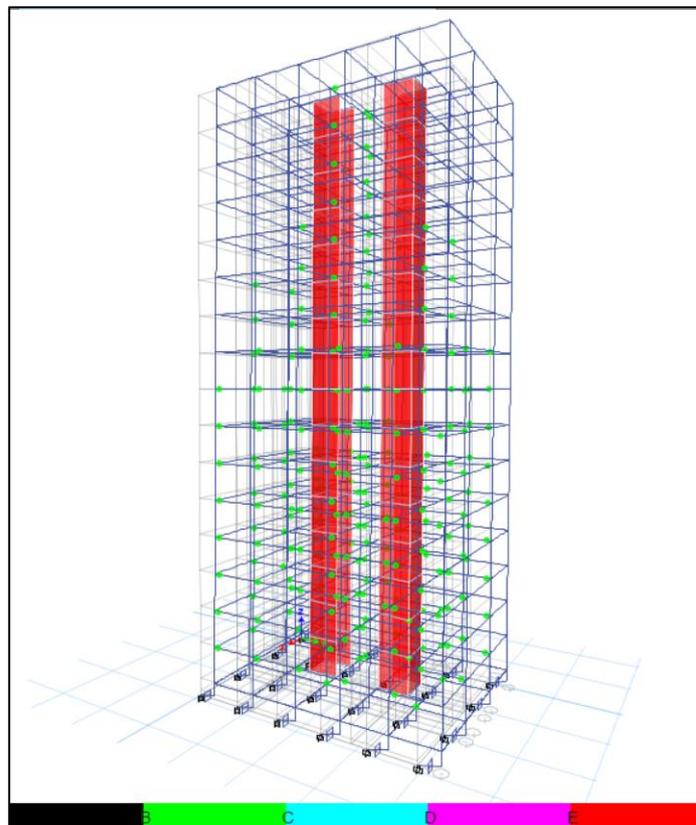


Figura 152: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura aislada de 16 pisos.

3.10.1.2. Formación de rótulas plásticas en estructura con disipadores

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Para esta edificación; como se observa en la Figura 153 y Figura 154, las rótulas plásticas de los elementos estructurales de la estructura con disipadores de 4 pisos, no incursionan en el rango inelástico, es decir las columnas y vigas tienen un comportamiento lineal y no fallarán con el acero propuesto en el diseño antes mencionado.

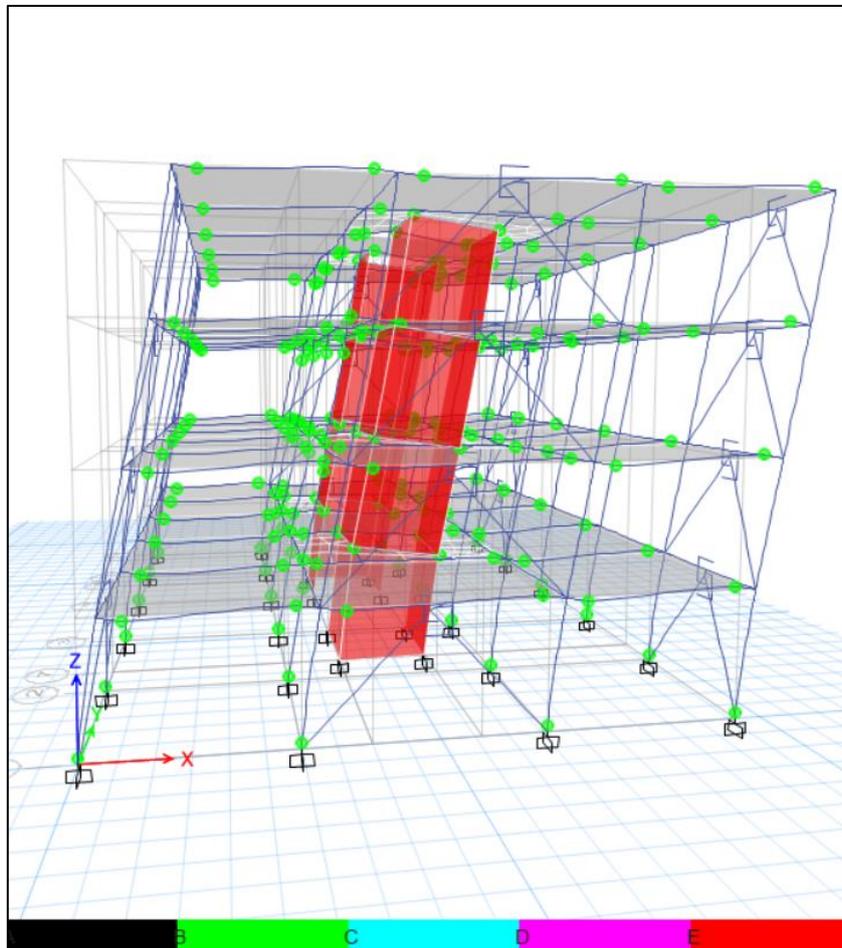


Figura 153: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura con disipadores de 4 pisos.

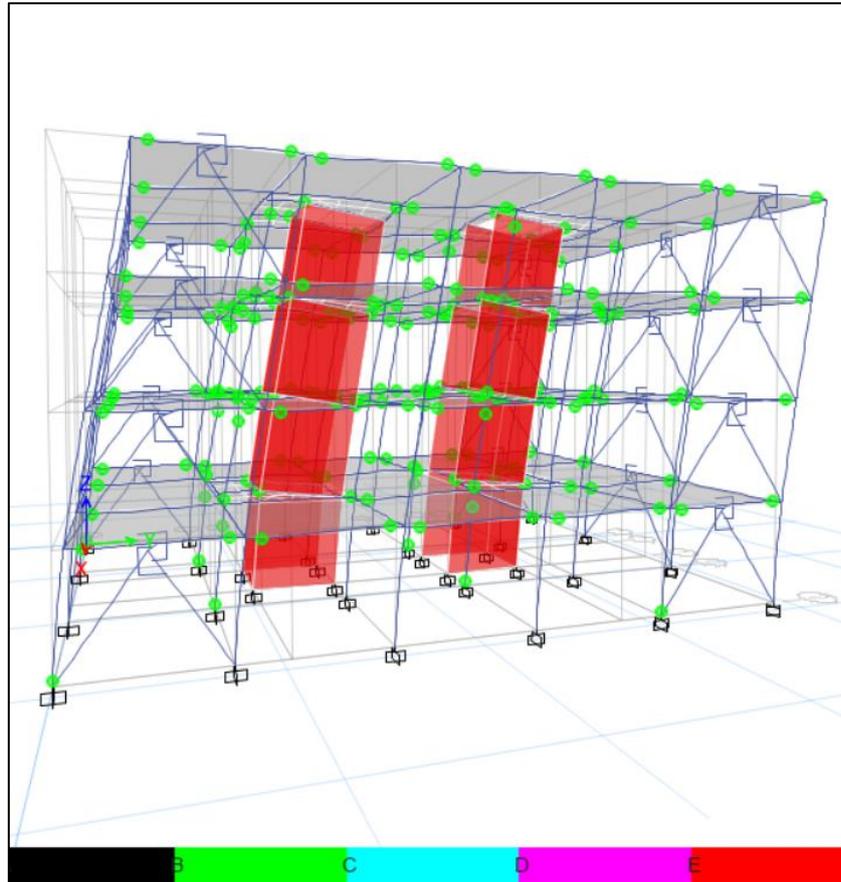


Figura 154: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura con disipadores de 4 pisos.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Para esta edificación; como se observa en la Figura 155 y Figura 156, las rótulas plásticas de los elementos estructurales de la estructura con disipadores de 8 pisos, no incursionan en el rango inelástico, es decir las columnas y vigas tienen un comportamiento lineal y no fallarán con el acero propuesto en el diseño antes mencionado.

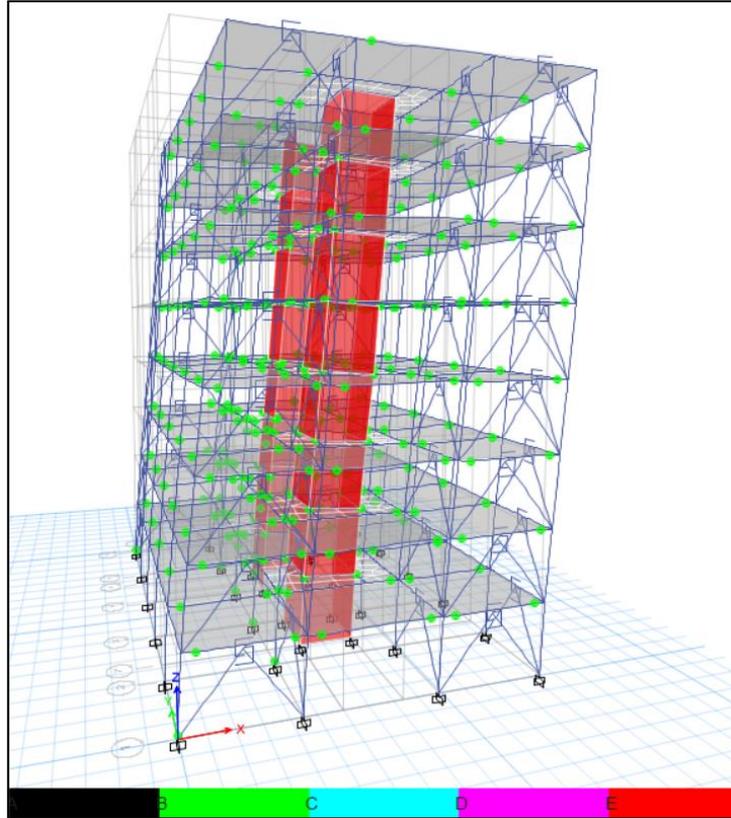


Figura 155: Formación de rótulas plásticas en la dirección "X", en estructura con disipadores de 8 pisos.

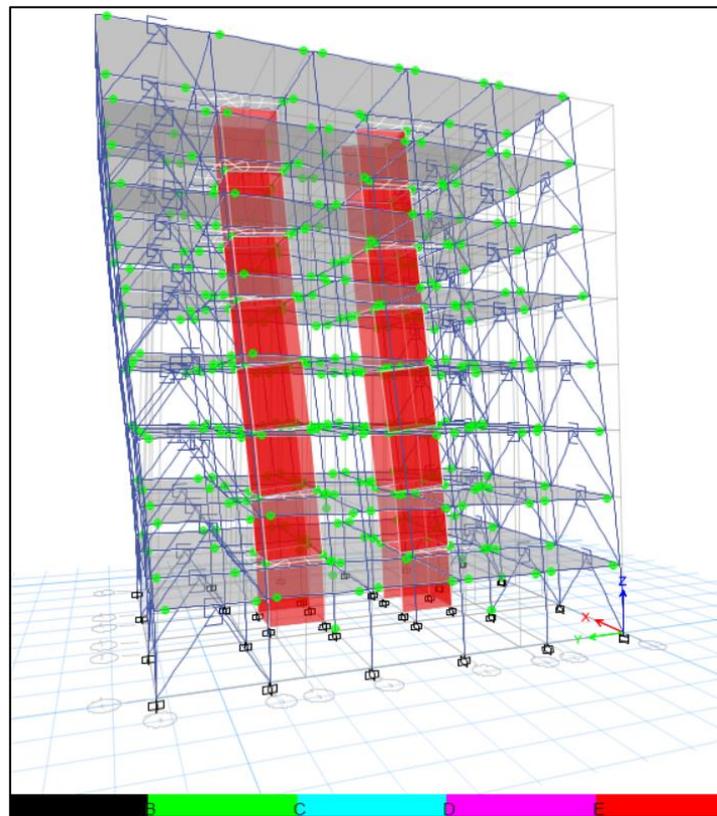


Figura 156: Formación de rótulas plásticas en la dirección "Y", en estructura con disipadores de 8 pisos.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Para esta edificación, no se realizó el análisis de rótulas plásticas, debido a la gran demanda de capacidad computacional que genera el programa ETABS, para resolver este modelo estructural; por tal motivo, el nivel de desempeño de esta edificación se realizó mediante el análisis de las distorsiones de entrepiso, como se mencionó en los procedimientos de la presente investigación.

3.10.2. Curva de capacidad

3.10.2.1. Curva de capacidad de estructuras con aisladores

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Con el análisis estático no lineal “Pushover” se obtiene la curva de capacidad de la estructura aislada de 4 pisos en las dos direcciones ortogonales del análisis como se muestra en la Figura 157. La curva de capacidad de la estructura en la dirección “X” tiene como desplazamiento máximo 75 cm. asociado a una cortante máxima en la base de 1042.20 tn.; por otro lado la curva de capacidad en la dirección “Y” tiene como desplazamiento máximo 65 cm. y una fuerza cortante máxima de 864.84 tn.

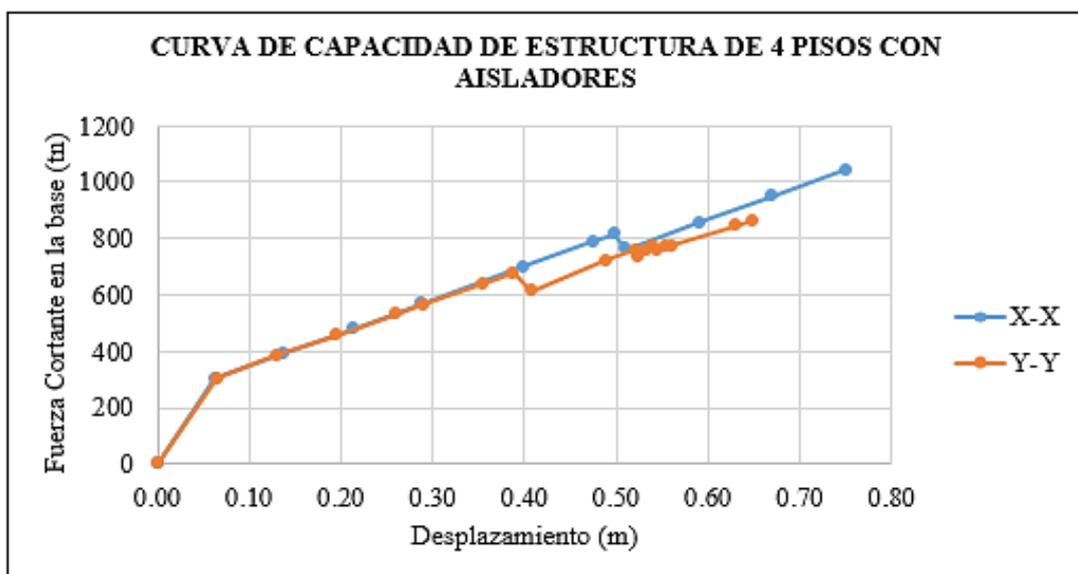


Figura 157: Curva de capacidad de estructura de 4 pisos con aisladores.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Con el análisis estático no lineal “Pushover” se obtiene la curva de capacidad de la estructura aislada de 8 pisos en las dos dirección ortogonales del análisis como se muestra en la Figura 158. La curva de capacidad de la estructura en la dirección “X” tiene como desplazamiento máximo 58.5 cm. asociado a una cortante máxima en la base de 741.27 tn.; por otro lado la curva de capacidad en la dirección “Y” tiene como desplazamiento máximo 54.5 cm y una fuerza cortante máxima de 618.53 tn. antes de la caída de capacidad de la estructura.

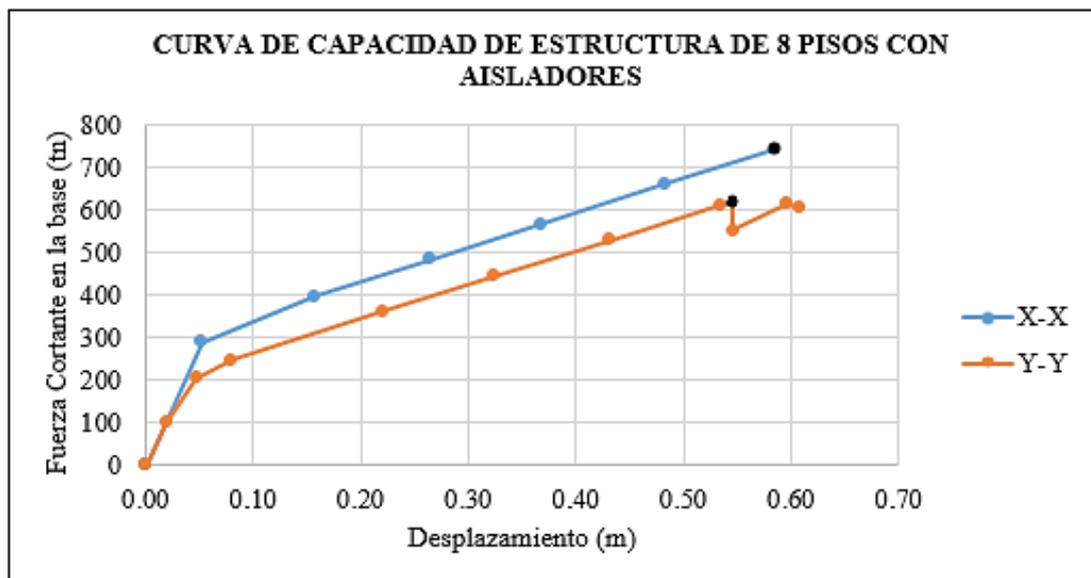


Figura 158: Curva de capacidad de estructura de 8 pisos con aisladores.

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Con el análisis estático no lineal “Pushover” se obtiene la curva de capacidad de la estructura aislada de 16 pisos en las dos dirección ortogonales del análisis como se muestra en la Figura 159. La curva de capacidad de la estructura en la dirección “X” tiene como desplazamiento máximo 100 cm. asociado a una cortante máxima en la base de 789.76 tn.; por otro lado la curva de capacidad en la dirección “Y” tiene como desplazamiento máximo 91.30 cm. y una fuerza cortante máxima de 713.40 tn.

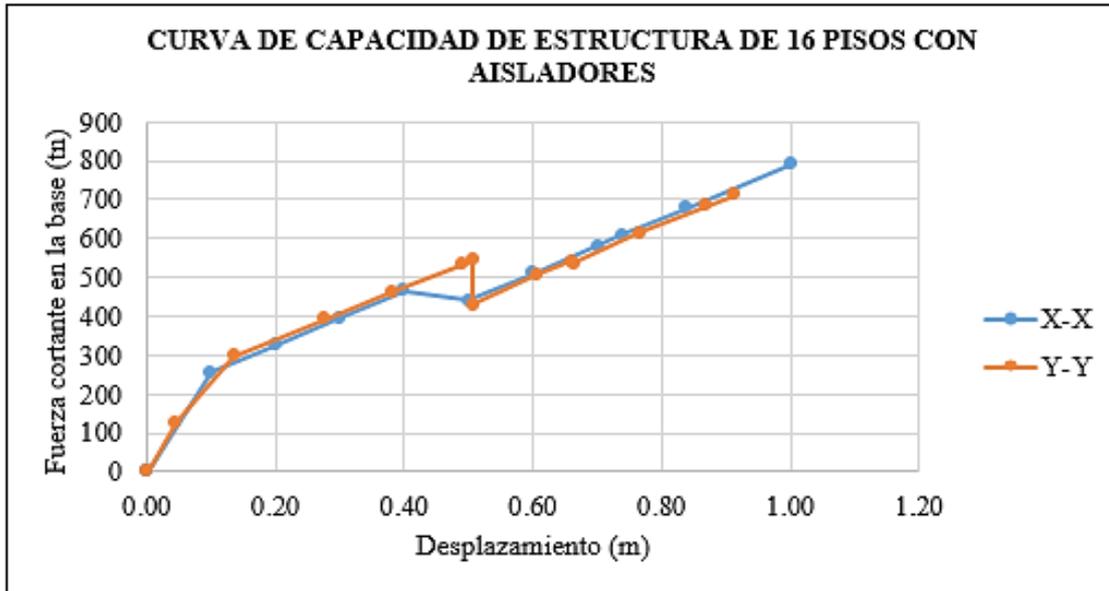


Figura 159: Curva de capacidad de estructura de 16 pisos con aisladores.

3.10.2.2. Curva de capacidad de estructuras con disipadores

Se presenta las curvas de capacidad de las edificaciones de 4 pisos y 8 pisos con sistema de disipación de energía; mientras que, para la edificación de 16 pisos se evaluará su desempeño sísmico según lo mencionado en los procedimientos de la presente investigación.

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

Con el análisis estático no lineal “Pushover” se obtiene la curva de capacidad de la estructura de 4 pisos con disipadores en las dos dirección ortogonales del análisis como se muestra en la Figura 160. La curva de capacidad de la estructura en la dirección “X” tiene como desplazamiento máximo 5 cm. asociado a una cortante máxima en la base de 2382.84 tn.; por otro lado la curva de capacidad en la dirección “Y” tiene como desplazamiento máximo 4.28 cm. y una fuerza cortante máxima de 1789.21 tn.

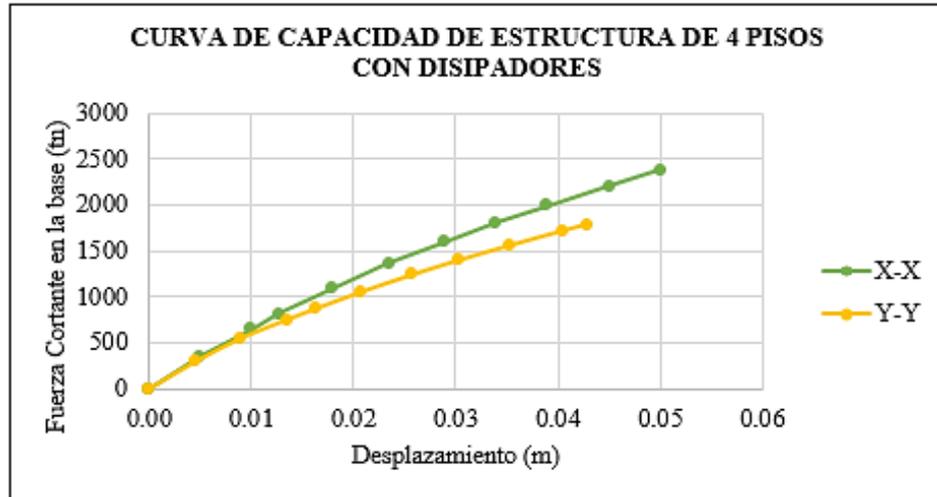


Figura 160: Curva de capacidad de estructura de 4 pisos con disipadores.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Con el análisis estático no lineal “Pushover” se obtiene la curva de capacidad de la estructura de 8 pisos con disipadores en las dos dirección ortogonales del análisis como se muestra en la Figura 161. La curva de capacidad de la estructura en la dirección “X” tiene como desplazamiento máximo 9.25 cm. asociado a una cortante máxima en la base de 1749.07 tn.; por otro lado la curva de capacidad en la dirección “Y” tiene como desplazamiento máximo 12.0 cm. y una fuerza cortante máxima de 1630.26 tn.

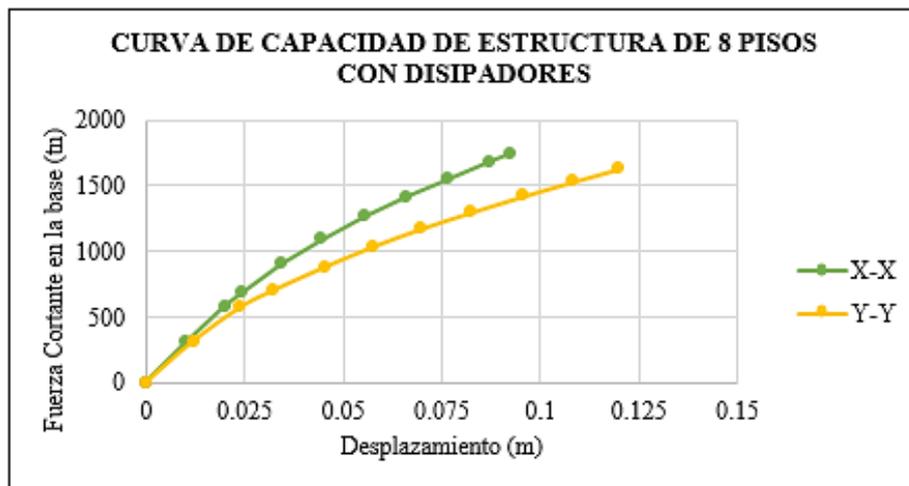


Figura 161: Curva de capacidad de estructura de 8 pisos con disipadores.

3.10.3. Espectro de capacidad

3.10.3.1. Espectro de capacidad de estructuras con aisladores

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

A continuación, se presenta los espectros de capacidad de la estructura de 4 pisos con aisladores elastoméricos. La Figura 162 muestra el espectro de capacidad en la dirección X-X con un valor de S_a máximo igual a 0.574 g., asimismo la Figura 163 muestra el espectro de capacidad en la dirección Y-Y con un valor de S_a máximo igual a 0.477 g.

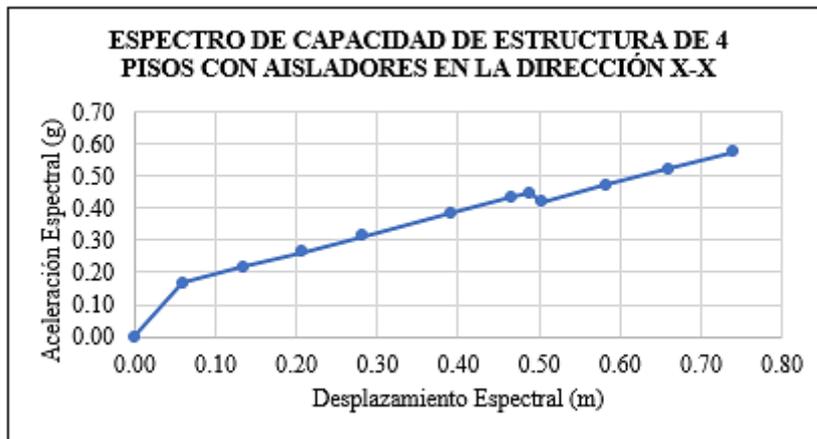


Figura 162: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección X-X.

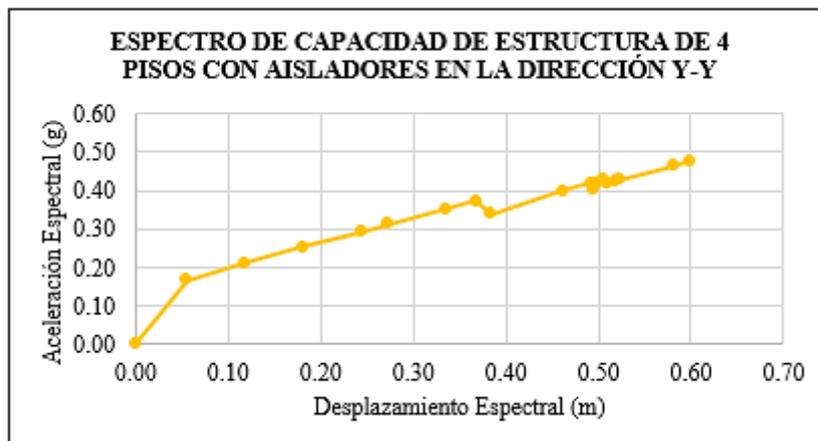


Figura 163: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección Y-Y

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

A continuación, se presenta los espectros de capacidad de la estructura de 8 pisos con aisladores elastoméricos. La Figura 164 muestra el espectro de capacidad en la dirección X-X con un valor de Sa máximo igual a 0.280 g., asimismo la Figura 165 muestra el espectro de capacidad en la dirección Y-Y con un valor de Sa máximo igual a 0.234 g.

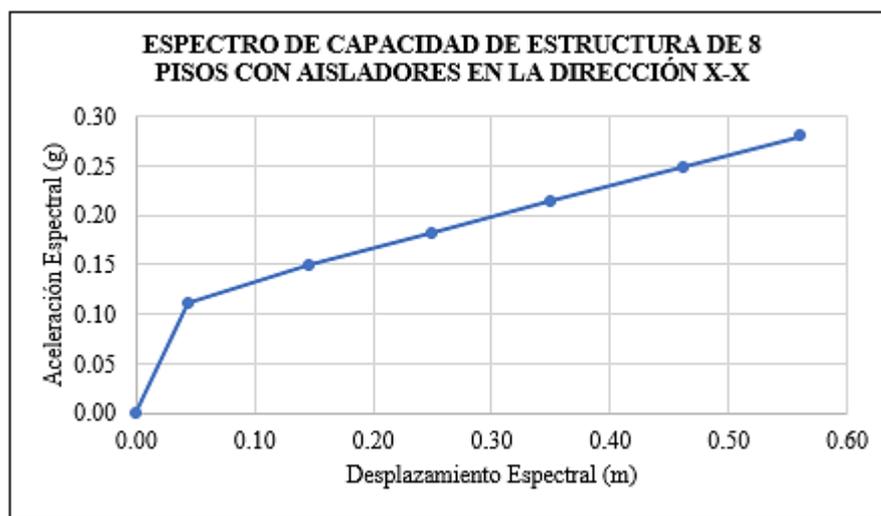


Figura 164: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección X-X.

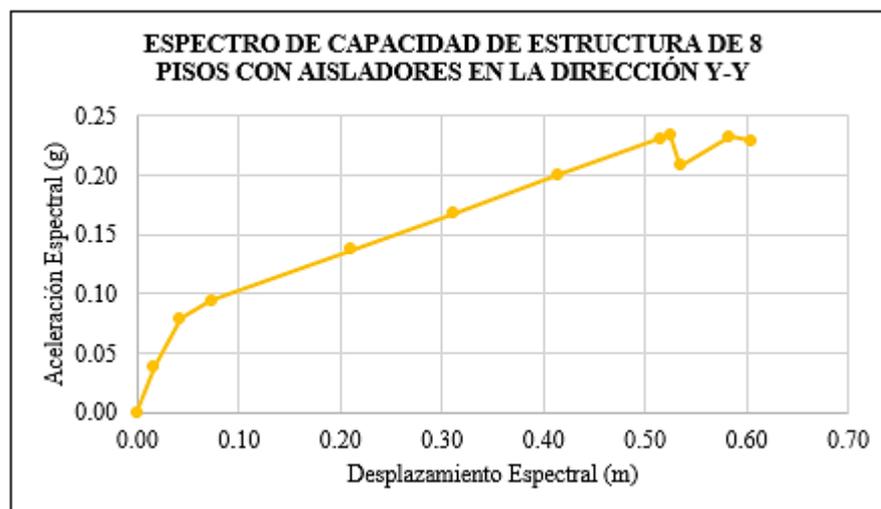


Figura 165: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección Y-Y

c. Edificación de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

A continuación, se presenta los espectros de capacidad de la estructura de 16 pisos con aisladores elastoméricos. La Figura 166 muestra el espectro de capacidad en la dirección X-X con un valor de Sa máximo igual a 0.164 g., asimismo la Figura 167 muestra el espectro de capacidad en la dirección Y-Y con un valor de Sa máximo igual a 0.149 g.

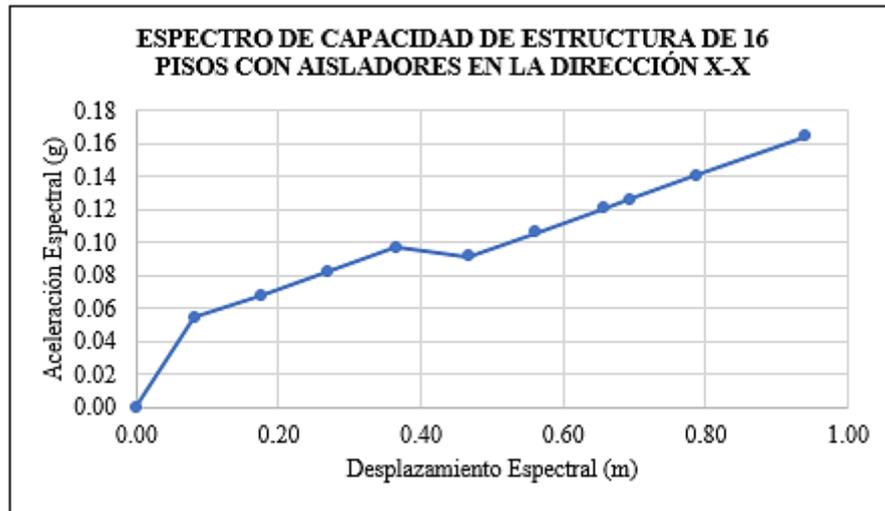


Figura 166: Espectro de capacidad de la estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección X-X.

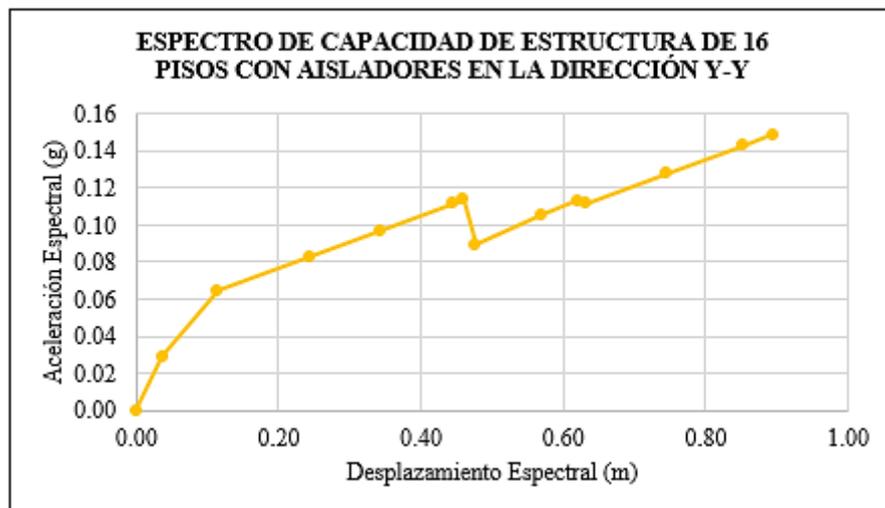


Figura 167: Espectro de capacidad de la estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.

3.10.3.2. Espectro de capacidad de estructuras con disipadores

a. Edificación de Centro comercial de 4 pisos

De igual manera, se presenta los espectros de capacidad de la estructura de 4 pisos con disipadores hysteréticos. La Figura 168 muestra el espectro de capacidad en la dirección X-X con un valor de S_a máximo igual a 2.237 g., asimismo la Figura 169 muestra el espectro de capacidad en la dirección Y-Y con un valor de S_a máximo igual a 1.786 g.

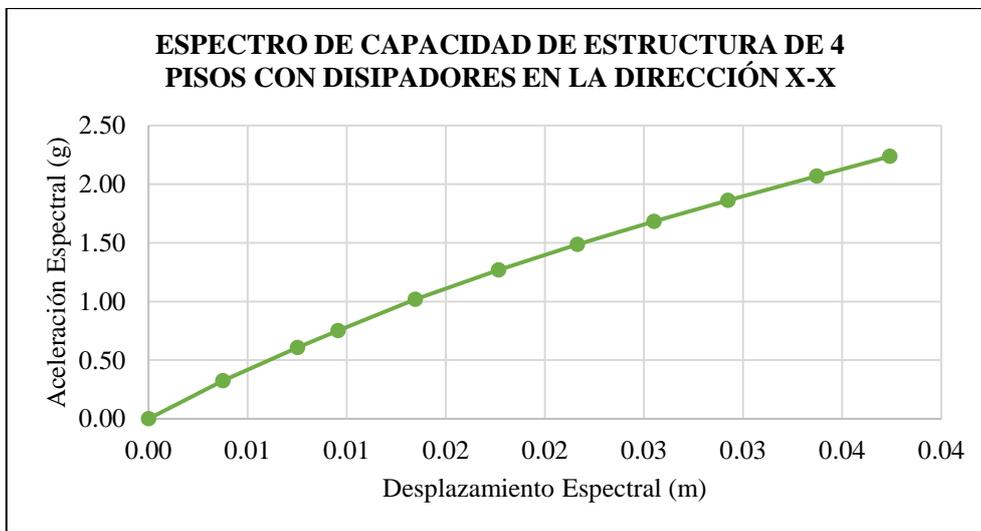


Figura 168: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección X-X.

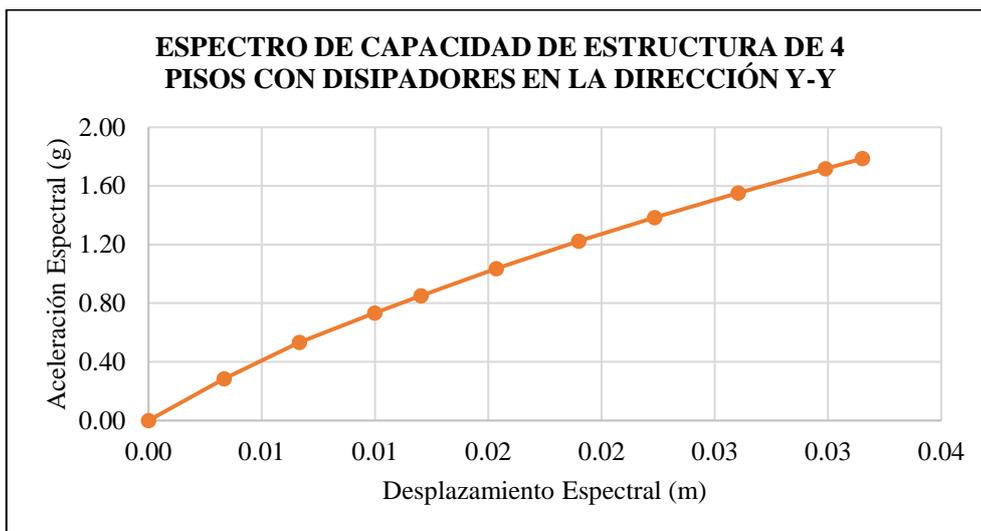


Figura 169: Espectro de capacidad de la estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.

b. Edificación de Oficinas de 8 pisos

Del mismo modo, se presenta los espectros de capacidad de la estructura de 8 pisos con disipadores histeréticos. La Figura 170 muestra el espectro de capacidad en la dirección X-X con un valor de S_a máximo igual a 1.040 g., asimismo la Figura 171 muestra el espectro de capacidad en la dirección Y-Y con un valor de S_a máximo igual a 0.998 g.

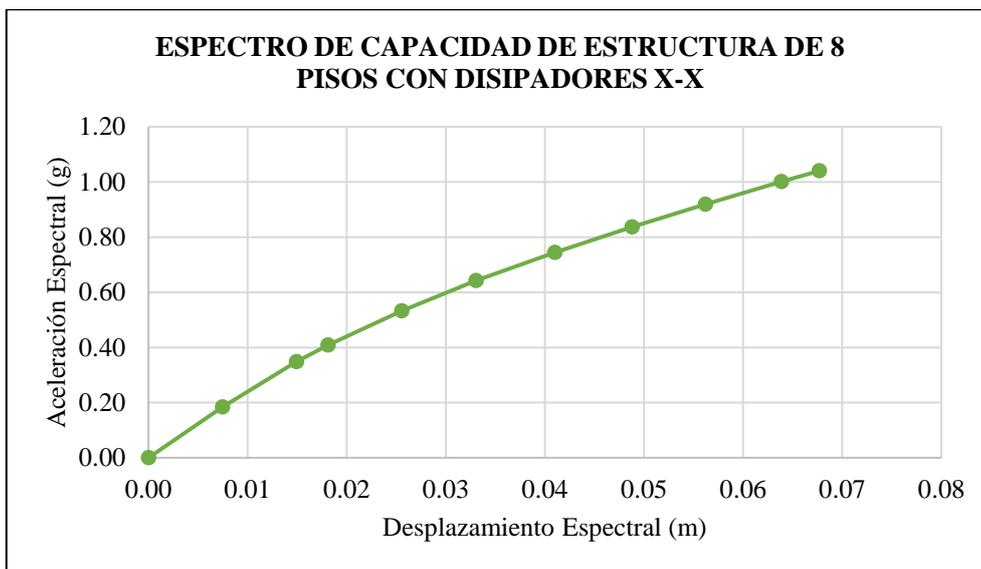


Figura 170: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección X-X.

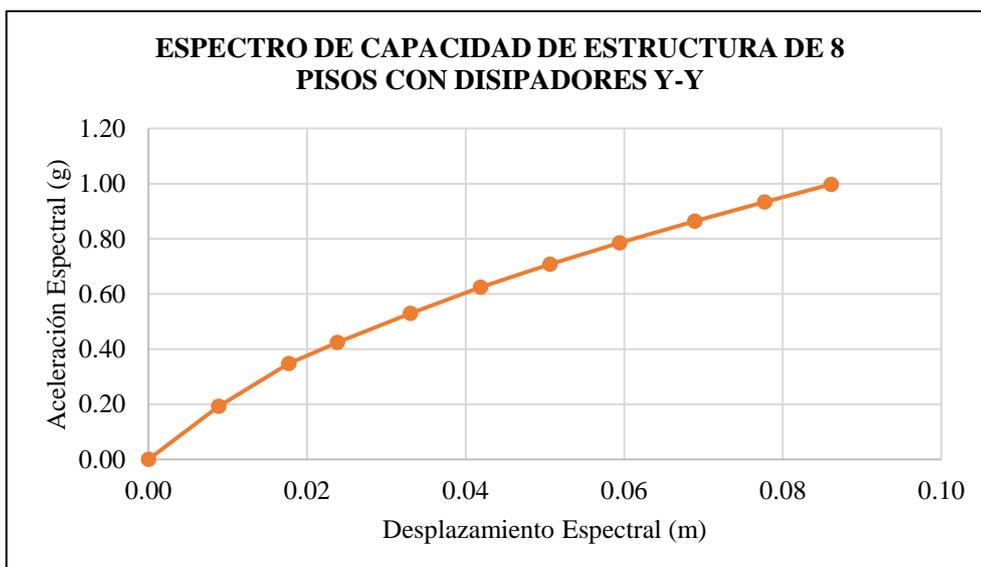


Figura 171: Espectro de capacidad de la estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.

c. Edificación de vivienda multifamiliar de 16 pisos.

Para la edificación de 16 pisos con sistema de disipación de energía histerético, se evaluará su desempeño sísmico según lo mencionado en los procedimientos de la presente investigación.

3.10.4. Espectro de demanda

La Figura 172 muestra las funciones espectrales de demanda de los tres sismos usados para obtener los puntos de desempeño en la estructura de 4 pisos, 8 pisos y 16 pisos; para ambos sistemas de protección sísmica, los cuales son sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo considerado. Como se mencionó en los procedimientos de la presente investigación, se usa como factor de reducción sísmica $R=1$ para todas las funciones espectrales, con el fin de comparar los resultados tanto de las edificaciones con sistema de aislamiento elastomérico y las edificaciones con sistema de disipación histerético.



Figura 172: Espectros de demanda sísmica para estructuras de 4, 8 y 16 pisos con aisladores y disipadores

3.11. Punto de desempeño sísmico

3.11.1. Punto de desempeño para estructuras sin protección sísmica

Como forma de tener una referencia en la comparación del desempeño sísmico de las estructuras con protección sísmica, se presenta los puntos de desempeño de las 3 estructuras proyectadas sin protección sísmica.

3.11.1.1. Estructuras de Centro comercial de 4 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 124, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 4 pisos sin protección sísmica, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 124:

Puntos de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 4 PISOS SIN PROTECCIÓN SÍSMICA			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE Tn.	DESP. m.
S. Servicio		972.30	0.018
S. Diseño	X-X	1779.61	0.035
S. Máximo		3049.60	0.068
S. Servicio		552.14	0.012
S. Diseño	Y-Y	1102.53	0.024
S. Máximo		1591.16	0.037

a. Sismo de Servicio

La Figura 173 y Figura 174 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

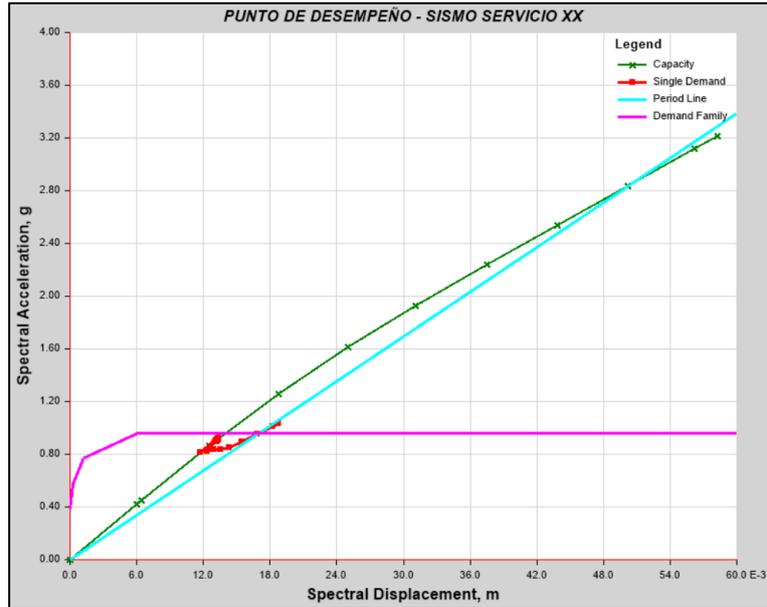


Figura 173: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección X-X.

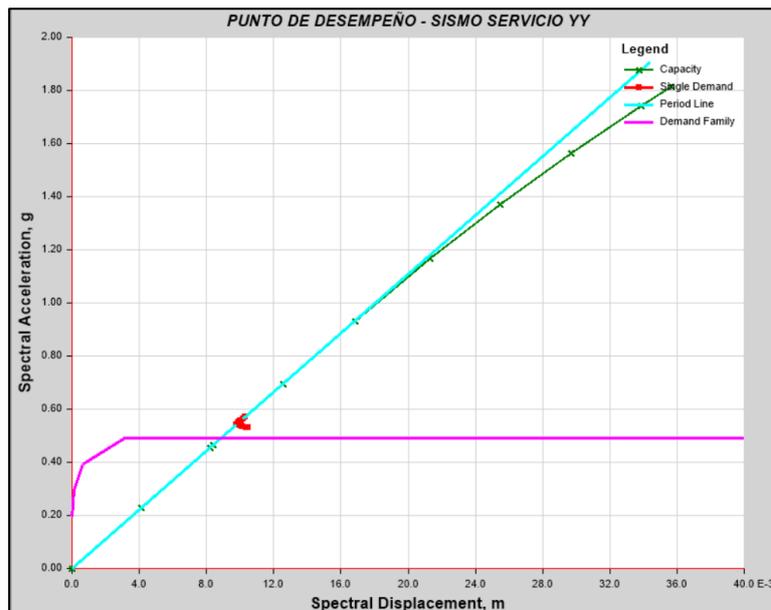


Figura 174: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 175 y Figura 176 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

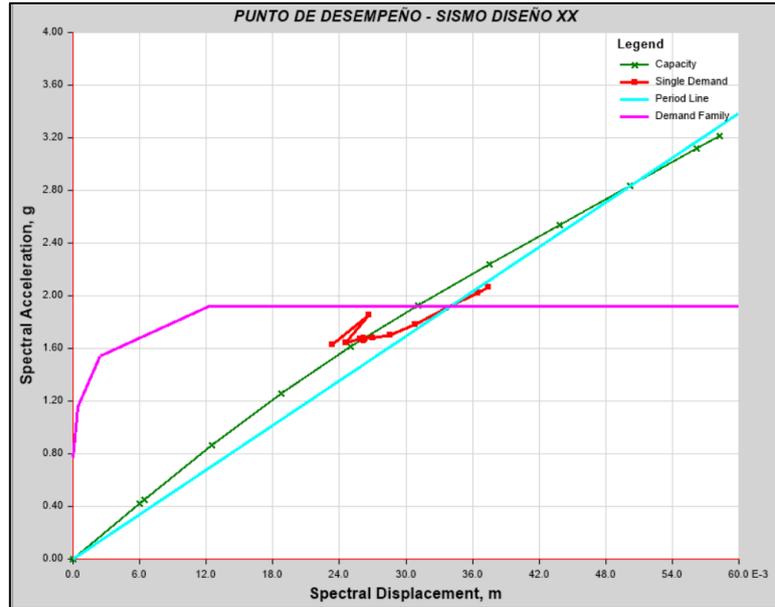


Figura 175: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección X-X.

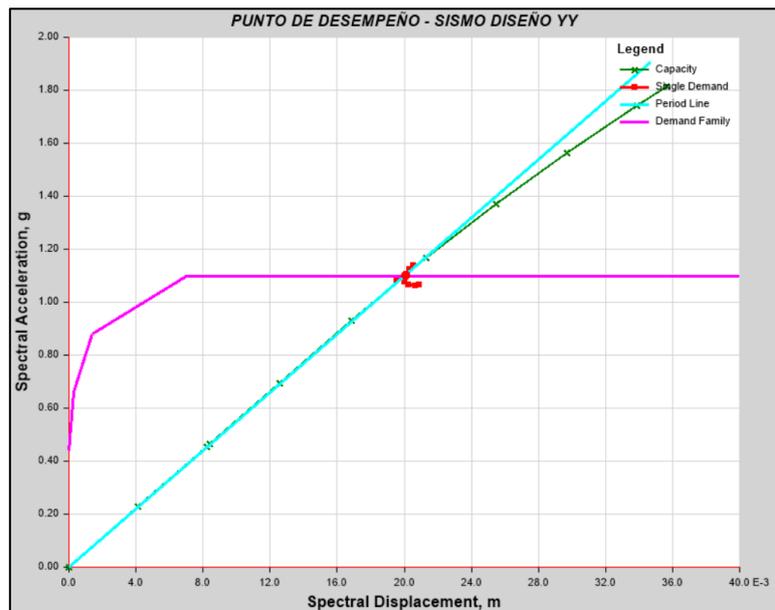


Figura 176: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 177 y Figura 178 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

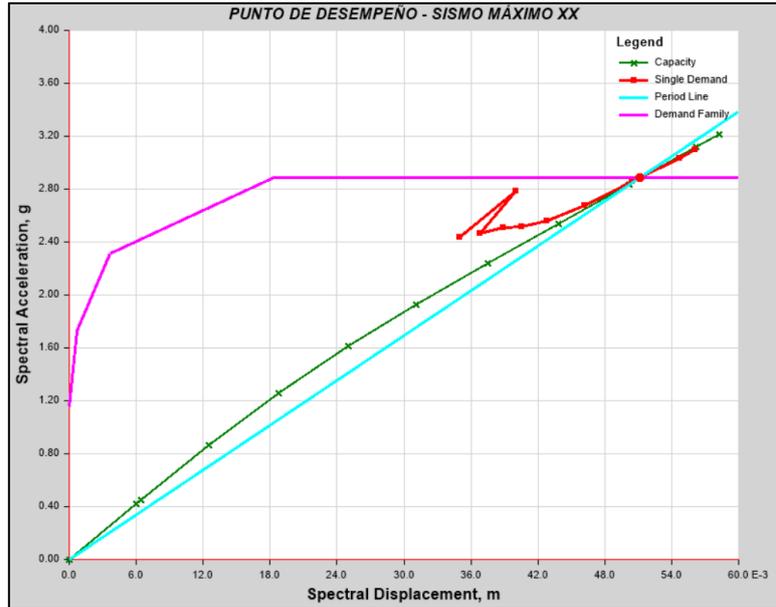


Figura 177: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección X-X.

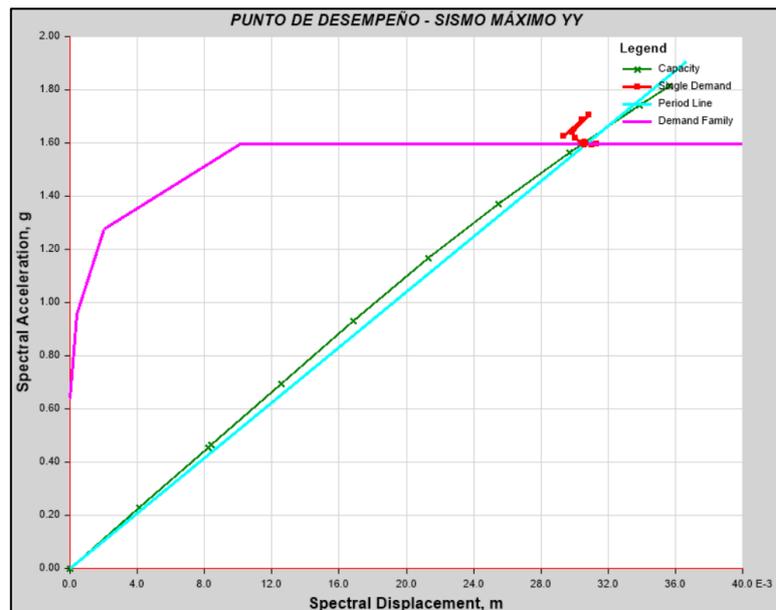


Figura 178: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.1.2. Estructuras de Oficinas de 8 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 125, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 8 pisos sin protección sísmica, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 125:
Puntos de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 8 PISOS SIN PROTECCIÓN SÍSMICA			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE Tn.	DESP. m.
S. Servicio		565.82	0.030
S. Diseño	X-X	970.36	0.055
S. Máximo		1184.41	0.071
S. Servicio		526.27	0.040
S. Diseño	Y-Y	714.77	0.057
S. Máximo		797.14	0.067

a. Sismo de Servicio

La Figura 179 y Figura 180 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

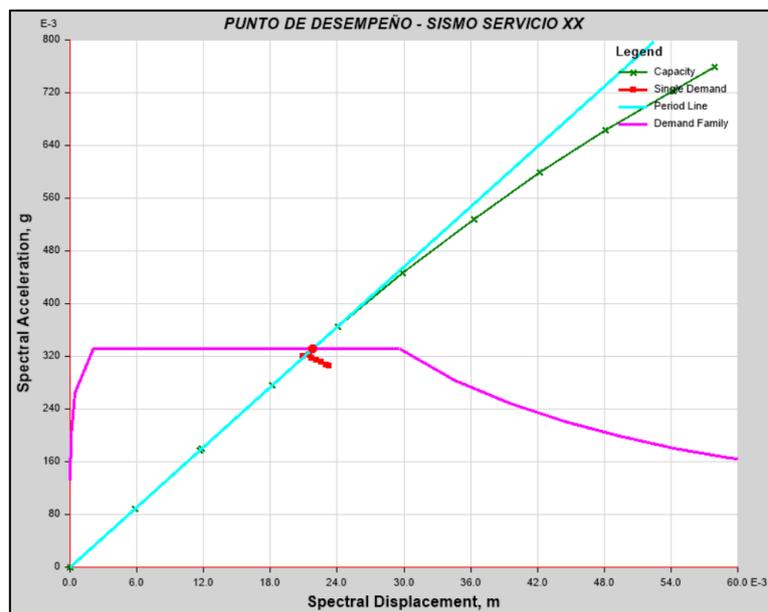


Figura 179: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección X-X.

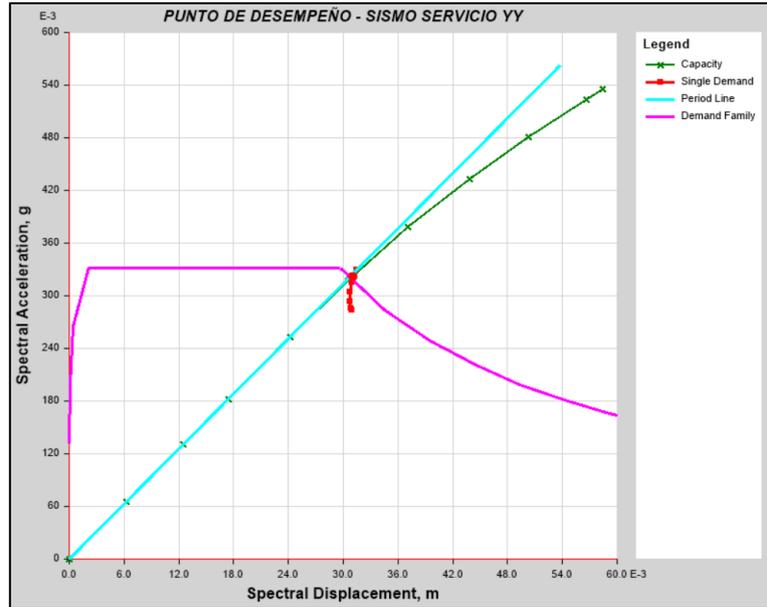


Figura 180: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 181 y Figura 182 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

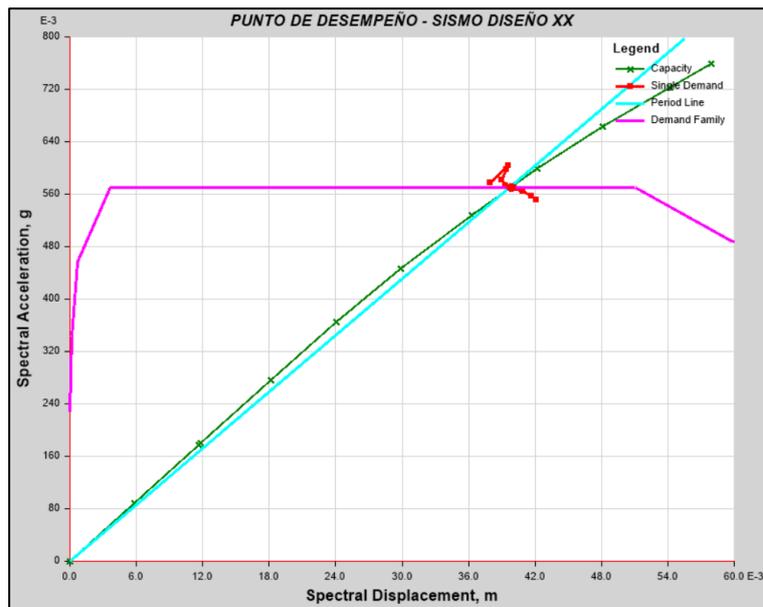


Figura 181: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección X-X.

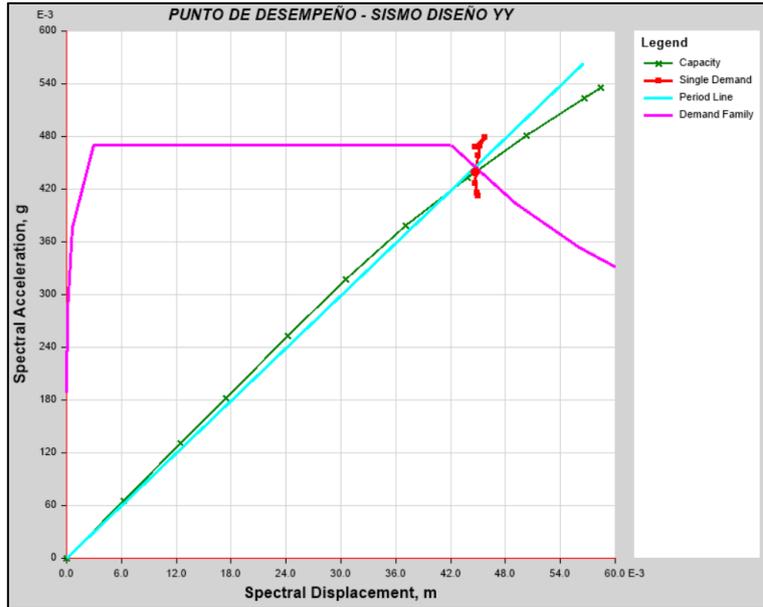


Figura 182: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 183 y Figura 184 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

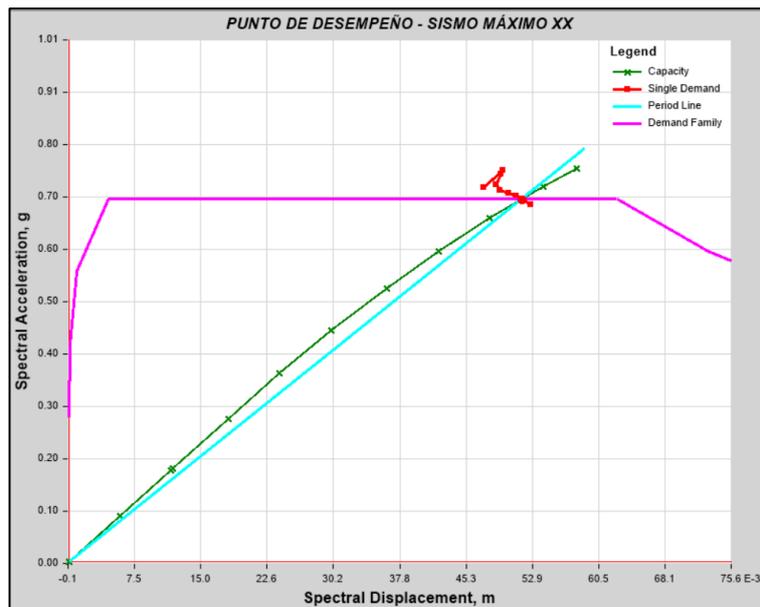


Figura 183: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección X-X.

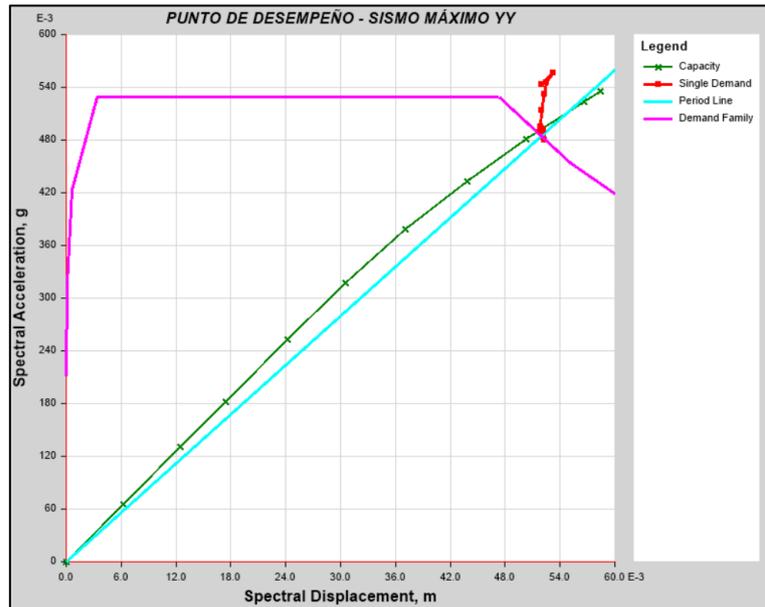


Figura 184: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.1.3. Estructuras de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 126, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 16 pisos sin protección sísmica, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 126:

Puntos de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 16 PISOS SIN PROTECCIÓN SÍSMICA			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE Tn.	DESP. m.
S. Servicio		790.48	0.126
S. Diseño	X-X	1026.27	0.169
S. Máximo		1196.86	0.208
S. Servicio		604.56	0.142
S. Diseño	Y-Y	764.39	0.193
S. Máximo		855.18	0.230

a. Sismo de Servicio

La Figura 185 y Figura 186 muestran el punto de desempeño de la estructura de 16 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

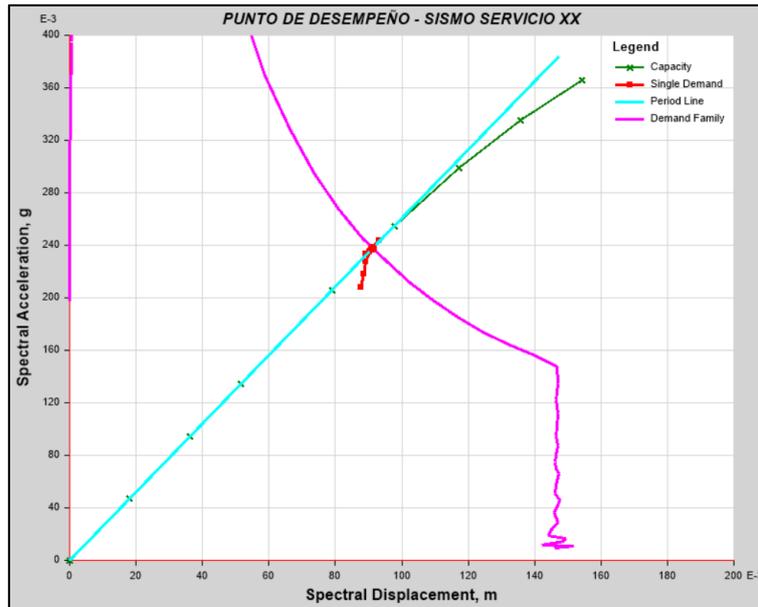


Figura 185: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección X-X.

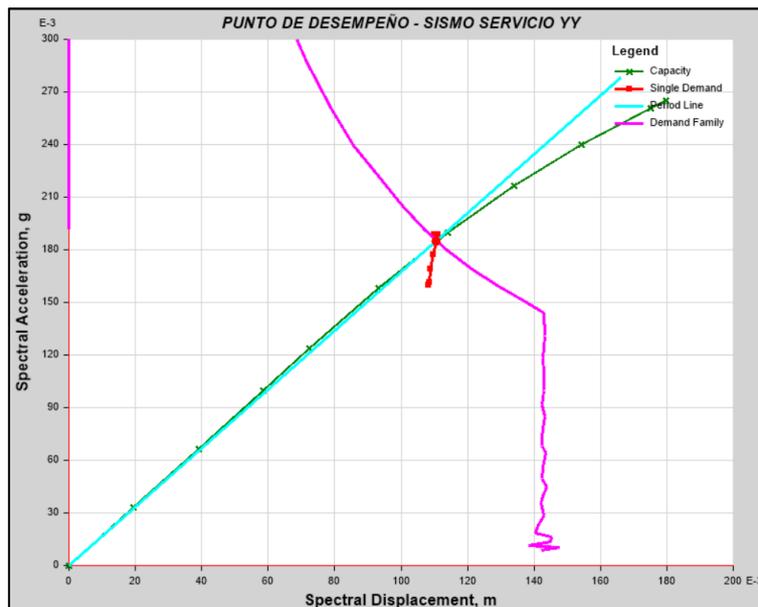


Figura 186: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 187 y Figura 188 muestran el punto de desempeño de la estructura de 16 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

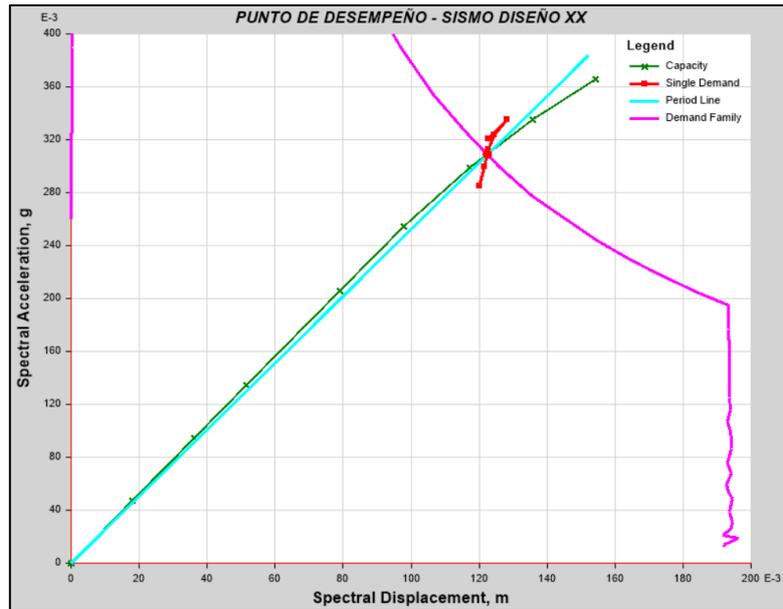


Figura 187: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección X-X.

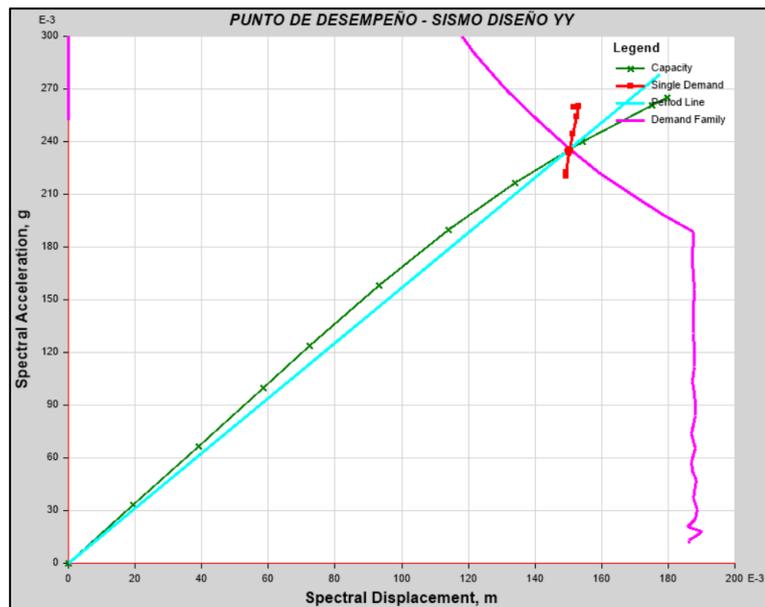


Figura 188: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 189 y Figura 190 muestran el punto de desempeño de la estructura de 16 pisos sin protección sísmica; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

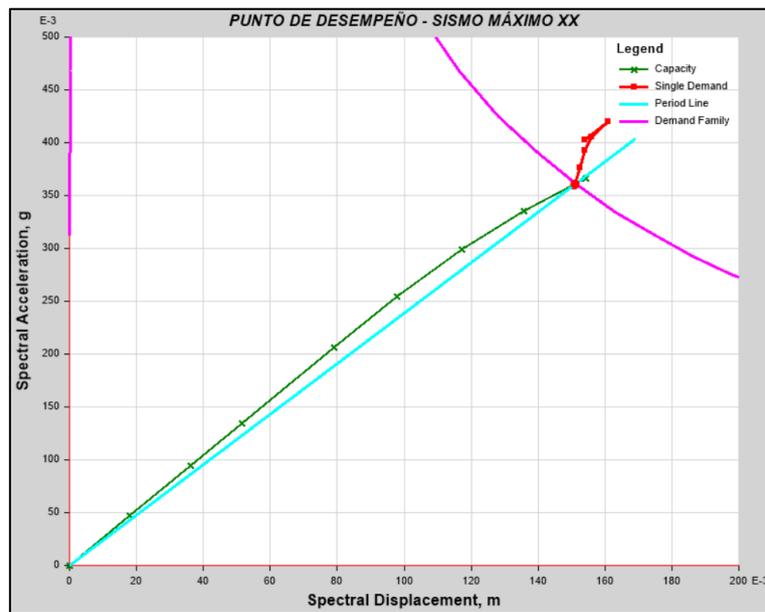


Figura 189: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección X-X.

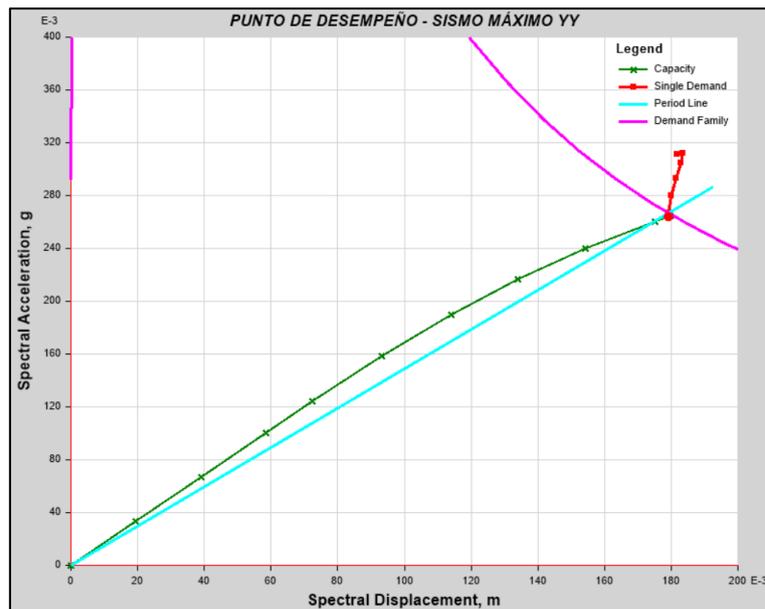


Figura 190: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica con sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.2. Punto de desempeño para estructuras con aisladores

3.11.2.1. Estructuras de Centro comercial de 4 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 127, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 4 pisos con aisladores elastoméricos, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 127:

Puntos de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 4 PISOS CON AISLADORES			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE Tn.	DESP. m.
S. Servicio		181.74	0.038
S. Diseño	X-X	319.59	0.078
S. Máximo		368.28	0.118
S. Servicio		181.60	0.039
S. Diseño	Y-Y	322.14	0.081
S. Máximo		369.50	0.119

a. Sismo de Servicio

La Figura 191 y Figura 192 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

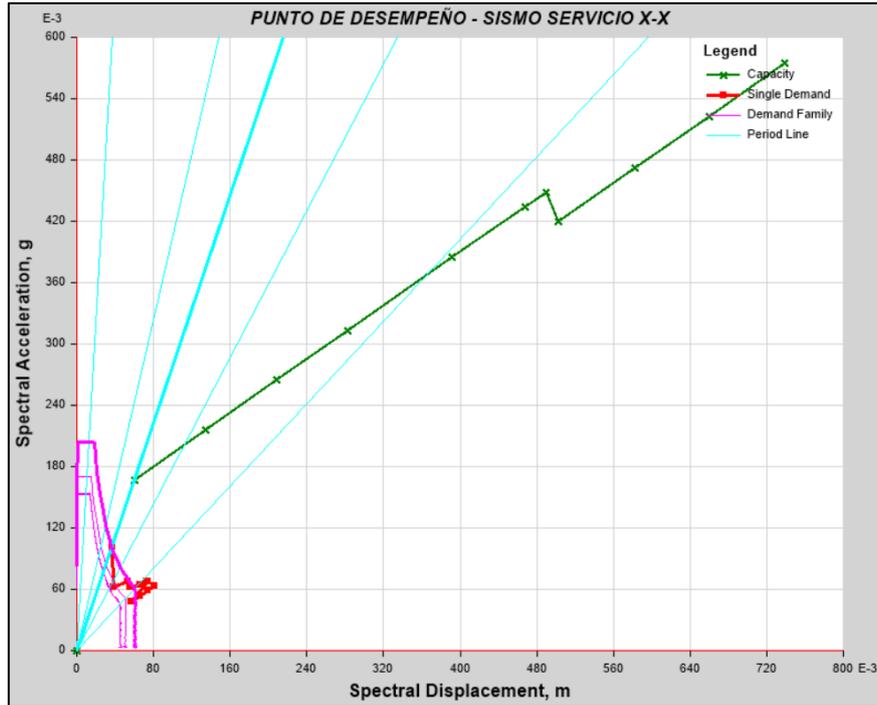


Figura 191: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección X-X.

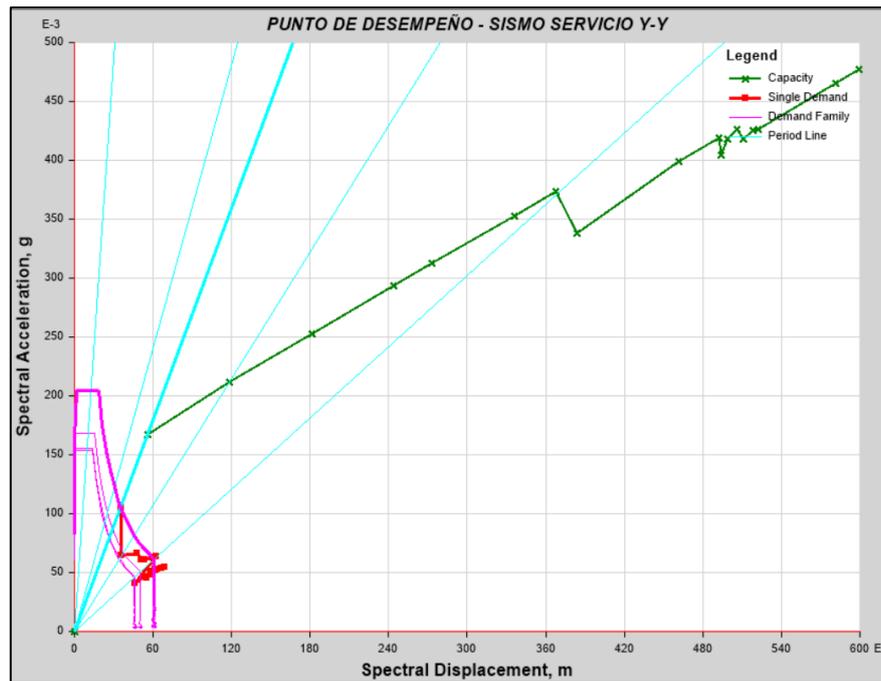


Figura 192: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 193 y Figura 194 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

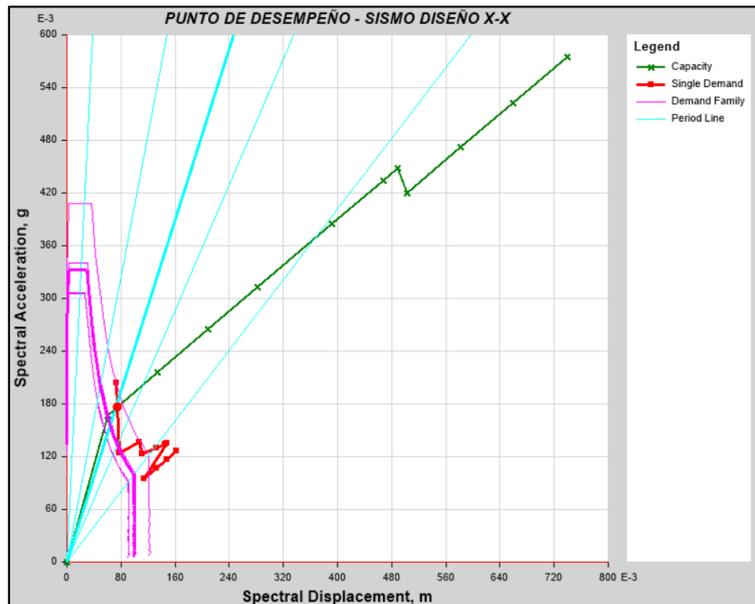


Figura 193: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección X-X.

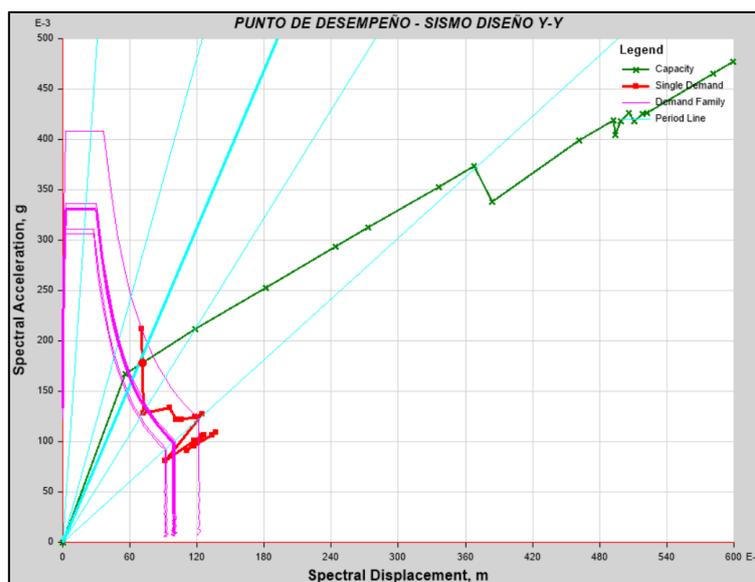


Figura 194: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 195 y Figura 196 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

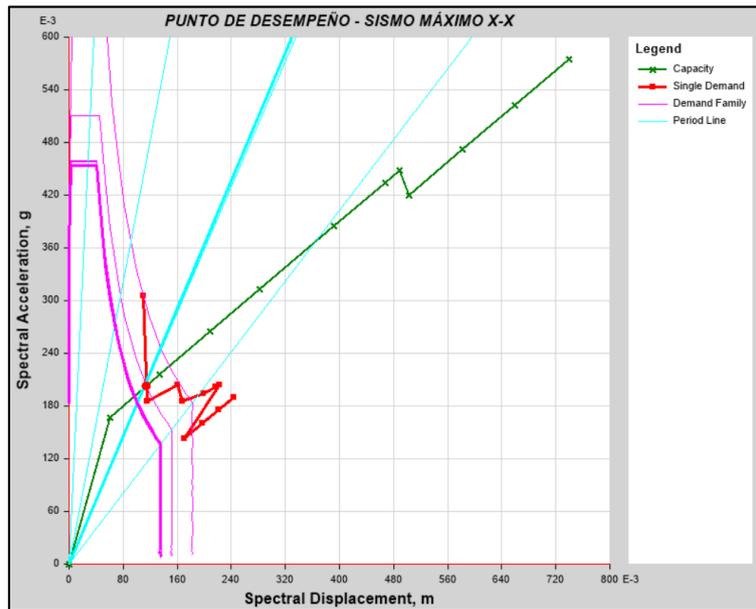


Figura 195: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección X-X.

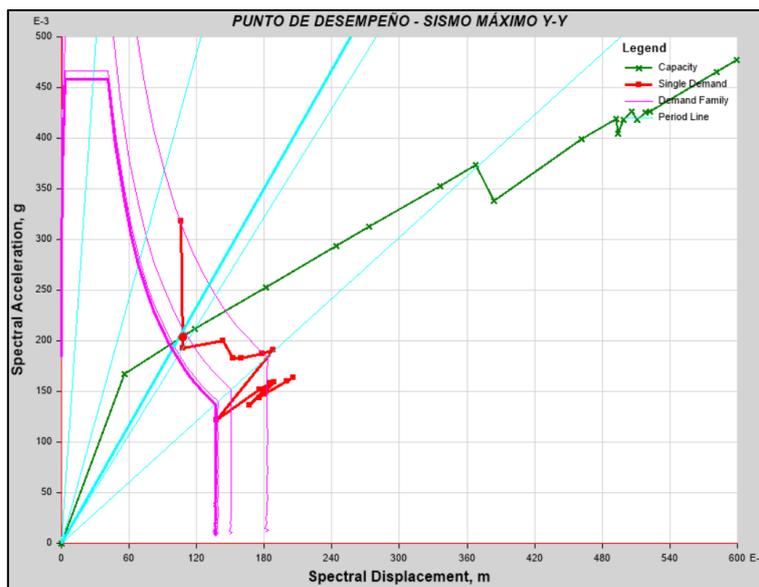


Figura 196: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.2.2. Estructuras de Oficinas de 8 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 128, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 8 pisos con aisladores elastoméricos, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 128:

Puntos de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 8 PISOS CON AISLADORES			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE	DESP.
		Tn.	m.
S. Servicio		339.35	0.102
S. Diseño	X-X	433.18	0.204
S. Máximo		516.86	0.307
S. Servicio		263.71	0.101
S. Diseño	Y-Y	349.66	0.207
S. Máximo		474.78	0.363

a. Sismo de Servicio

La Figura 197 y Figura 198 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

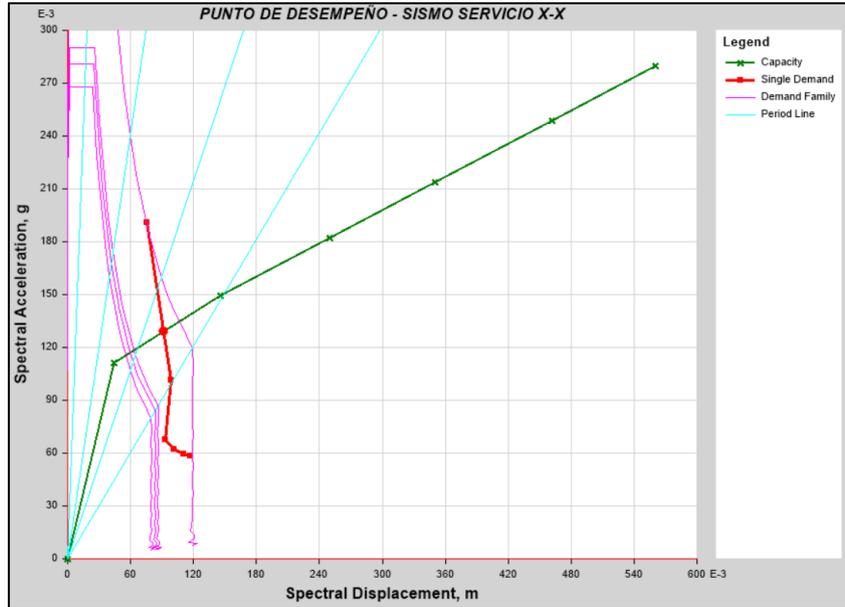


Figura 197: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección X-X.

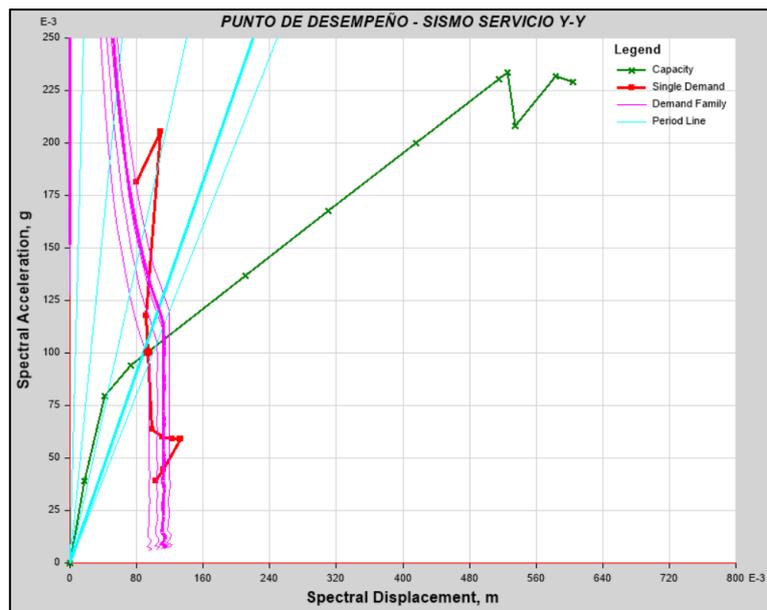


Figura 198: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 199 y Figura 200 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del

Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

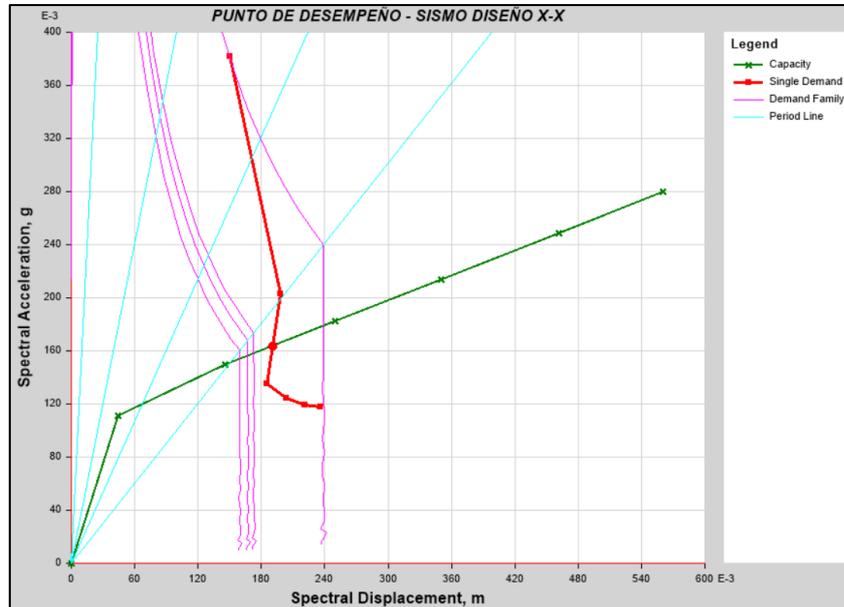


Figura 199: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección X-X.

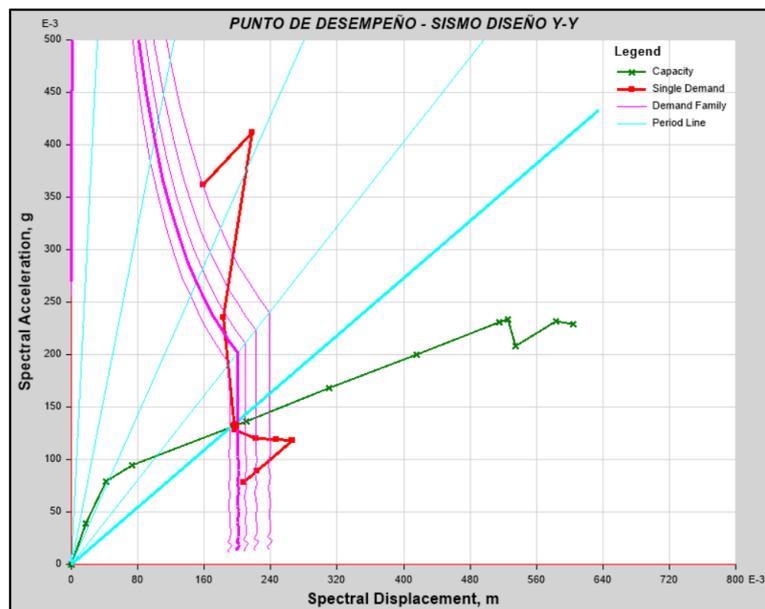


Figura 200: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 201 y Figura 202 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y

respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

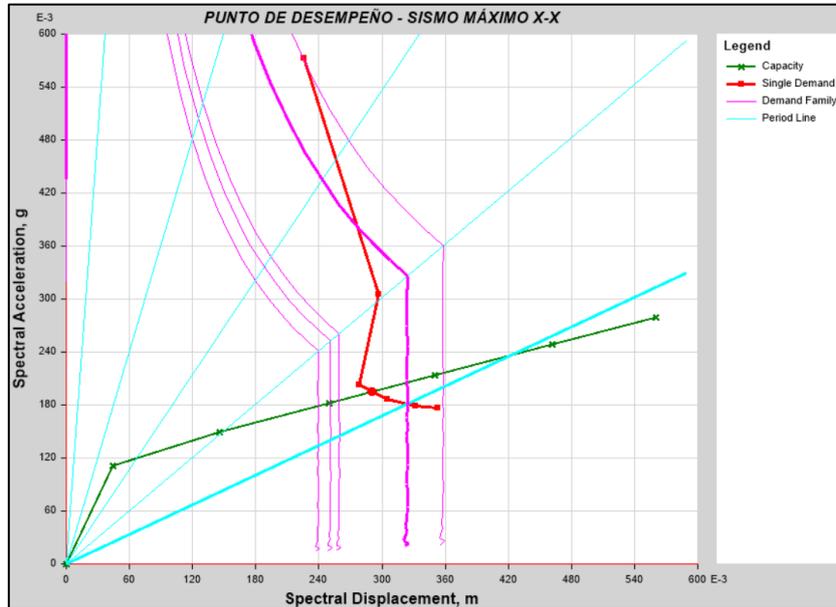


Figura 201: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección X-X.

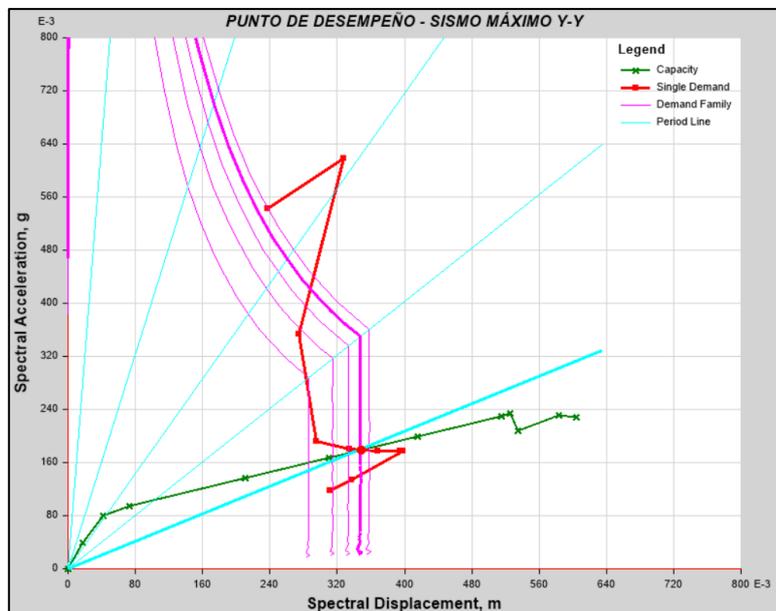


Figura 202: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.2.3. Estructuras de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 129, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 16 pisos con aisladores elastoméricos, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 129:

Puntos de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON AISLADORES			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE Tn.	DESP. m.
S. Servicio		294.63	0.156
S. Diseño	X-X	405.00	0.314
S. Máximo		460.73	0.418
S. Servicio		334.50	0.192
S. Diseño	Y-Y	416.48	0.314
S. Máximo		513.15	0.461

a. Sismo de Servicio

La Figura 203 y Figura 204 muestran el punto de desempeño de la estructura de 16 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

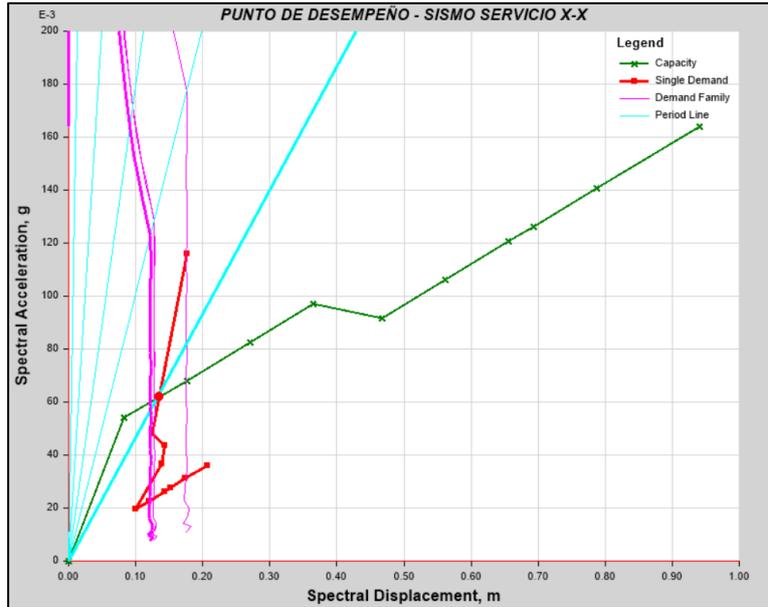


Figura 203: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección X-X.

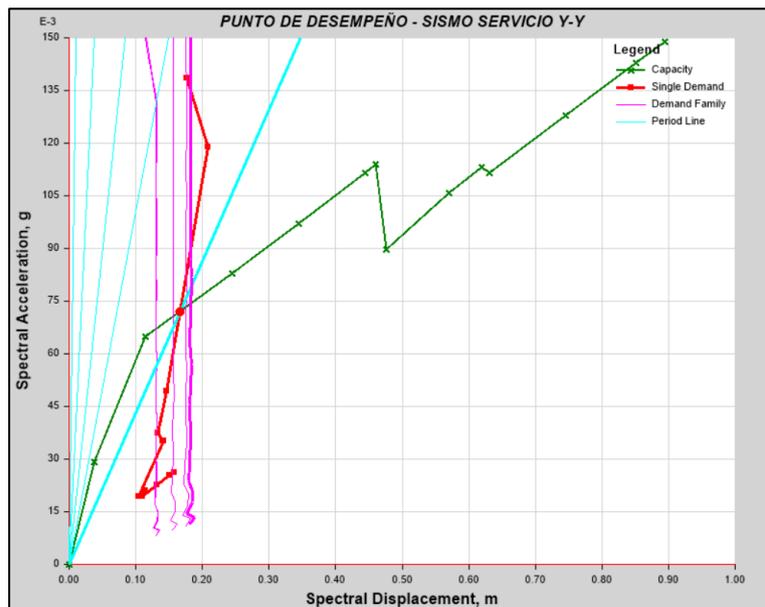


Figura 204: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 205 y Figura 206 muestran el punto de desempeño de la estructura de 16 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del

Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

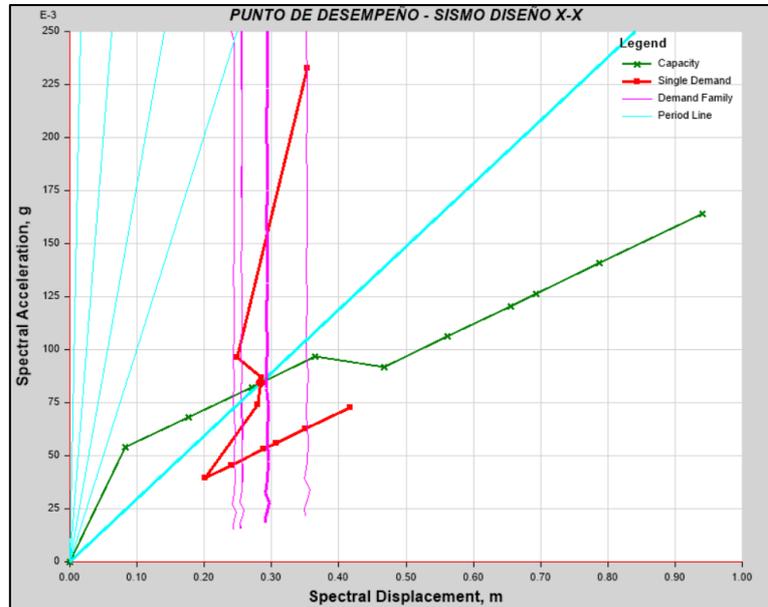


Figura 205: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección X-X.

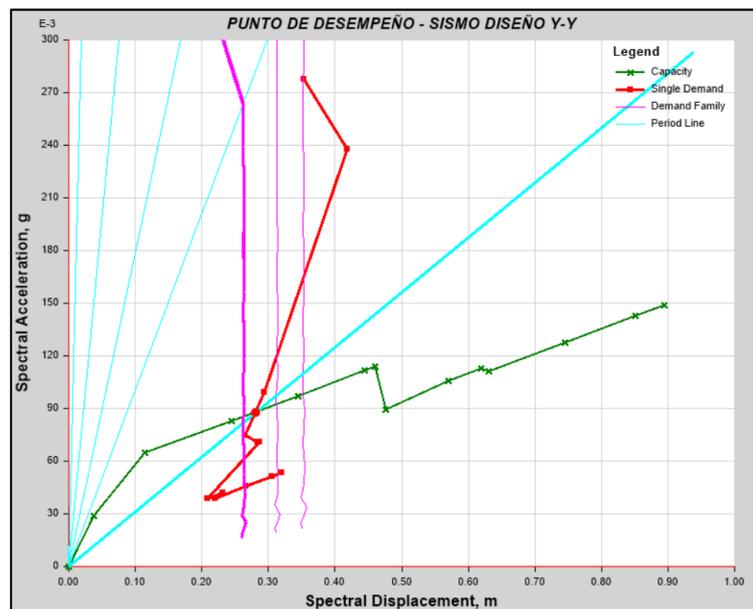


Figura 206: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 207 y Figura 208 muestran el punto de desempeño de la estructura de 16 pisos con aisladores elastoméricos; para la dirección X-X y Y-Y

respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

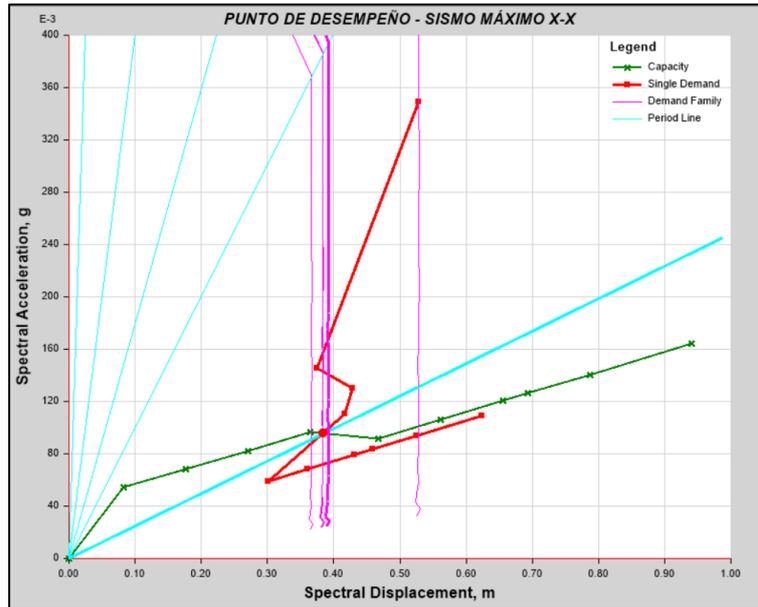


Figura 207: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección X-X.

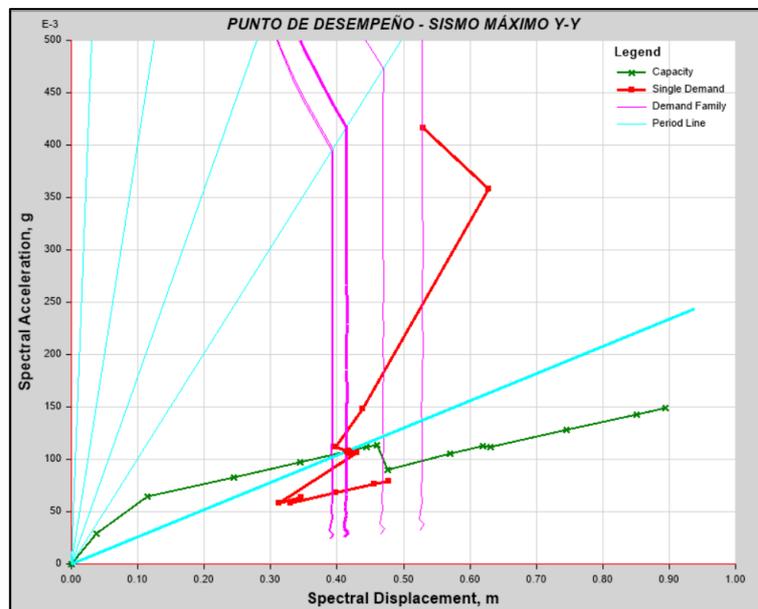


Figura 208: Punto de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores para sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.3. Punto de desempeño para estructuras con disipadores

3.11.3.1. Estructuras de Centro comercial de 4 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 130, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 4 pisos con disipadores histeréticos, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 130:

Puntos de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 4 PISOS CON DISIPADORES			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE	DESP.
		Tn.	m.
S. Servicio		453.22	0.007
S. Diseño	X-X	1233.56	0.021
S. Máximo		1836.52	0.035
S. Servicio		312.61	0.005
S. Diseño	Y-Y	651.15	0.011
S. Máximo		1277.19	0.027

a. Sismo de Servicio

La Figura 209 y Figura 210 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos con disipadores histeréticos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

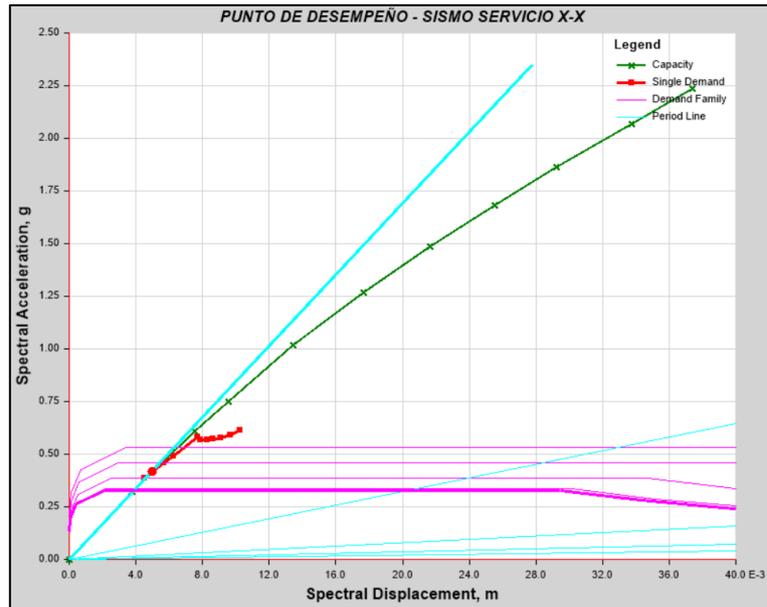


Figura 209: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección X-X.

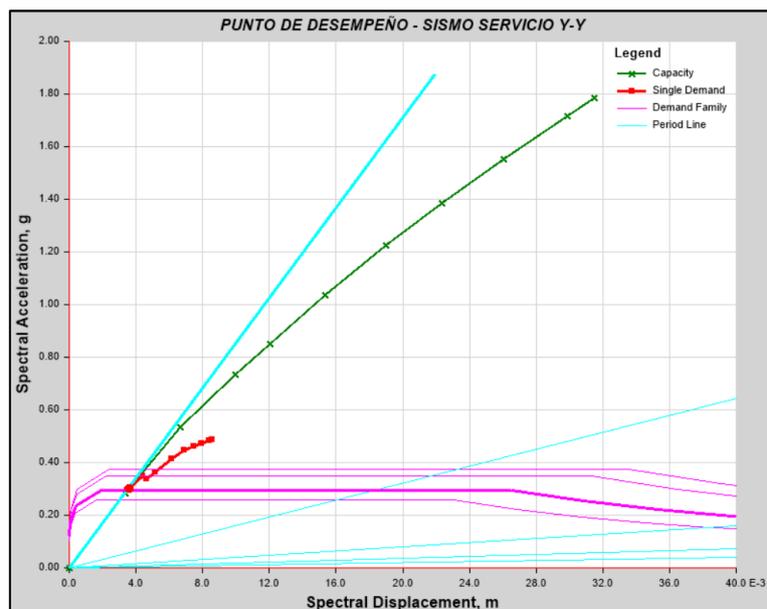


Figura 210: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 211 y Figura 212 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos con disipadores histeréticos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

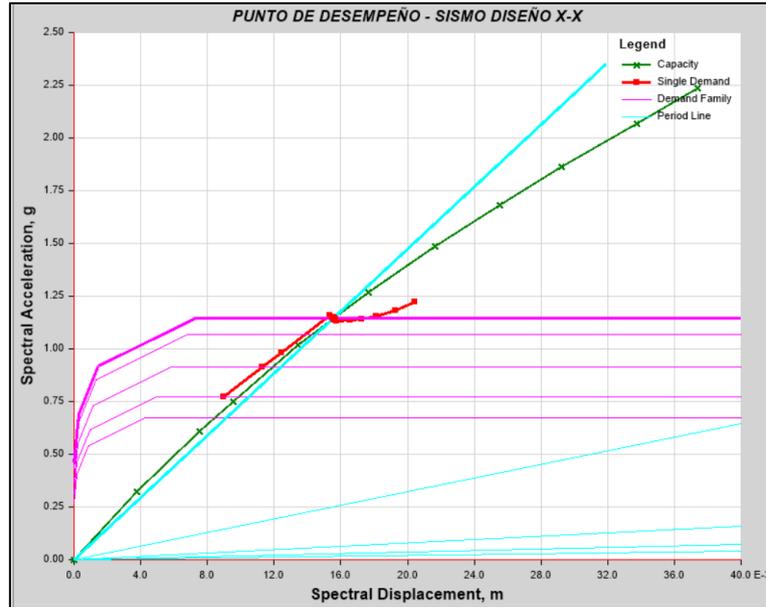


Figura 211: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección X-X.

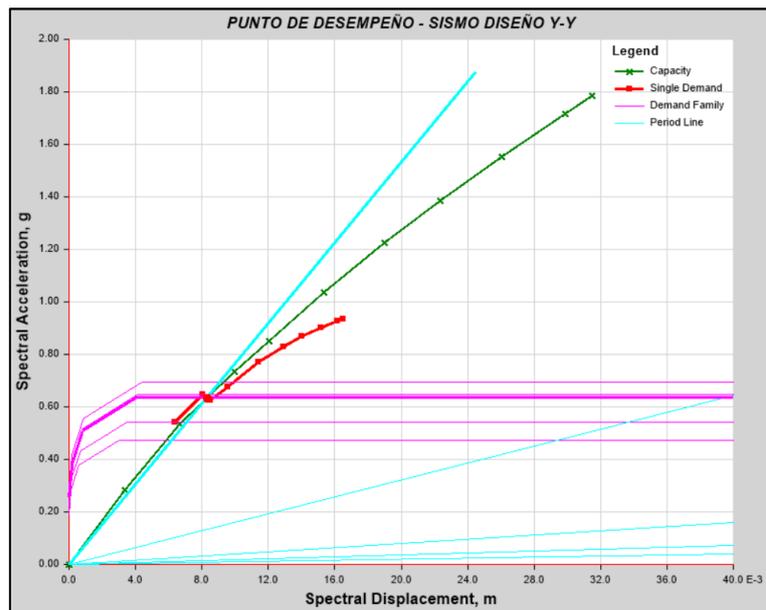


Figura 212: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 213 y Figura 214 muestran el punto de desempeño de la estructura de 4 pisos con disipadores histeréticos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

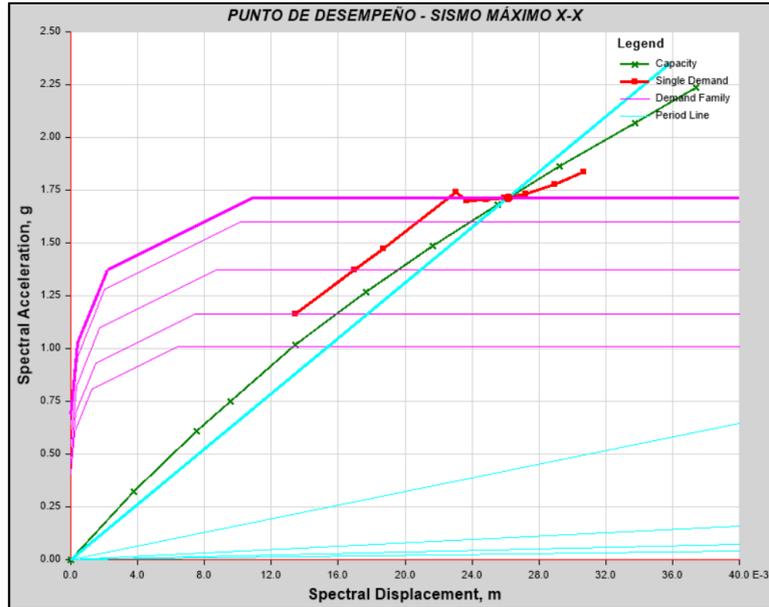


Figura 213: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección X-X.

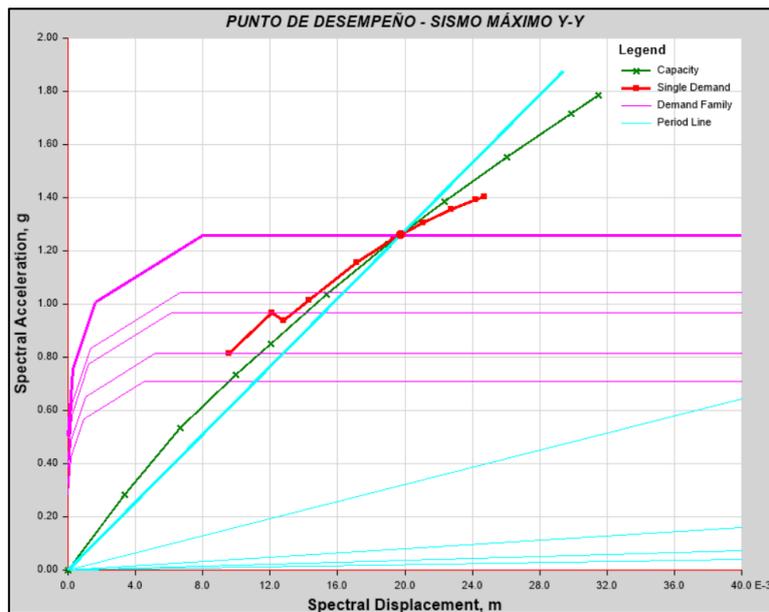


Figura 214: Punto de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.3.2. Estructuras de Oficinas de 8 pisos

A continuación se muestra en la Tabla N° 131, el resumen de los puntos de desempeño de la estructura de 8 pisos con disipadores hysteréticos, ante los sismos de servicio, sismo de diseño y sismo máximo como se mencionó anteriormente.

Tabla 131:
Puntos de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores.

PUNTOS DE DESEMPEÑO DE ESTRUCTURA DE 8 PISOS CON DISIPADORES			
SISMO	DIRECCIÓN	CORTANTE	DESP.
		Tn.	m.
S. Servicio		339.02	0.011
S. Diseño	X-X	664.82	0.023
S. Máximo		953.21	0.037
S. Servicio		324.65	0.013
S. Diseño	Y-Y	638.35	0.028
S. Máximo		1048.26	0.059

a. Sismo de Servicio

La Figura 215 y Figura 216 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos con disipadores histeréticos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Servicio (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

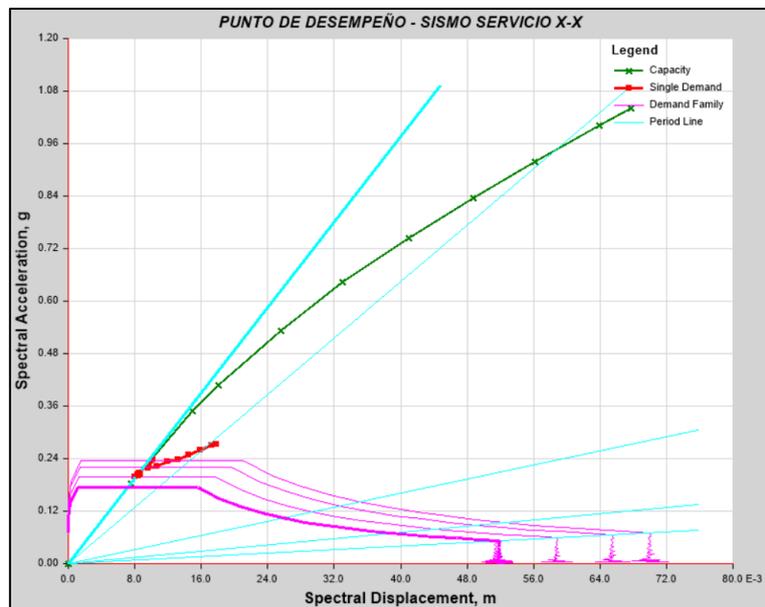


Figura 215: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección X-X.

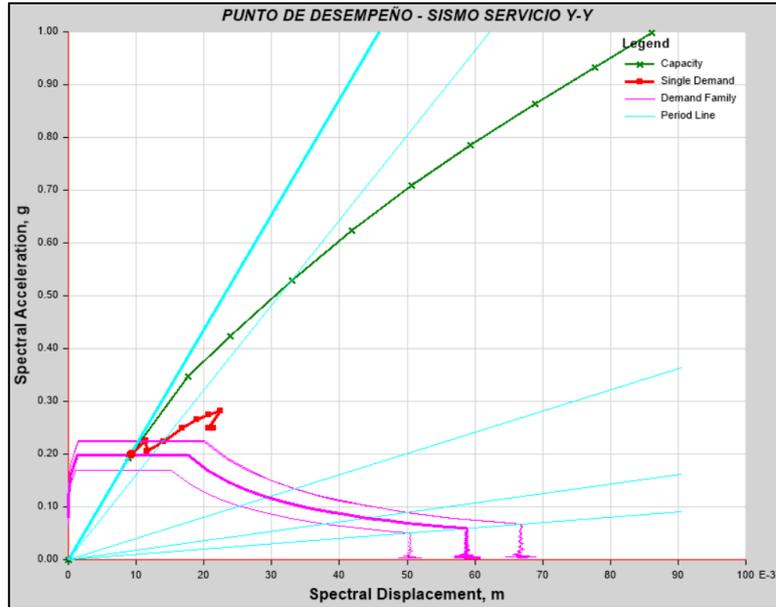


Figura 216: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de servicio en la dirección Y-Y.

b. Sismo de Diseño

La Figura 217 y Figura 218 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos con disipadores histeréticos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo de Diseño (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

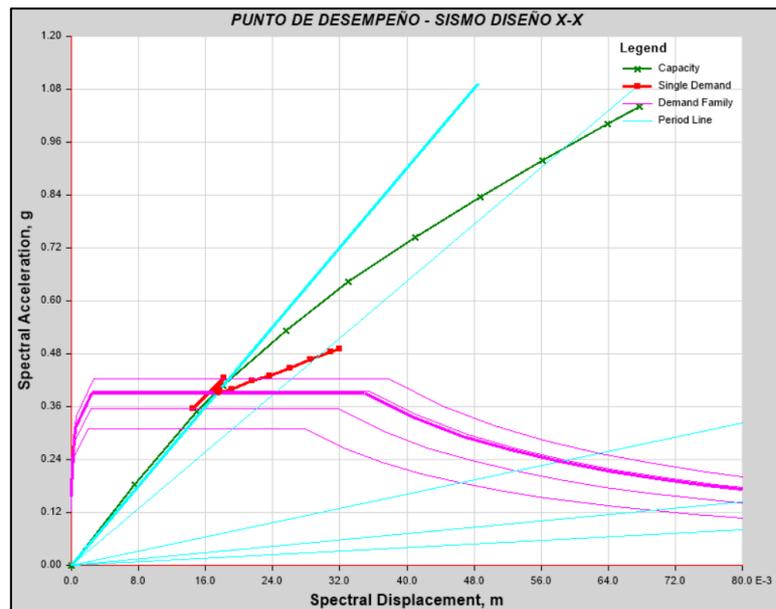


Figura 217: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección X-X.

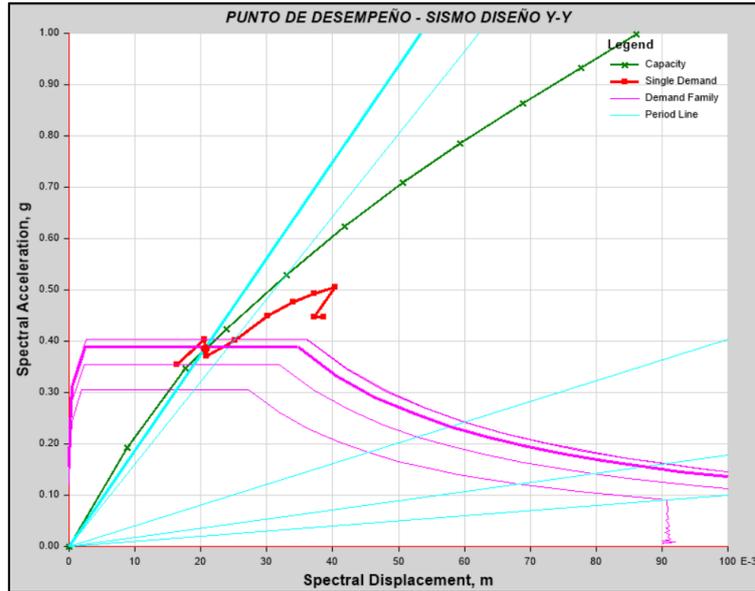


Figura 218: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo de diseño en la dirección Y-Y.

c. Sismo Máximo

La Figura 219 y Figura 220 muestran el punto de desempeño de la estructura de 8 pisos con disipadores hysteréticos; para la dirección X-X y Y-Y respectivamente, como producto de la intersección del espectro de demanda del Sismo Máximo (curva color rojo) y el espectro de capacidad de la estructura (curva color verde).

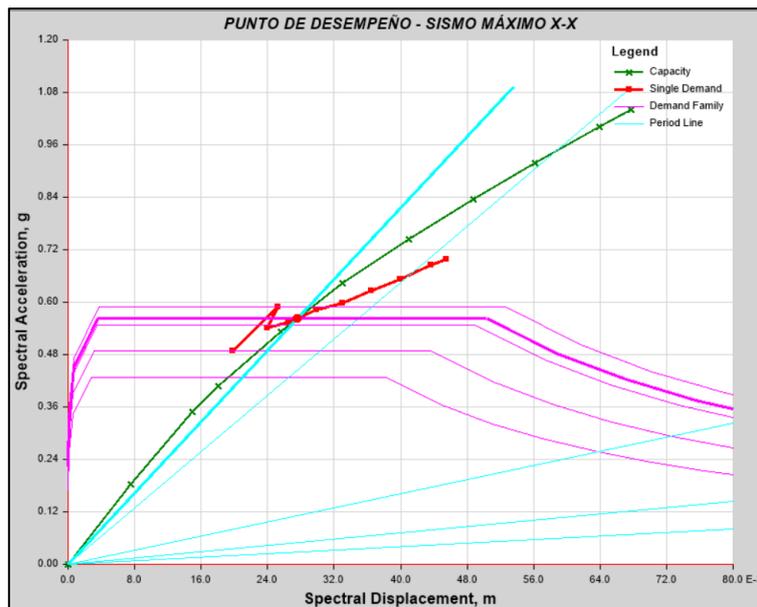


Figura 219: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección X-X.

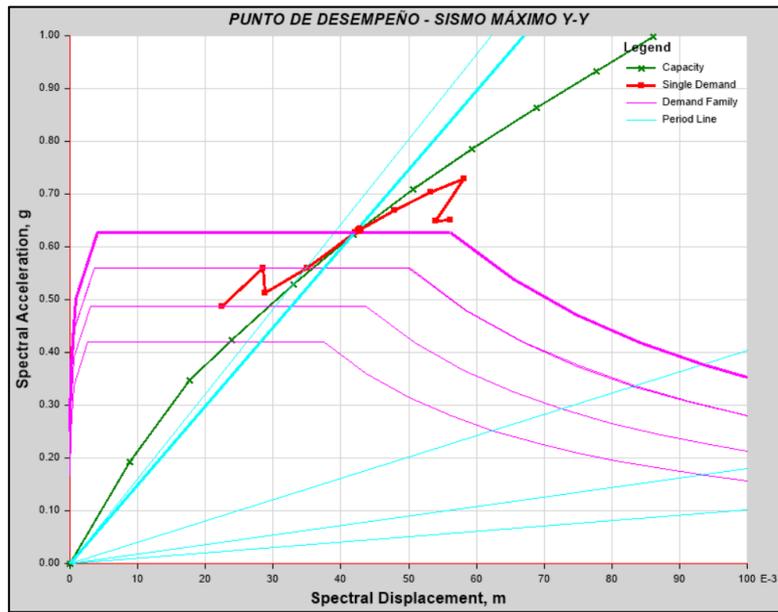


Figura 220: Punto de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores para sismo máximo en la dirección Y-Y.

3.11.3.3. Estructuras de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Como se mencionó anteriormente, el desempeño sísmico de la edificación de 16 pisos con disipadores se realizó mediante el análisis de las distorsiones de entrepiso de dicha estructura obtenidas con el análisis tiempo historia no lineal. Por tal motivo en la Tabla N° 132, se presentan las distorsiones para el sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo, en la dirección X-X y la dirección Y-Y.

Tabla 132:

Distorsiones de entrepiso en estructura de 16 pisos con disipadores para determinación de desempeño sísmico.

DISTORSIONES DE ENTREPISO EN ESTRUCTURA DE 16 PISOS CON DISIPADORES		
Sismo	Distorsión de entrepiso	
	Dirección X-X	Dirección Y-Y
Servicio	2.20 ‰	1.86 ‰
Diseño	4.40 ‰	3.73 ‰
Máximo	6.60 ‰	5.59 ‰

A continuación se gráficamente el nivel de desempeño alcanzando para los tres tipos de sismos en la dirección X-X y dirección Y-Y. Como se observa la Figura 221, la estructura de 16 pisos con disipadores alcanza el nivel de ocupación inmediata cuando es sometida a un sismo de servicio y sismo de diseño; mientras que con el sismo máximo, la estructura se encuentra en el nivel de seguridad de vida, en la dirección X-X. Por otro lado, en la dirección Y-Y, la estructura alcanza el nivel de desempeño operacional con el sismo de servicio, ocupación inmediata con sismo de diseño y el nivel de seguridad de vida con el sismo máximo, como se muestra en la Figura 222.

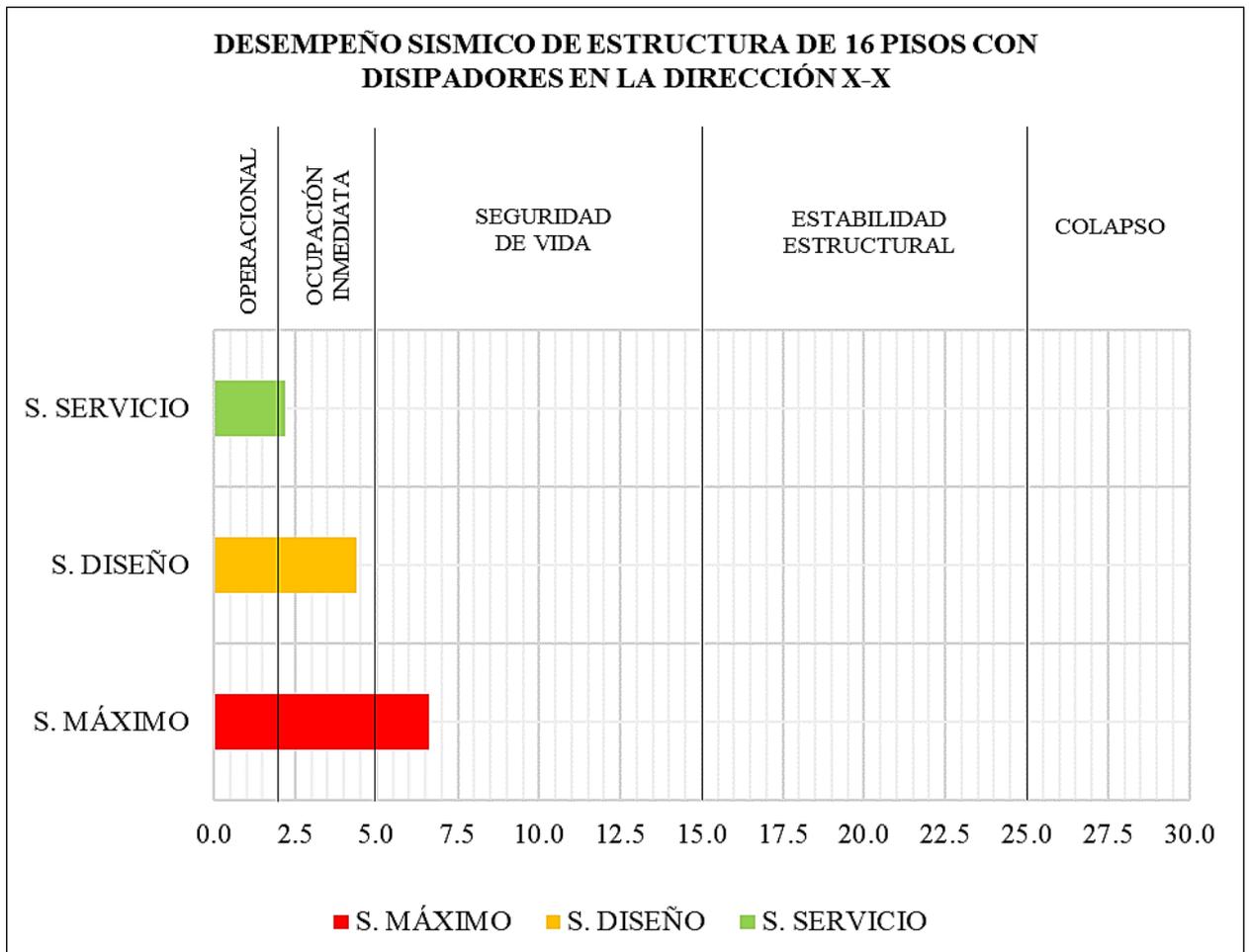


Figura 221: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con disipadores en la dirección X-X.

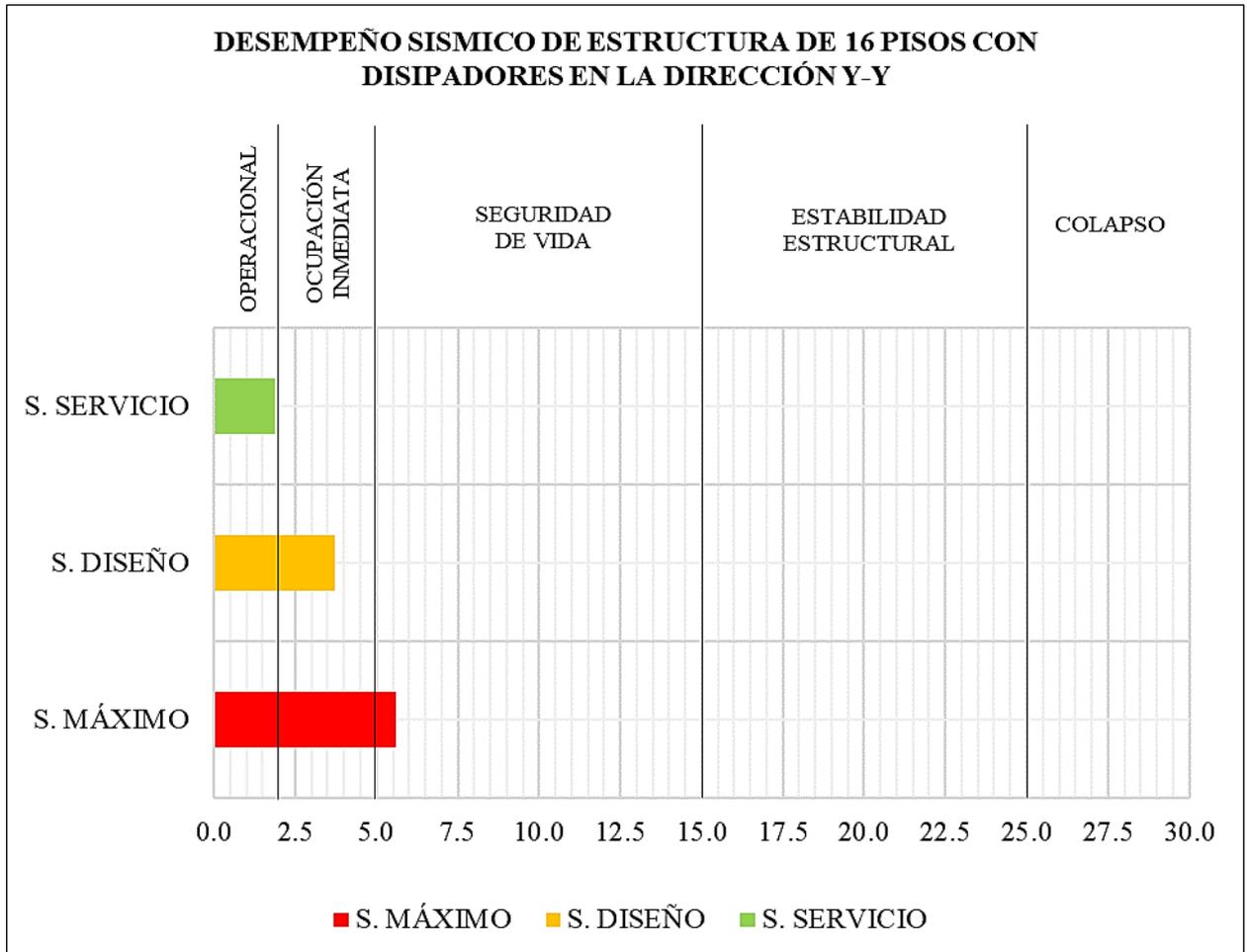


Figura 222: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.

3.12. Desempeño sísmico

A continuación se muestran la sectorización de la curva de capacidad en los cinco niveles de desempeño, mencionados y explicados en las bases teóricas de la presente investigación; además, los puntos de desempeño sísmico que se obtienen con el sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo.

3.12.1. Desempeño sísmico de estructuras sin protección sísmica

a. Estructura de Centro comercial de 4 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 4 pisos sin protección sísmica, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata”

con sismo de diseño y “Estabilidad Estructural” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 223. Del mismo modo, en la dirección Y-Y, la estructura de 4 pisos sin protección sísmica, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Estabilidad Estructural” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 224.

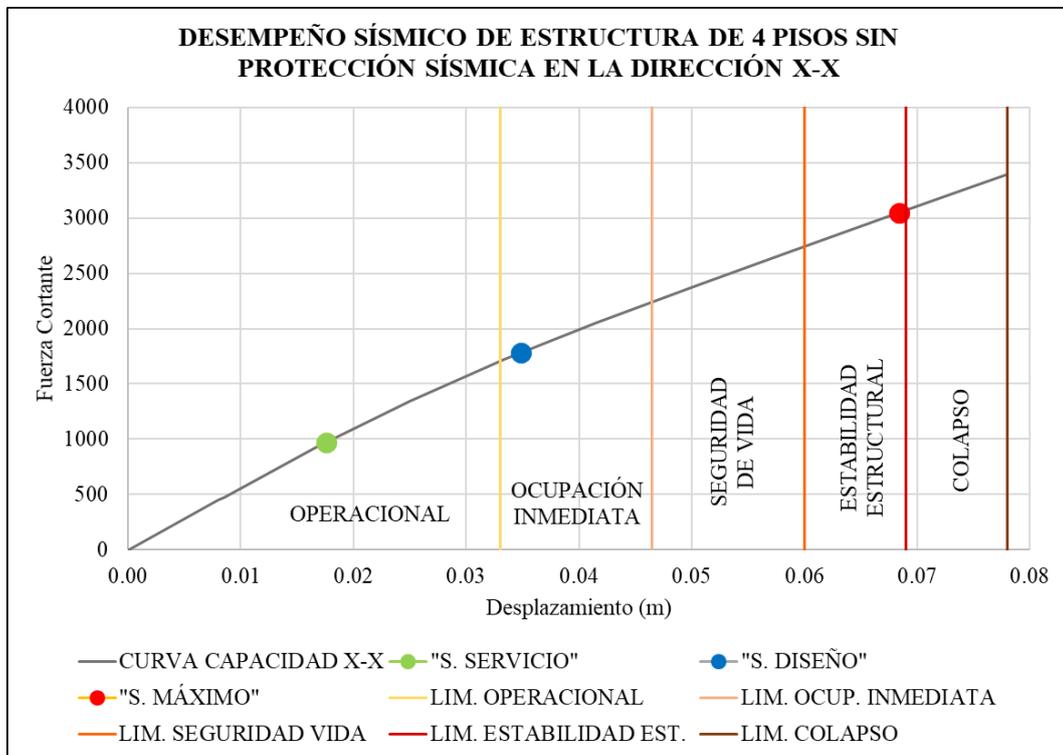


Figura 223: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos sin protección sísmica en la dirección X-X.

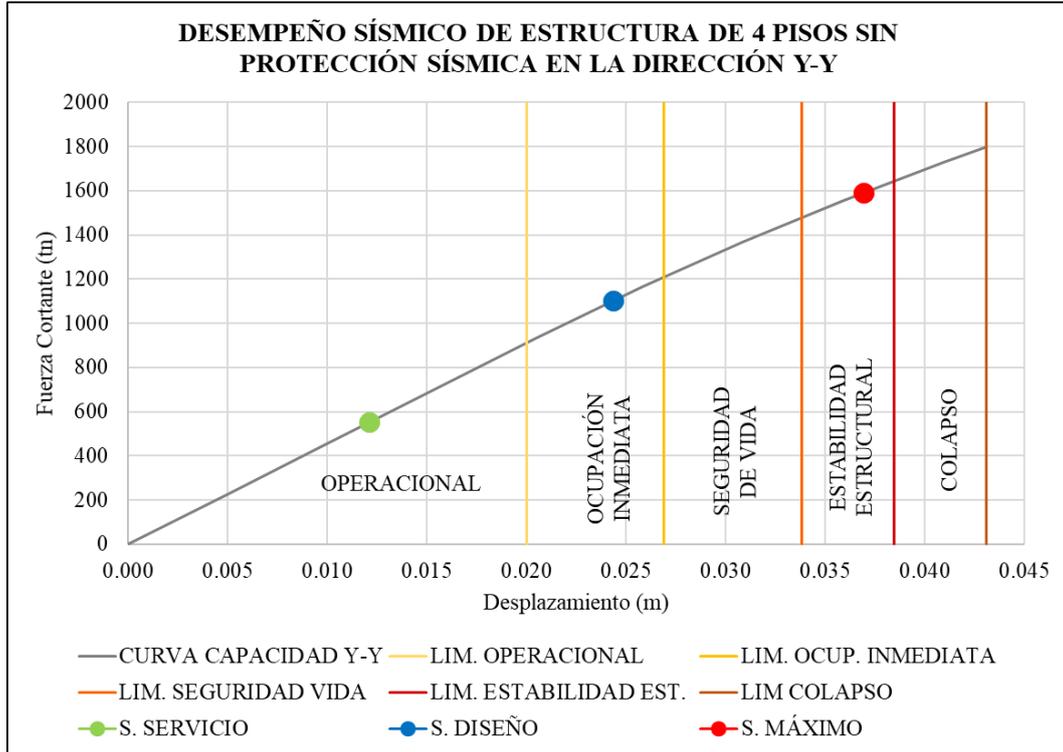


Figura 224: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos sin protección sísmica en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 133. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 133:

Matriz de desempeño de la estructura de 4 pisos sin protección sísmica.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 4 pisos sin protección sísmica				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio	■				
S. Diseño		■			
S. Máximo				■	

b. Estructura de Oficina de 8 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 8 pisos sin protección sísmica, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Seguridad de Vida”

con sismo de diseño y “Colapso” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 225. Asimismo, en la dirección Y-Y, la estructura de 8 pisos sin protección sísmica, alcanza el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” con sismo de servicio, “Seguridad de Vida” con sismo de diseño y “Estabilidad Estructural” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 226.

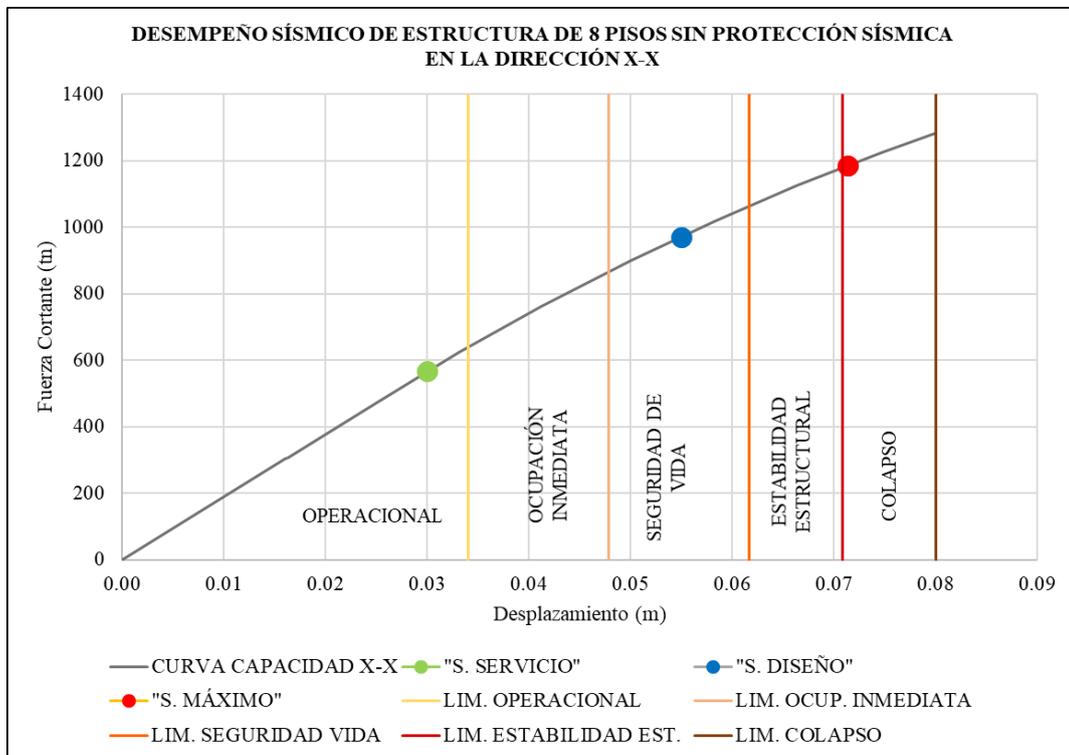


Figura 225: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos sin protección sísmica en la dirección X-X.

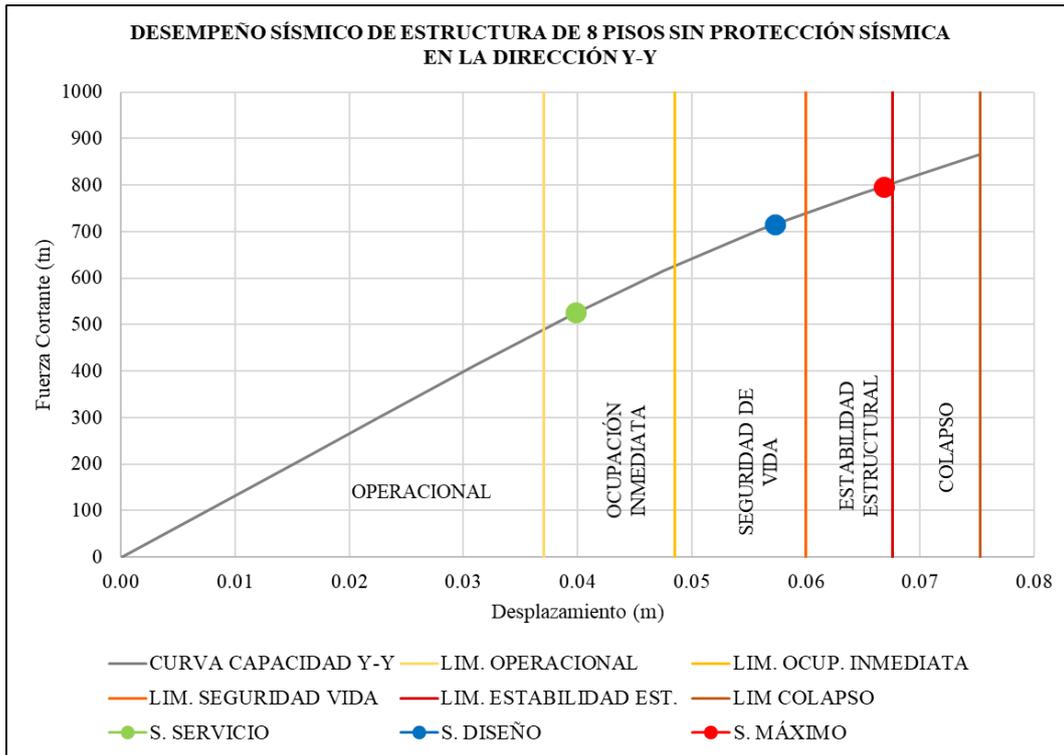


Figura 226: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos sin protección sísmica en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 134. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 134:

Matriz de desempeño de la estructura de 8 pisos sin protección sísmica.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 8 pisos sin protección sísmica				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio		■			
S. Diseño			■		
S. Máximo					■

c. Estructura de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 16 pisos sin protección sísmica, alcanza el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” con sismo de servicio, “Seguridad de Vida” con sismo de diseño y “Colapso” con el sismo máximo considerado, de

acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 227. Por otro lado, en la dirección Y-Y, la estructura de 16 pisos sin protección sísmica, alcanza el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” con sismo de servicio, “Estabilidad Estructural” con sismo de diseño y “Colapso” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 228.

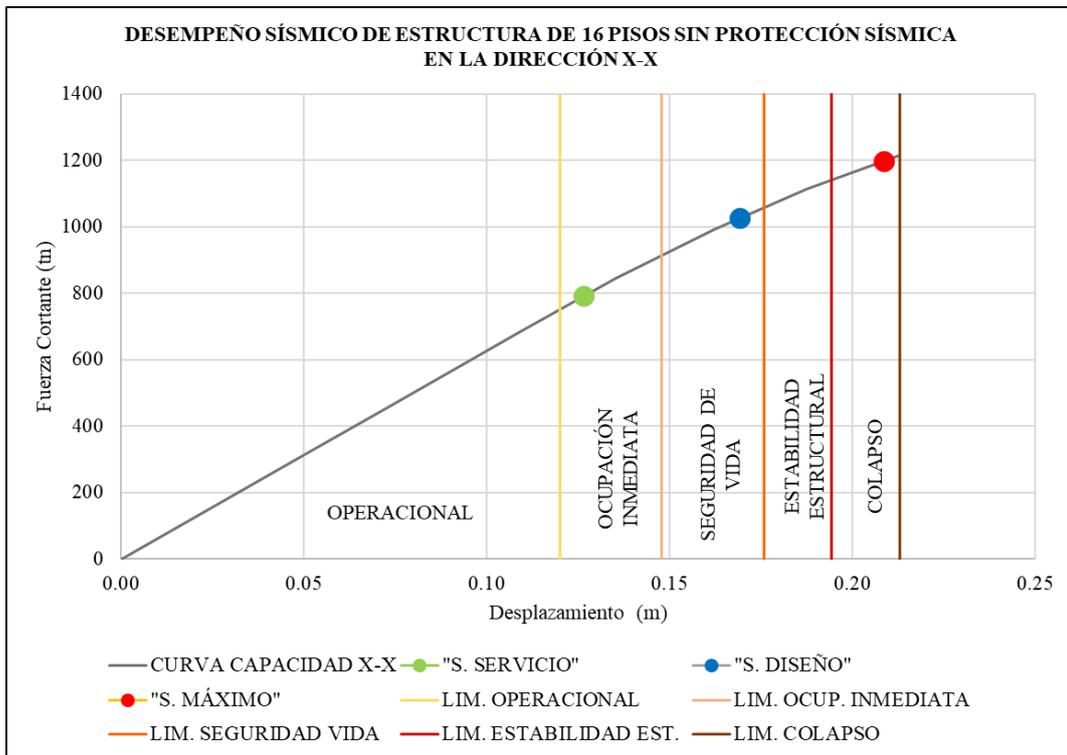


Figura 227: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos sin protección sísmica en la dirección X-X.

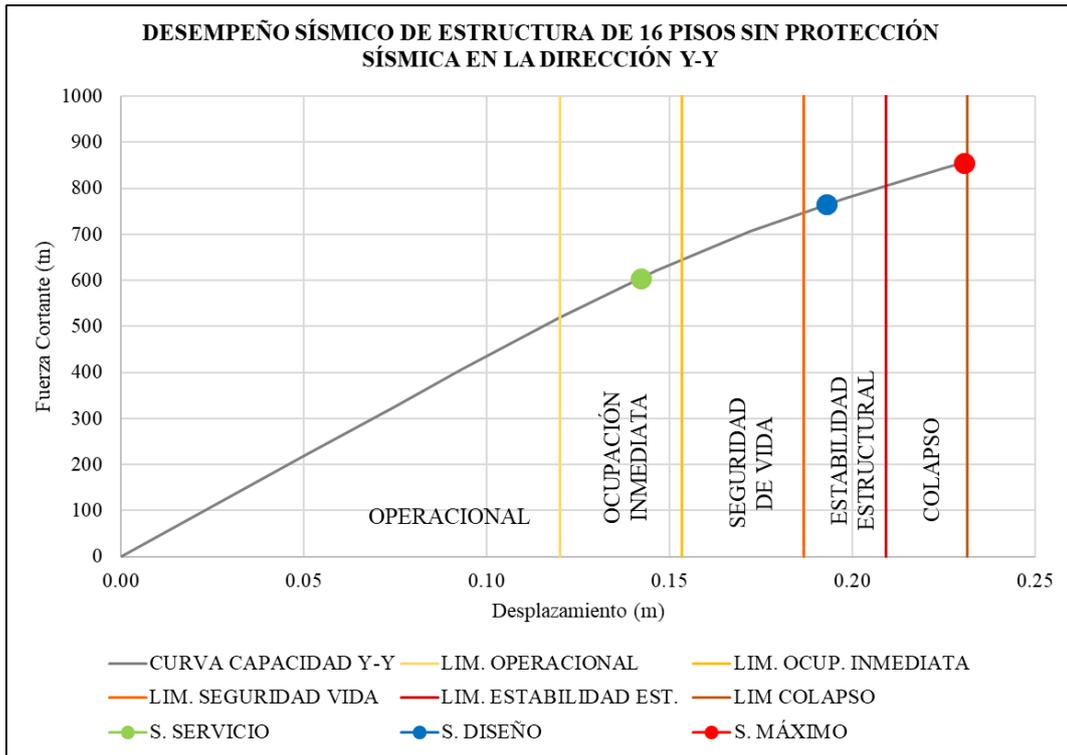


Figura 228: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos sin protección sísmica en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 135. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 135:

Matriz de desempeño de la estructura de 16 pisos sin protección sísmica.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 16 pisos sin protección sísmica				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio		■			
S. Diseño				■	
S. Máximo					■

3.12.2. Desempeño sísmico de estructuras con aisladores

a. Estructura de Centro comercial de 4 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 4 pisos con aisladores elastoméricos, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Ocupación Inmediata” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 229. Por otro lado, en la dirección Y-Y, la estructura de 4 pisos con aisladores elastoméricos, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Ocupación Inmediata” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 230.

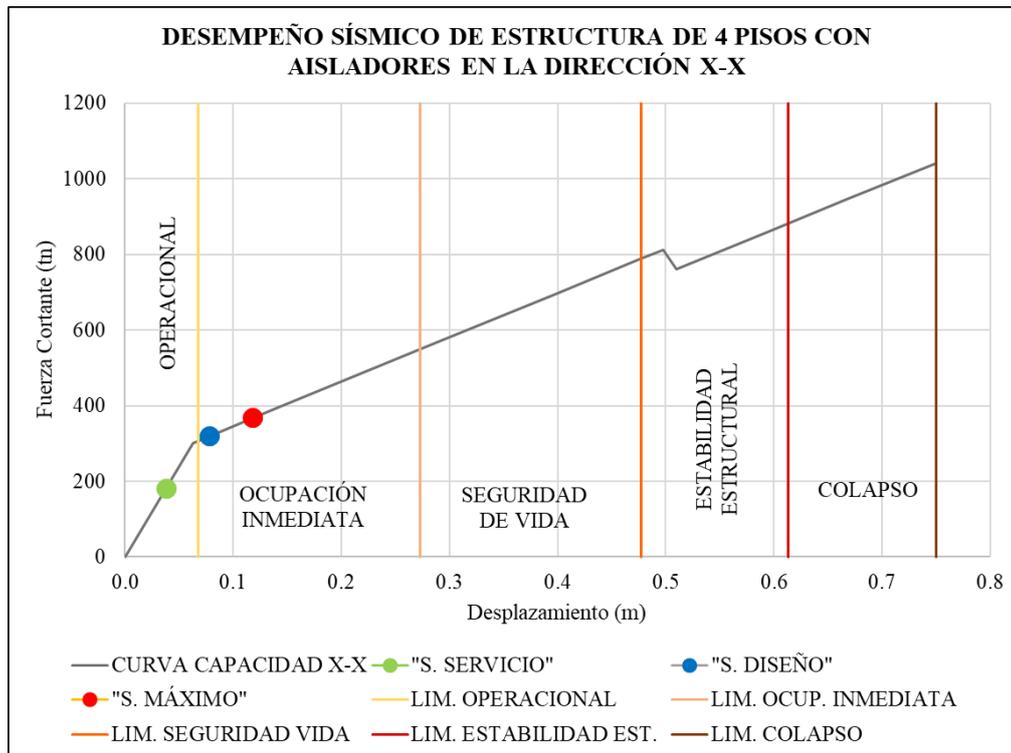


Figura 229: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección X-X.

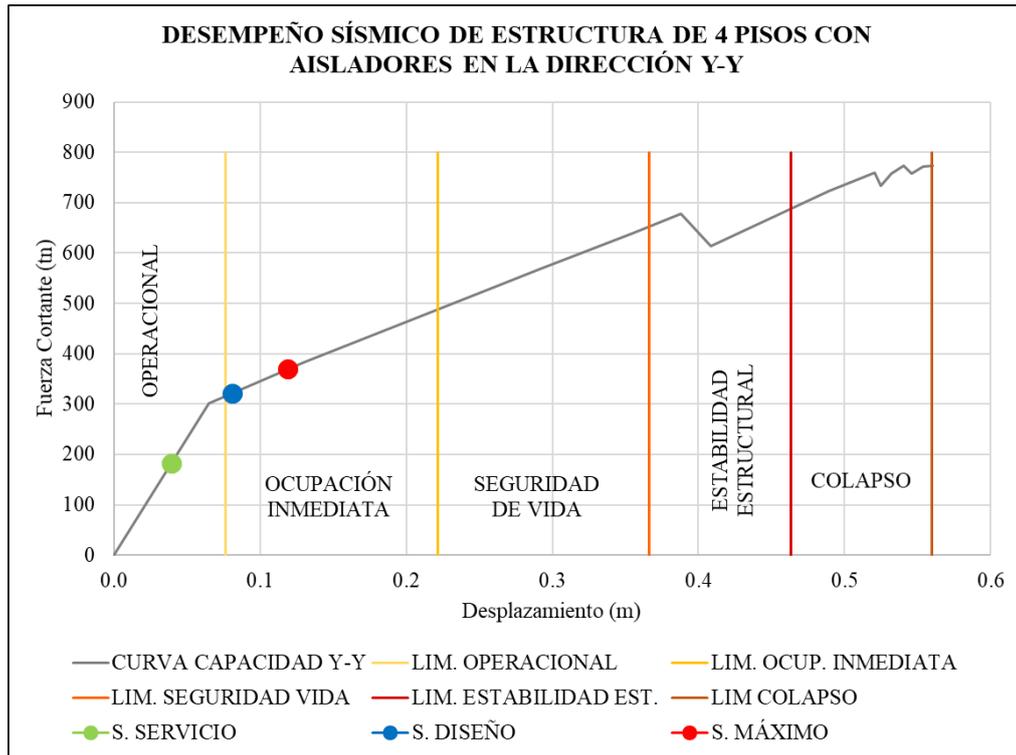


Figura 230: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 136. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 136:

Matriz de desempeño de la estructura de 4 pisos con aisladores.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 4 pisos con aisladores				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio					
S. Diseño					
S. Máximo					

b. Estructura de Oficina de 8 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 8 pisos con aisladores elastoméricos, alcanza el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Seguridad de Vida” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 231. Por otro lado, en la dirección Y-Y, la estructura de 8 pisos con aisladores elastoméricos, alcanza el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Seguridad de Vida” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 232.

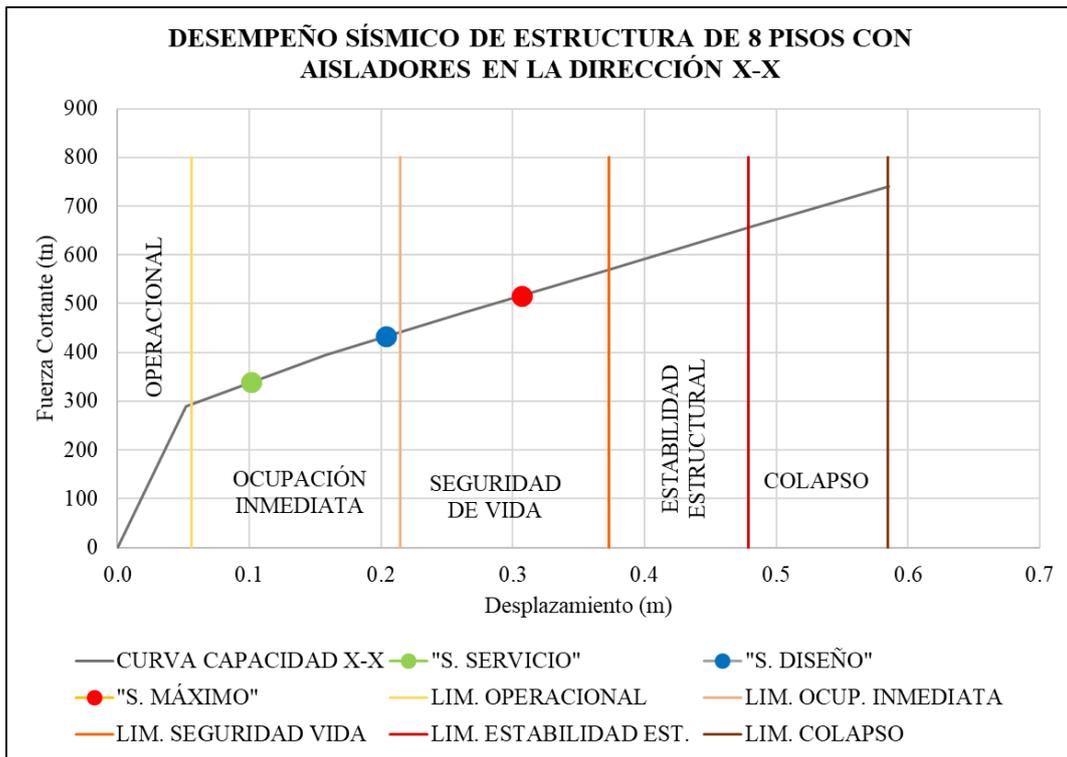


Figura 231: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección X-X.

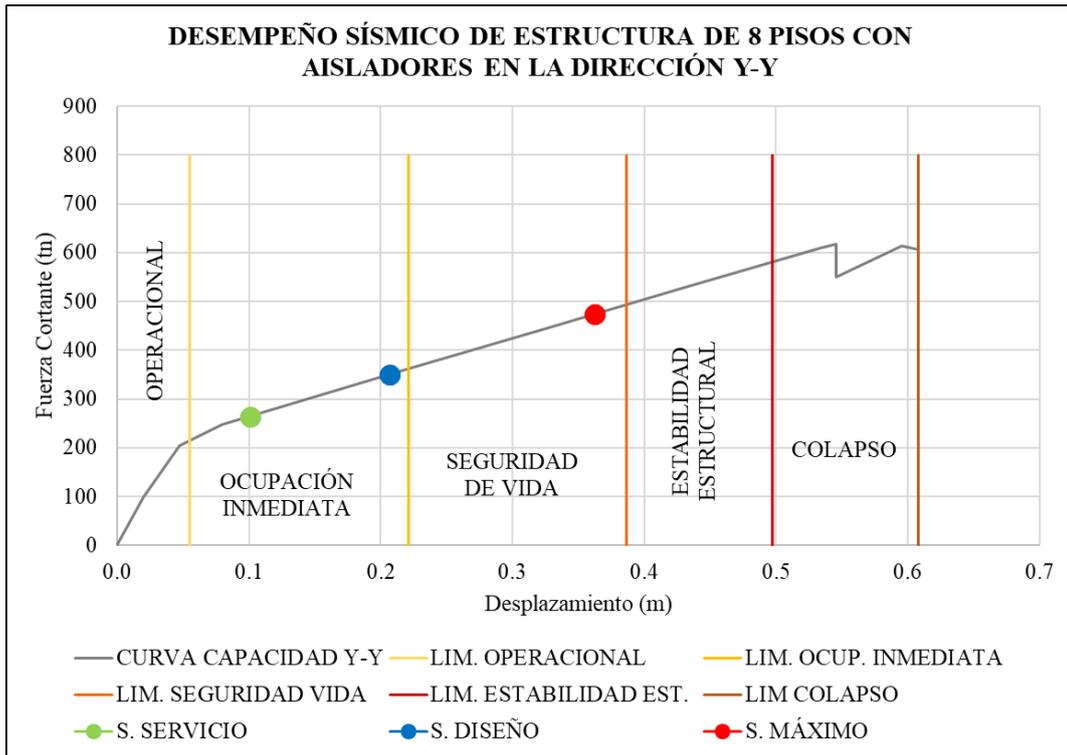


Figura 232: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 137. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 137:

Matriz de desempeño de la estructura de 8 pisos con aisladores.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 8 pisos con aisladores				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio					
S. Diseño					
S. Máximo					

c. Estructura de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 16 pisos con aisladores elastoméricos, alcanza el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Seguridad de Vida” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 233. Por otro lado, en la dirección Y-Y, la estructura de 16 pisos con aisladores elastoméricos, alcanza el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Seguridad de Vida” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 234.

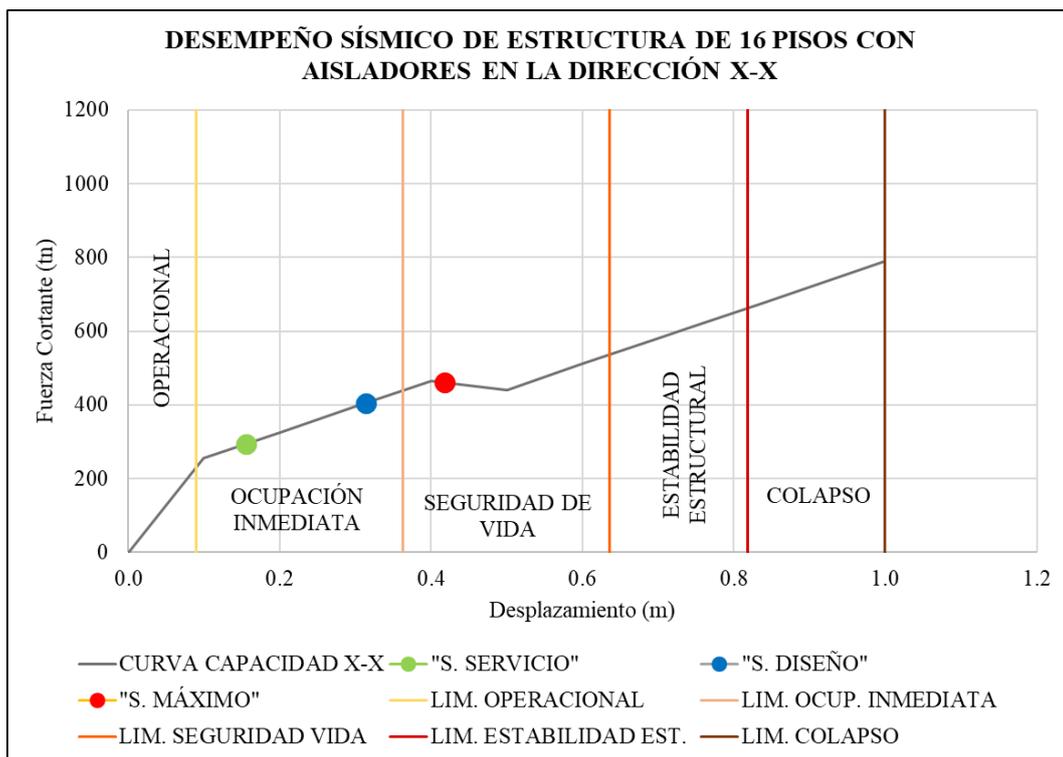


Figura 233: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección X-X.

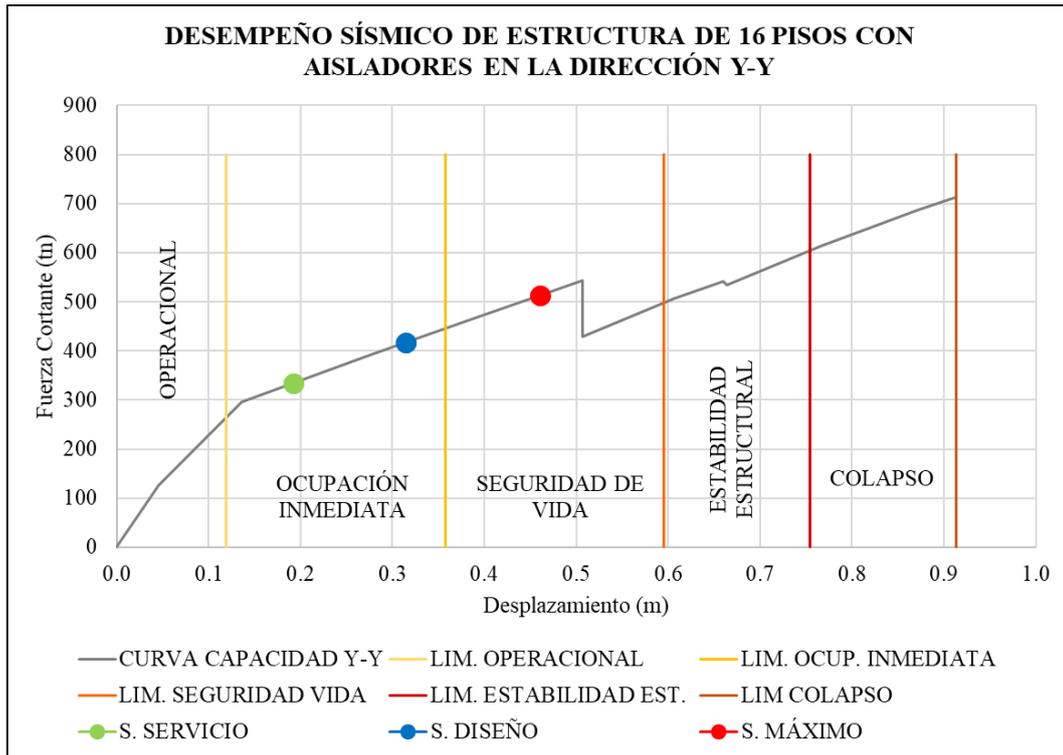


Figura 234: Desempeño sísmico de estructura de 16 pisos con aisladores en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 138. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 138:

Matriz de desempeño de la estructura de 16 pisos con aisladores.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 16 pisos con aisladores				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio					
S. Diseño					
S. Máximo					

3.12.3. Desempeño sísmico de estructuras con disipadores

a. Estructura de Centro comercial de 4 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 4 pisos con disipadores histeréticos, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Ocupación Inmediata” con sismo de diseño y “Seguridad de Vida” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 235. Por otro lado, en la dirección Y-Y, la estructura de 4 pisos con disipadores histeréticos, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Operacional” con sismo de diseño y “Seguridad de Vida” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 236.

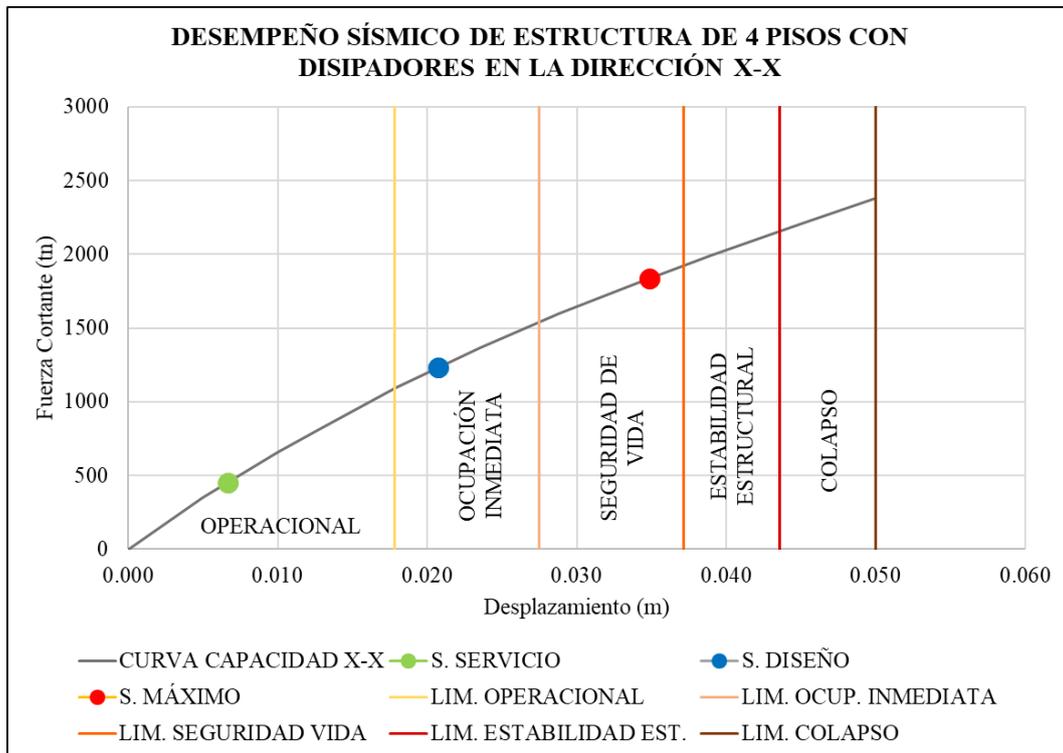


Figura 235: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección X-X.

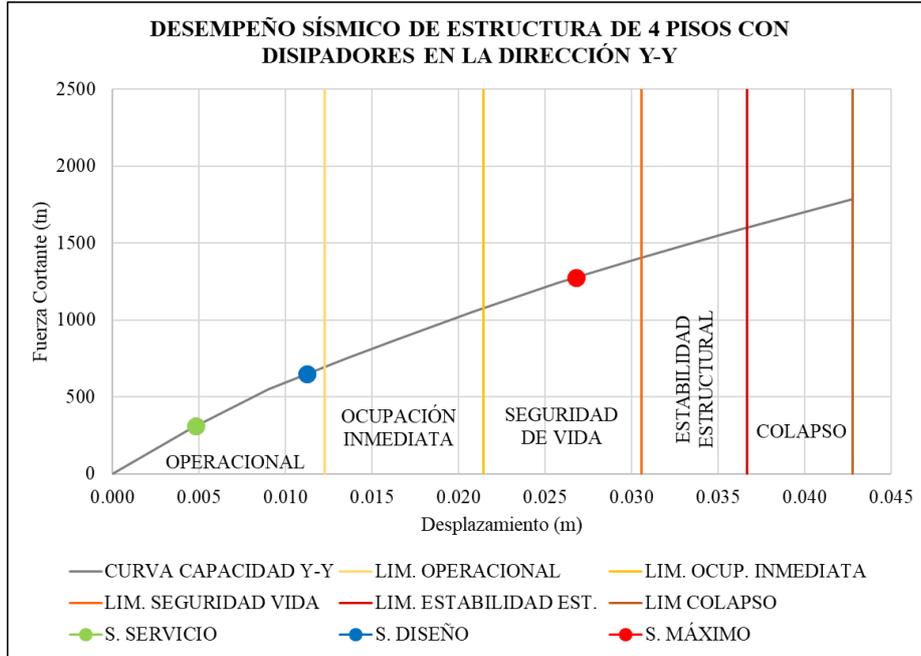


Figura 236: Desempeño sísmico de estructura de 4 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 139. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 139:

Matriz de desempeño de la estructura de 4 pisos con disipadores.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 4 pisos con disipadores				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio	Operacional				
S. Diseño		Ocupación Inmediata			
S. Máximo			Seguridad de Vida		

b. Estructura de Oficina de 8 pisos

En la dirección X-X, la estructura de 8 pisos con disipadores histeréticos, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Operacional” con sismo de diseño y “Ocupación Inmediata” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en

la Figura 237. Por otro lado, en la dirección Y-Y, la estructura de 8 pisos con disipadores histeréticos, alcanza el nivel de desempeño “Operacional” con sismo de servicio, “Operacional” con sismo de diseño y “Ocupación Inmediata” con el sismo máximo considerado, de acuerdo a la sectorización de su curva de capacidad estructural, como se muestra en la Figura 238.

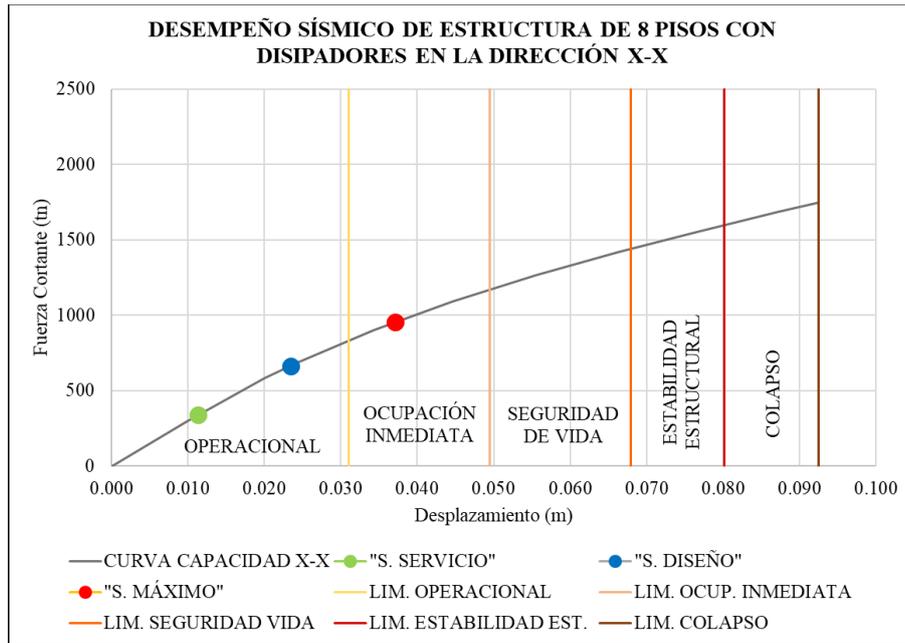


Figura 237: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección X-X.

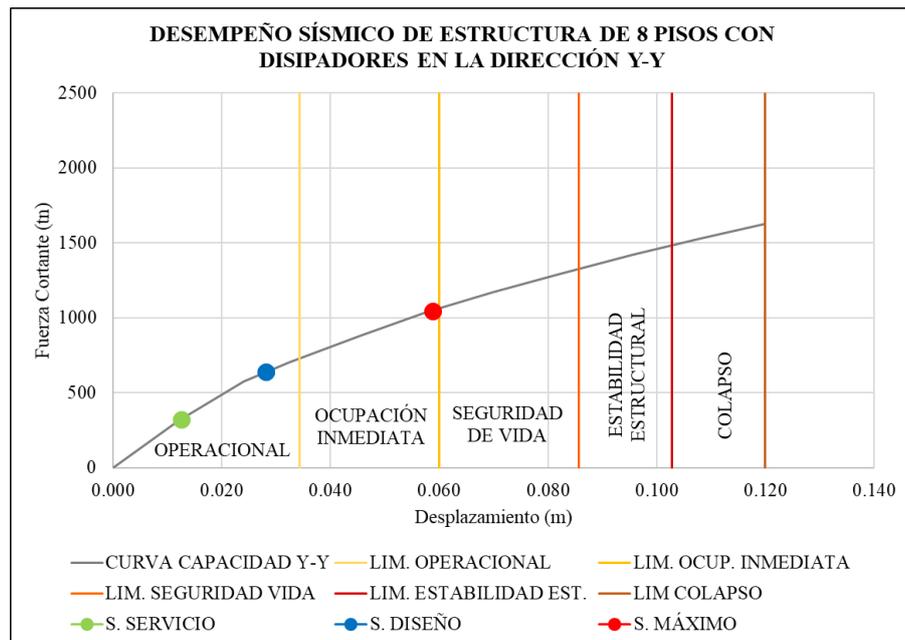


Figura 238: Desempeño sísmico de estructura de 8 pisos con disipadores en la dirección Y-Y.

Con estos puntos de desempeño y la sectorización de la curva de capacidad de la estructura, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 140. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 140:

Matriz de desempeño de la estructura de 8 pisos con disipadores.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 8 pisos con disipadores				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio					
S. Diseño					
S. Máximo					

c. Estructura de Vivienda multifamiliar de 16 pisos

Con los niveles de desempeño alcanzados por la estructura de 16 pisos con disipadores presentados anteriormente, se elaboró la matriz de desempeño como se muestra en la Tabla N° 141. Esta matriz representa los niveles de desempeño de la estructura global, considerando los niveles más desfavorables entre la dirección “X-X” y “Y-Y”.

Tabla 141:

Matriz de desempeño de la estructura de 16 pisos con disipadores.

Nivel de sismo	Niveles de desempeño de estructura de 16 pisos con disipadores				
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural	Colapso
S. Servicio					
S. Diseño					
S. Máximo					

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Periodos de vibración

Para el análisis comparativo de los periodos fundamentales de vibración de las estructuras sin protección sísmica, con disipadores hysteréticos y con aisladores elastoméricos, se consideró los 2 modos de traslación en X-X y Y-Y. Como se muestra en la Figura 239, los periodos de vibración; en comparación con las estructuras sin protección sísmica, se reducen al incorporar el sistema de disipación hysterético en las 3 edificaciones (4, 8 y 16 pisos), comprobando con esto lo mencionado por (Morales & Sinchiguano, 2018) y (Miranda & Ontiveros, 2020), puesto que, en ambas investigaciones se llega a la conclusión que los disipadores hysteréticos SLB aumentan la rigidez de la estructura; en consecuencia, los periodos disminuyen. Por otro lado, al incorporar el sistema de aislamiento elastomérico LRB, se aumenta considerablemente el periodo en las 3 estructuras en análisis (4, 8 y 16 piso); comprobando así lo mencionado por (Chilón, 2017), (Tocto, 2018) y (Herrera, 2018), donde dichos autores concluyen que al disminuir la rigidez de los aisladores, se flexibiliza la base de la estructura, en consecuencia se aumentan los periodos de vibración de la estructura.

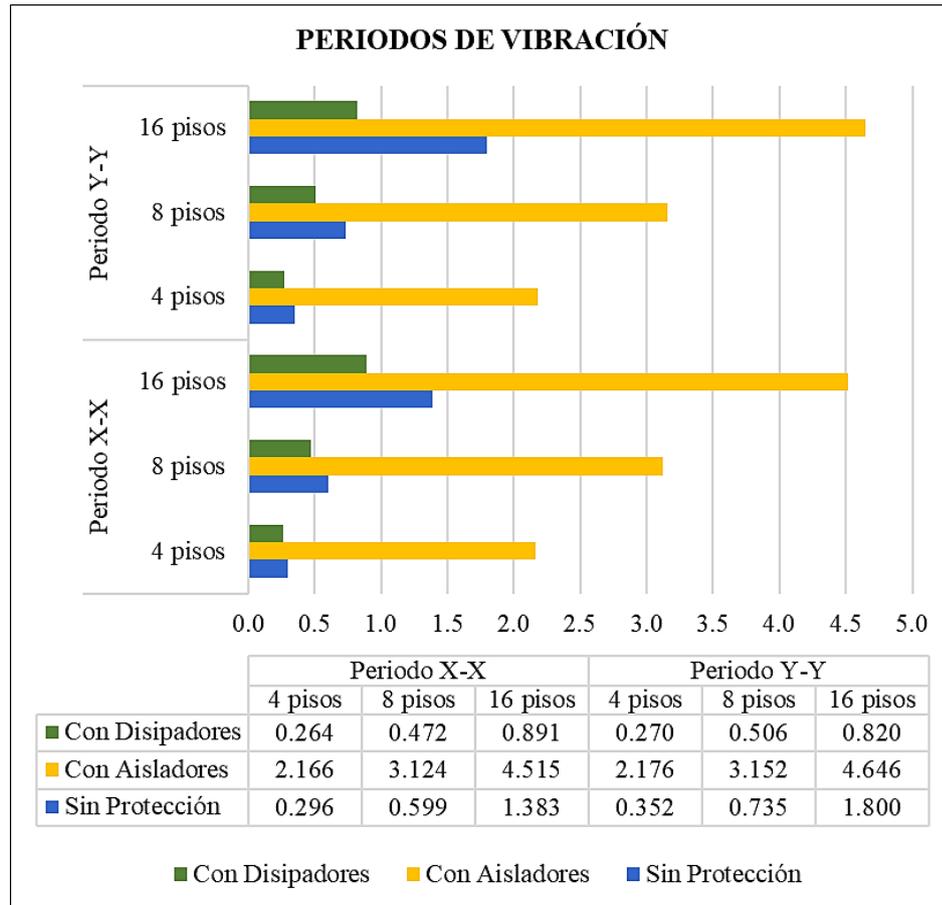


Figura 239: Periodos de vibración en estructuras sin protección sísmica, con disipadores y con aisladores.

4.1.2. Cortante en la base

Como se observa en la Figura 240, al incorporar el sistema de aislamiento elastomérico RLB; en comparación a la estructura sin protección sísmica, se logra reducir la cortante en la base en promedio un 35.70%, 34.0% y 34.80% para las estructuras de 4, 8 y 16 pisos respectivamente; Asimismo al incorporar el sistema de disipación de energía histerético SLB; en comparación a la estructura sin protección sísmica, se logra reducir la cortante en la base en promedio un 21.10%, 31.70% y 48.30% para las estructuras de 4, 8 y 16 pisos respectivamente; comprobando así, lo mencionado por (Herrera, 2018), quien concluye que para edificaciones con poca esbeltez, los aisladores reducen sustancialmente el valor de la cortante basal en comparación con los amortiguadores; mientras que para edificaciones con mayor

esbeltez, los amortiguadores son los que reducen en mayor medida la cortante basal en comparación con los aisladores. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, en la estructura de 4 pisos, se logra una reducción del 35.70% con aisladores y 21.10% con disipadores, comprobando así lo mencionado por (Chilón, 2017), quien concluyó que; en una edificación de 4 niveles, el sistema de disipadores puede reducir hasta un 25% la cortante basal, mientras que el sistema de aislamiento puede llegar a reducir hasta un 47% dicho cortante, comprobando así la mayor efectividad del sistema de aislamiento en edificaciones de poca altura.

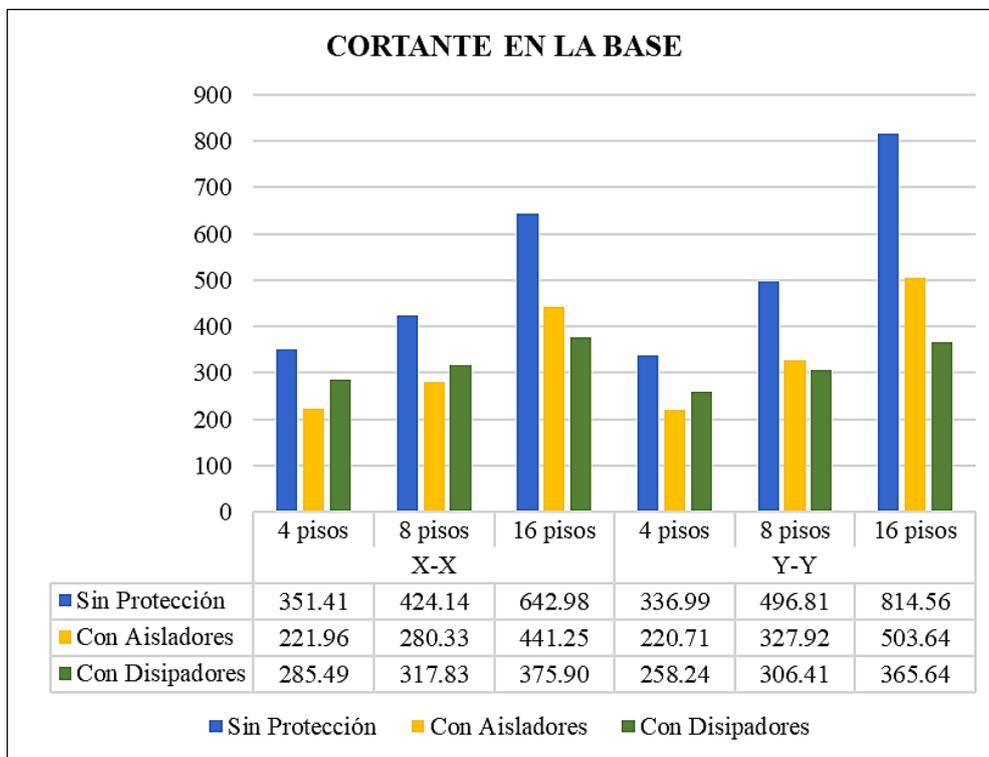


Figura 240: Cortantes en la base de estructuras sin protección sísmica, con disipadores y con aisladores.

4.1.3. Balance de energía

La Figura 241, muestra gráficamente el porcentaje de disipación de la energía de entrada que alcanzan los disipadores SLB, por ejemplo con la incorporación de estos dispositivos se disipa en promedio el 79.73% en la estructura de 4 pisos, 80.32% en la estructura de 8 pisos y 69.95% en la estructura de 16 pisos; mientras

que, al incorporar aisladores elastoméricos LRB, se disipa en promedio 98.41% en la estructura de 4 pisos, 78.43% en la estructura de 8 pisos y 89.63% en la estructura de 16 pisos; comprobando así, lo mencionado por (Ruiz & Torres, 2018), quienes en su investigación, concluyen que la incorporación de aisladores LRB, aumentan la disipación de energía en mayor medida respecto a la incorporación de disipadores, alcanzando una disipación máxima de 71.70% con aisladores y 27.84% con disipadores.

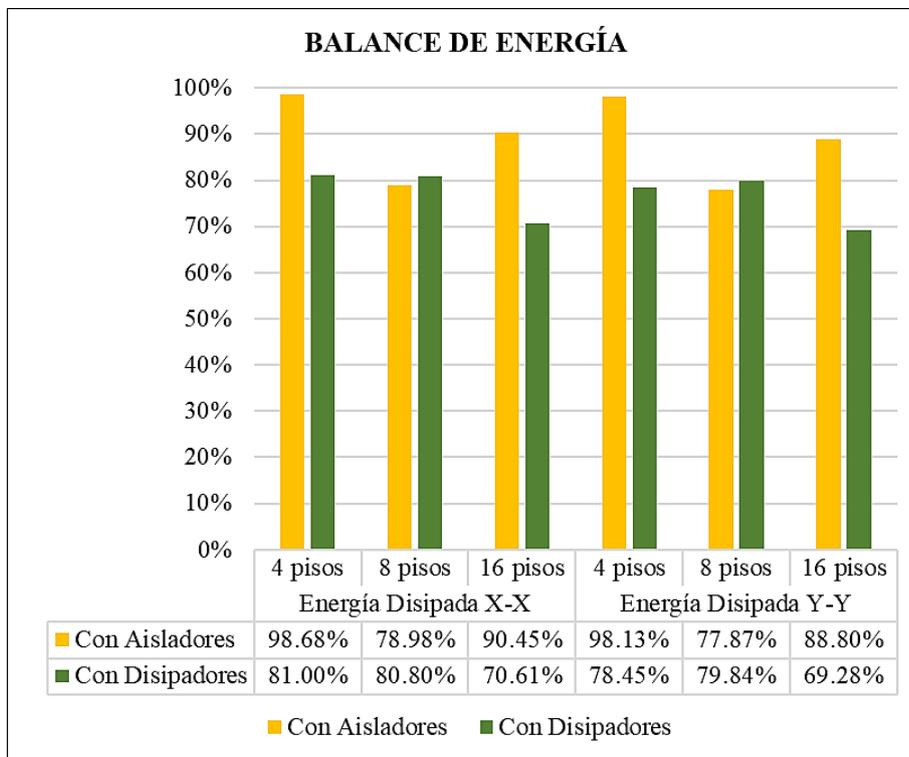


Figura 241: Porcentaje de energía disipada en estructuras con aisladores y disipadores.

4.1.4. Distorsiones de entrepiso

Como se muestra en la Figura 242, analizando los valores de la estructura de 4 pisos, el porcentaje de reducción de las distorsiones en promedio, es mayor con la incorporación de aisladores (73.98%) que con la incorporación de disipadores (43.50%), dichas distorsiones son menores al límite de 5.00% por ser obtenidas con análisis tiempo historia no lineal; ahora bien, analizando los valores de la estructura de 8 pisos, el porcentaje de reducción de las distorsiones en promedio, también es

mayor con la incorporación de aisladores (81.86%) que con la incorporación de disipadores (53.09%), cabe mencionar que con aisladores las distorsiones se mantienen menores a 5.00‰, pero con disipadores sobrepasan dicho límite según la E0.31, no obstante, se mantienen inferiores al límite de 8.75‰ según la NTE E0.30; finalmente analizando los valores de la estructura de 16 pisos, el porcentaje de reducción de las distorsiones en promedio, aun siguen siendo mayor con la incorporación de aisladores (78.73%) que con la incorporación de disipadores (64.65%), sin embargo, se puede apreciar que a medida que se aumentan los niveles de las estructuras, apartir de la estructura de 8 pisos, la eficacia de los aisladores se ve reducida en (3.13%) mientras que la eficacia de los disipadores aumenta en (11.56%), comprobando en cierta medida lo mencionado por (Herrera, 2018) y (Morales & Sinchiguano, 2018), quienes concluyen que a medida que incrementaron los niveles de las estructuras, la efectividad para controlar las distorsiones de entrepiso es mayor con la incorporación de disipadores que con el aislamiento en la base.

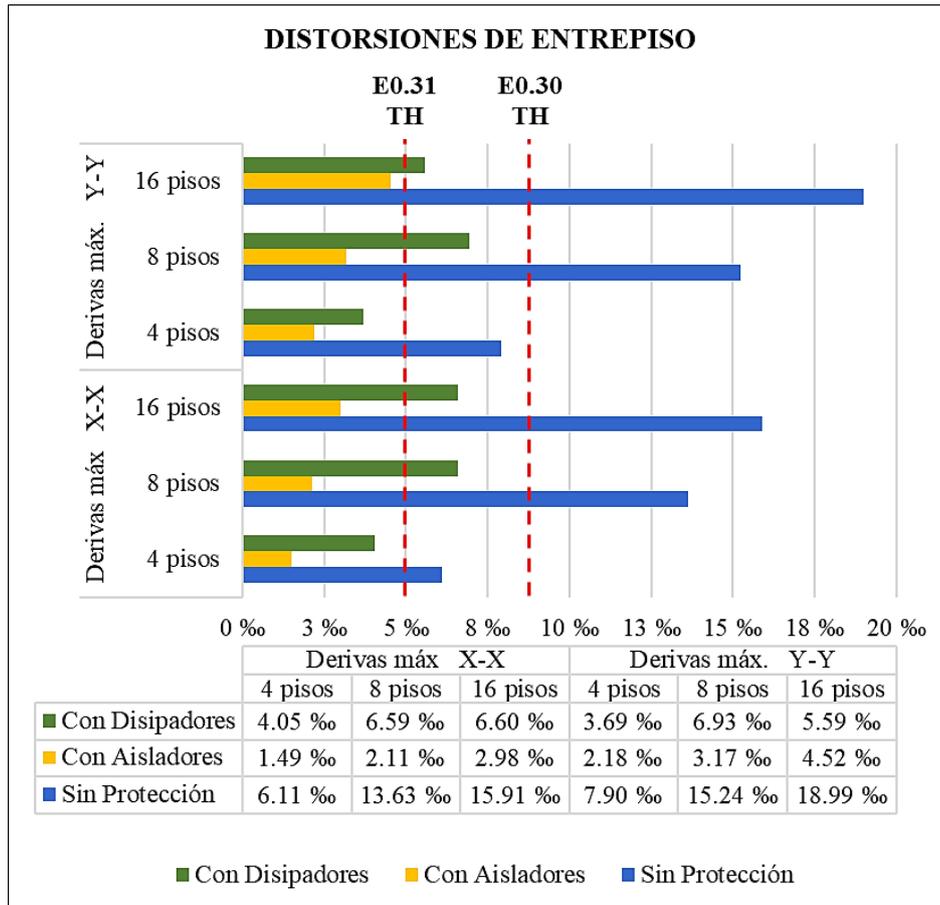


Figura 242: Distorsiones de entrepiso en estructura sin protección sísmica, con disipadores y con aisladores.

4.1.5. Desempeño sísmico

La información presentada en las matrices de desempeño sísmico de las estructuras, nos muestra que la estructura de 4 pisos sin protección sísmica, alcanza un nivel de estabilidad estructural con el sismo máximo, sin embargo al incorporar el sistema de aislamiento se logra un nivel de ocupación inmediata y al incorporar el sistema de disipación de energía histerético se alcanza un nivel de seguridad de vida; ahora bien, al analizar la matriz de desempeño de la estructura de 8 pisos, se alcanza un nivel de colapso cuando dicha estructura no tiene protección sísmica, sin embargo con el aislamiento elastomérico se puede alcanzar un nivel de seguridad de vida con el sismo máximo y al incorporar el sistema de disipación de energía se alcanza un

nivel de ocupación inmediata; finalmente, la estructura de 16 pisos sin protección sísmica y sometida a un sismo máximo, alcanza el nivel de colapso, mientras que al incorporarle el sistema de aislamiento este nivel mejora hasta seguridad de vida, este mismo nivel se consigue al incorporar el sistema de disipación de energía. Estos resultados se comprueban en cierta medida con la investigación de (Morales & Sinchiguano, 2018), donde se concluye que a medida que se incrementan los niveles de la estructura, el sistema de disipación de energía, permite lograr un mejor desempeño sísmico frente al sistema de aislamiento; del mismo modo, la investigación de (Herrera, 2018), concluye que para estructuras de mayor esbeltez, los amortiguadores tienen mejor desempeño sísmico; mientras que, para estructuras con menor esbeltez, los aisladores son los que logran alcanzar el mejor desempeño sísmico.

4.2. Limitaciones

- La presente investigación tiene como limitaciones de estudio, la poca capacidad o potencia computacional para realizar un análisis no lineal Tiempo Historia, de la edificación con uso Vivienda Multifamiliar de 16 pisos, puesto que en dicha estructura se incorporaron 230 dispositivos SLB, los cuales tienen un comportamiento no lineal en el modelo computacional, en consecuencia, el proceso de cálculo del software se torna insuficiente. Adicionalmente a dicha limitación, cabe mencionar que el tiempo para la realización de la investigación, es corto, puesto que se pondría tener mejores resultados al analizar una mayor cantidad de edificaciones que aumenten en uno, el número de pisos.

4.3. Conclusiones

- Se realizó el análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético y un sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado; concluyendo que, al someter a las estructuras al nivel de amenaza de “Sismo Máximo”, el mejor desempeño alcanzado por una estructura de 4 pisos es con el sistema de aislamiento elastomérico, pues con este se obtiene el nivel de “Ocupación Inmediata”, por otro lado, para la edificación con 8 pisos, el mejor desempeño se logra con el sistema de disipación de energía histerético, puesto que se alcanza el nivel de “Ocupación Inmediata”; finalmente, para la edificación de 16 pisos, el desempeño alcanzado por el sistema de aislamiento elastomérico y el sistema de disipación de energía histerético es el mismo, siendo éste “Seguridad de Vida”.
- Se determinó las características topográficas de la zona donde se proyectaron las edificaciones, determinando las coordenadas del centroide del terreno 717662.183 en este y 9111077.252 en el norte, asimismo se determinaron las características planimétricas del terreno, el cual tiene forma rectangular con lados de 20 m. y 102 m., alcanzando así un área total de 2050 m²; de igual manera se determinaron las características altimétricas del terreno, teniendo como cota máxima 137.7 m.s.n.m. y cota mínima 135.92 m.s.n.m.; concluyendo así en un terreno muy regular en planta y poco regular en altimetría. También, se determinaron las propiedades del suelo de fundación, mediante la microzonificación geotécnica del Dr. E. Lujan, obteniendo un contenido de humedad entre 15.16% y 17.48%, índice de plasticidad de 6, clasificación SUCS tipo SP/SP-SM con material predominante de arena pobremente graduada, capacidad portante entre 0.914 y 1.099 kg/cm², tipo de onda S, velocidad de ondas de corte de 385 m/s y N₆₀ de 35 con el ensayo de penetración estándar; con

estos valores se concluye que el tipo de suelo donde se proyectaron las 3 edificaciones es suelo intermedio S2, según la clasificación de la NTE E0.30.

- Se realizó el diseño arquitectónico de las tres edificaciones proyectadas de 4, 8 y 16 pisos con los usos de Centro comercial, oficinas y vivienda multifamiliar respectivamente. Cada edificación cuenta con un área rectangular en planta de dimensiones 20m.x15m. Se concluye que la edificación destinada para centro comercial de 4 pisos cuenta con un total de 14 stand por piso, con áreas entre 8 m² y 9.5m² cada uno, además se consideró 2 servicios higiénicos para varones y mujeres por cada nivel. Por otro lado, la edificación destinada a uso de Oficinas cuenta con 2 centros de oficinas por piso de 125m², las cuales tienen, sala de recepción de 12m², sala de atención al cliente, sala de trabajo de 17m², oficina privada, sala de reuniones de 10m² y 2 servicios higiénicos para varones y mujeres; Asimismo, la edificación proyectada a Vivienda multifamiliar se divide en 2 departamentos por piso de 125m², cada uno cuenta con sala y comedor de 24m², cocina, lavandería, dormitorio principal de 15 m². con baño interno, dos dormitorios secundarios de 13 m². y un baño común completo. Cabe mencionar que todos los ambientes de las 3 edificaciones cuentan con iluminación y ventilación directa, además de jardinería exterior de 60m² y estacionamiento para 24 vehículos por cada edificación.
- Se realizó la estructuración y predimensionamiento de los elementos estructurales de concreto armado, obteniéndose 24 columnas por cada piso con dimensiones de 0.40m x 0.60m, las cuales tienen su lado mayor (0.60 m.) paralelo al lado más corto en planta (15 m.) de cada estructura; asimismo, se obtuvieron vigas de 0.30m x 0.50m y 0.30m x 0.40m en la dirección “X” y vigas de 0.25m x 0.35m en la dirección “Y”; también se consideraron losas aligeradas y macizas con espesor de 0.20 m., muros estructurales de forma tipo “C” con dimensiones en planta 2.90m x 2.60m y espesor

- 0.20m, los cuales formaron las cajas de ascensores y escaleras. Cabe mencionar que, para el nivel de base del sistema de aislamiento elastomérico, se obtuvieron vigas de 0.45m x 0.70m y dados de concreto armado de 1m x 1m x 1m.
- Se determinaron las solicitaciones sísmicas de las edificaciones sin protección sísmica, mediante el análisis modal espectral, obteniéndose periodos para la estructura de 4 pisos de 0.296 s. en la dirección “X” y 0.352 s. en la dirección “Y”; para la estructura de 8 pisos, periodos de 0.599 s. en la dirección “X” y 0.735 en la dirección “Y”, y periodos para la estructura de 16 pisos de 1.383 s. en la dirección “X” y 1.80 s. en la dirección “Y”; asimismo, se obtuvieron las cortantes basales para la estructura 4 pisos de 351.41 tn. en la dirección “X” y “336.99” tn. en la dirección Y, para la estructura de 8 pisos, se obtuvieron cortantes de 424.14 tn. en la dirección “X” y 496.81 tn. en la dirección “Y”, y para la estructura de 16 pisos, cortantes de 642.98 tn. en la dirección “X” y 814.56 en la dirección “Y”; del mismo modo, se obtuvo las distorsiones de entrepiso para la estructura de 4 pisos, alcanzando 6.11‰ en la dirección “X” y 7.90‰ en la dirección “Y”, para la estructura de 8 pisos, se obtuvieron distorsiones de 13.63‰ en la dirección “X” y 15.24‰ en la dirección “Y”; finalmente, para la estructura de 16 pisos, se obtuvo distorsiones de 15.91‰ en la dirección “X” y 18.99‰ en la dirección “Y”, dichos valores sobrepasan el límite de 7.0‰ de la NTE E0.30.
 - Se realizó el diseño del sistema de disipación de energía histerético, mediante la incorporación de disipadores SLB con análisis no lineal tiempo historia, obteniéndose un total de 24 disipadores en la estructura de 4 pisos, 80 disipadores en la estructura de 8 pisos y 230 disipadores en la estructura de 16 pisos, dichos disipadores pertenecen a la 3era generación de dispositivos SLB los cuales cuentan con el sistema de conexión mediante planchas dentadas tipo “peines” con altura de

placa 80mm, altura de disipador de 155mm; además la colocación de los dispositivos en las 3 estructuras se realizó mediante diagonales en Chevron con secciones 6"x6"x 5/8" en la estructura de 4 pisos, 6"x6"x 5/8" y 4"x4"x1/2" en la estructura de 8 pisos y 9"x9"x1", 9"x9"x5/8", 10"x10"x1", 12"x12"x1 1/2" en la estructura de 16 pisos. Del análisis no línea tiempo historia se concluye que, se redujo el periodo de vibración fundamental de las 3 estructuras, con un valor promedio de 17.05% en la estructura de 4 pisos, 26.18% en la estructura de 8 pisos y 45.01% en la estructura de 16 pisos; asimismo, se redujo las cortantes basales, con un valor promedio de 21.06% en la estructura de 4 pisos, 31.69% en la estructura de 8 pisos y 48.33% en la estructura de 16 pisos; del mismo modo, se redujo las distorsiones de entrepiso, con un valor promedio de 43.50% en la estructura de 4 pisos, 53.09% en la estructura de 8 pisos y 64.54% en la estructura de 16 pisos; finalmente, la energía disipada por el sistema de disipación de energía histerético alcanza un valor promedio de 78.73% en la estructura de 4 pisos, 80.32% en la estructura de 8 pisos y 69.45% en la estructura de 16 pisos. Ahora bien, se realizó el diseño del sistema de aislamiento elastomérico, mediante la incorporación de aisladores LRB con análisis no lineal tiempo historia, obteniéndose un total de 24 unidades de aisladores en la base de las 3 edificaciones; para la estructura de 4 pisos, los dispositivos tienen un diámetro y altura total de 700 mm. y 277 mm. respectivamente, con una total de 24 capas, espesor de las capas de caucho de 11.4 mm y las capas de metal de 5.70 mm; asimismo, con desplazamientos $D_M=360.50$ mm. y $D_{TM}=427.50$ mm., con rigideces $K_{eff}= 92.81$ tn/m, $K_1=499.66$ tn/m y $K_d=64.96$ tn/m, como propiedades principales; ahora bien, para la estructura de 8 pisos, los dispositivos tienen un diámetro y altura total de 700 mm. y 275 mm. respectivamente, con una total de 24 capas, espesor de las capas de caucho de 11.3 mm y las capas de metal de 5.70 mm; asimismo, con desplazamientos $D_M=406.02$

mm. y $D_{TM}=428.50$ mm., con rigideces $K_{eff}= 66.52$ tn/m, $K_1=357.90$ tn/m y $K_d=46.53$ tn/m, como propiedades principales; finalmente, para la estructura de 16 pisos, los dispositivos tienen un diámetro y altura total de 800 mm. y 265 mm. respectivamente, con una total de 21 capas, espesor de las capas de caucho de 12.8 mm y las capas de metal de 6.40 mm.; asimismo, con desplazamientos $D_M=416.40$ mm. y $D_{TM}=430.0$ mm., con rigideces $K_{eff}= 60.77$ tn/m, $K_1=327.17$ tn/m y $K_d=42.53$ tn/m, como propiedades principales. Del análisis no lineal tiempo historia se concluye que, se aumentó el periodo de vibración fundamental de las 3 estructuras, con un valor promedio de 6.75 veces el periodo de la estructura de 4 pisos convencional, 4.75 veces el periodo de la estructura de 8 pisos convencional y 2.92 veces el periodo de la estructura de 16 pisos convencional; asimismo, se redujo las cortantes basales, con un valor promedio de 34.80% en la estructura de 4 pisos, 8 pisos y 16 pisos; del mismo modo, se redujo las distorsiones de entrepiso, con un valor promedio de 74.01% en la estructura de 4 pisos, 81.86% en la estructura de 8 pisos y 78.73% en la estructura de 16 pisos; finalmente, la energía disipada por el sistema de aislamiento elastomérico, alcanza un valor promedio de 98.41% en la estructura de 4 pisos, 78.43% en la estructura de 8 pisos y 89.63% en la estructura de 16 pisos.

- Se realizó el diseño de los elementos de concreto armado de las edificaciones con el sistema de disipación de energía histerético y el sistema de aislamiento elastomérico, según la norma E0.60; obteniéndose, para las columnas más desfavorables, cuantías de 1.14% en la estructura de 4 pisos con aisladores, 1.30% en la estructura de 8 pisos con aisladores y 2.27% en la estructura de 16 pisos con aisladores; mientras que, para las estructuras con disipadores, se obtuvieron cuantías de 1.0% en estructura de 4 pisos, 1.90% en la estructura de 8 pisos y 3.80% en la estructura de 16 pisos. En

cuanto a las vigas más desfavorables se obtuvo cuantías de 1.06%, 1.29% y 2.45% en las estructuras de 4, 8 y 16 pisos con aisladores respectivamente; mientras que, para las estructuras con disipadores, se obtuvo cuantías de 0.97%, 1.58% y 1.64% en las estructuras de 4, 8 y 16 pisos respectivamente.

- Se determinó los niveles de desempeño sísmico de las 3 edificaciones convencionales, con el sistema de aislamiento elastomérico y con el sistema de disipación de energía hysterético, obteniéndose; con el nivel de amenaza sísmica “Sismo de Servicio”, el nivel de “Operacional” para la estructura de 4 pisos con sistema convencional, con aisladores y con disipadores; asimismo, para la estructura de 8 pisos convencional y con aisladores, alcanzó los niveles de ocupación inmediata, mientras que, para la estructura de 8 pisos con disipadores, se alcanzó el nivel operacional; del mismo modo, en la estructura de 16 pisos con sistema convencional, con aisladores y con disipadores se alcanza el nivel de “Ocupación Inmediata”; ahora bien, con el nivel de amenaza sísmica “Sismo de Diseño”, la estructura de 4 pisos con sistema convencional, con aisladores y con disipadores, alcanzó el nivel de “Ocupación Inmediata”, asimismo, la estructura de 8 pisos con sistema convencional, alcanzó el nivel de “Seguridad de Vida”, con aisladores alcanzó el nivel “Ocupación Inmediata” y con disipadores alcanzó el nivel “Operacional”; del mismo modo, la estructura de 16 pisos convencional, alcanzó el nivel de “Estabilidad Estructural” y con aisladores y disipadores el nivel de “Ocupación Inmediata”; Finalmente, con la amenaza sísmica “Sismo Máximo”, la estructura de 4 pisos con sistema convencional alcanzó el nivel de “Estabilidad Estructural”, con aisladores alcanzó “Ocupación Inmediata” y con disipadores alcanzó “Seguridad de Vida”, asimismo, la estructura de 8 pisos con sistema convencional, alcanzó el nivel “Colapso”, con aisladores alcanzó el nivel “Seguridad de Vida” y con disipadores alcanzó el nivel “Ocupación

inmediata”, del mismo modo, la estructura de 16 pisos con sistema convencional, alcanzó el nivel “Colapso”, con aisladores se alcanzó el nivel “Seguridad de Vida” y con disipadores, también se alcanzó el nivel “Seguridad de Vida”.

4.4. Recomendaciones

- Se recomienda que los futuros investigadores, que comparen el desempeño sísmico que se obtiene de proteger las edificaciones de concreto armado no solo con aisladores de base y disipadores de energía sino también la protección sísmica por medio de masas sintonizadas, con lo cual se pueda brindar a los ingenieros estructurales información conceptual más amplia al momento de determinar con que sistema pasivo se pretendería proteger a las estructuras.
- Se recomienda también, que los futuros investigadores, realicen un análisis comparativo del costo directo que implica la protección sísmica con la incorporación del sistema de aislamiento elastomérico y con el sistema de disipación de energía hysterético.
- Se recomienda al comité de la norma E0.30 y E0.31 a reconsiderar la exigencia de proteger todo tipo de estructura de categoría A; con aislamiento en la base, debido que, como se pudo observar en la presente investigación, proteger las estructuras con aisladores en la base, no garantizan siempre un desempeño óptimo de las edificaciones.

4.5. Implicancias

- La implicancia que tiene la investigación en la Ingeniería Civil, sirve para referentes para futuras investigaciones, ya que permite ofrecer nuevas estrategias constructivas más amigables optimizando los recursos del medio ambiente. Debido a que es un tema poco abordado en Ingeniería resulta novedoso, ya que dicha protección sísmica; de acuerdo a los resultados, disminuye las pérdidas económicas que generan un

evento sísmico severo más allá de las posibles reparaciones en elementos estructurales, los contenidos de la edificación no se ven afectados conservando así, la funcionalidad de estas edificaciones.

REFERENCIAS

- Aguiar, R. (2003). Análisis sísmico por desempeño. *Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército*. Quito, Ecuador.
- Ancasi, R. (Noviembre de 2019). PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA EL DISEÑO DE EDIFICIOS CON DISIPADORES PASIVOS DE ENERGÍA UTILIZANDO REGISTROS SÍSMICOS PERUANOS. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima, Lima, Perú.
- ATC-40. (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concret Buildings. *Seismic Safety Comission*. California.
- Bozzo Rotondo, L. (2019). PROTECCIÓN SÍSMICA. *DISIPADORES SLB*. Barcelona, España.
- Chilón, E. A. (2017). Diseño y análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso en una edificación de 4 niveles, Chiclayo, 2017". *Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo*. Chiclayo, Perú. Obtenido de Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Chopra, A. (2014). *Dinámica de estructuras*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Colonia, L. (2017). Análisis por desempeño sísmico de un edificio comercial de la ciudad de Carhuaz, Anchash, 2017. *Universidad César Vallejo*. Carhuaz, Perú.
- Esteva, L. (2001). DISEÑO SÍSMICO BASADO EN DESEMPEÑO; TENDENCIAS Y RETOS. *Ingeniería Sísmica*, 35.
- Estrada, M. (2016). *Análisis estructural básico*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Gallardo Echenique, E. (2017). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Huancayo: Universidad Continental.
- Gámez, W. (2015). *Texto básico autoformativo de Topografía General*. Managua: Universidad Nacional Agraria.
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipaodres en estructuras*. Caracas: GeóPOLIS.
- Hernández Mendoza, S., & Duana Avila, D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*.

- Hernández Sampieri, R. (2017). *METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 6TA EDICIÓN*. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metología de la investigación*. Ciudad de Mexico: Interamericana editores.
- Herrera, M. (enero de 2018). Desempeño sísmico en edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso. *Univesidad de Piura*. Piura, Perú. Obtenido de Univesidad de Piura.
- Lamus, F., & Andrade, S. (2015). *Concreto Reforzado: fundamentos*. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Mamani, E. R. (2018). Determinación del nivel de desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles en la ciudad de Juliaca, 2018. *Universidad Nacional del Altiplano* . Puno , Perú .
- Medina, R., & Music, J. (2018). Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseño según normativa chilena. *Scielo*.
- Miranda, Y. H., & Ontiveros, Y. G. (2020). Análisis comparativo del desempeño sísmico y costo entre los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados a una edificación multifamiliar, Trujillo. *Universidad César Vallejo*. Trujillo, Perú. Obtenido de Universidad César Vallejo.
- Morales, A. R., & Sinchiguano, J. A. (2018). Análisis comparativo del comportamiento estructural entre una edificación destinada a una vivienda de ocho, doce y dieciséis pisos, con sistemas de aislación y disipación de energía sísmica. *Universidad Central del Ecuador*. Quito, Ecuador. Obtenido de Universidad Central del Ecuador.
- Niño, W. M. (2019). Arquitectura flexible, adaptable y colectiva. *Universidad Católica de Colombia*.
- Olivos, O. E. (2018). PROTECCIÓN SÍSMICA DE EDIFICACIONES HOSPITALARIAS PERUANAS POR AISLAMIENTO SÍSMICO. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima, Lima, Perú.
- Otiniano, V. J. (2019). *DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA VISCOSOS, TRUJILLO 2019*. Obtenido de Universidad Privada del Norte.

- Paredes, E. J. (2018). Diseño estructural de un edificio de 8 niveles con disipadores de energía, Trujillo - la Libertad 2018. *Universidad César Vallejo*. Trujillo, Perú.
- Pimienta Prieto, J., De la Orden Hoz, A., & Estrada Coronado, R. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Mexico: Pearson.
- Ruiz, C. N., & Torres, A. I. (2018). Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base tipo elastomérico LRB y disipadores tipo contraventeos restringido al pandeo BRB, y su incidencia en la relación costo/beneficio del sistema estruct. *Universidad Técnica de Ambato*. Ambato, Ecuador.
- Segovia, J. C. (abril de 2016). *DISEÑO DE DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS PARA UNA EDIFICACIÓN DE BAJA ALTURA DE CONCRETO ARMADO*. Obtenido de Escuela de Posgrado PUCP: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7120>
- Tocto, S. D. (2018). Desempeño sísmico de una estructura de concreto armado con aisladores sísmicos LRB para uso esencial en la ciudad de Trujillo, región La Libertad, 2018. *Universidad Privada del Norte*. Trujillo, Perú. Obtenido de Universidad Privada del Norte.
- Yucra, M. E. (marzo de 2018). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE HOSPITALES AISLADOS EN EL PERÚ*. Obtenido de Escuela de Posgrado PUCP: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/11891/YUCRA_MADDELEY_DESEMPE%c3%91O_S%c3%8dSMICO_HOSPITALES_PER%c3%9a.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	CONCEPTOS CENTRALES	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p>¿Cuál es el análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético y un sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo 2022?</p>	<p>El análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético y un sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado arrojan que, en edificaciones de 8 y 16 pisos, con sistema de disipación de energía histeréticos se consigue un mejor desempeño sísmico y para edificaciones de 4 pisos, se consigue mejor desempeño sísmico con un sistema de aislamiento elastomérico se; en El Milagro, Trujillo, 2022</p>	<p style="text-align: center;">Objetivo General</p> <p>Realizar un análisis comparativo del desempeño sísmico entre un sistema de disipación de energía histerético SLB y un sistema de aislamiento elastomérico LRB en edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo 2022</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Objetivos Específicos</p> <p>OE1: Realizar un estudio topográfico de la ubicación, características planimétricas y altimétricas de la zona de las edificaciones proyectadas.</p> <p>OE2: Determinar las propiedades del suelo de fundación, mediante una microzonificación geotécnica de la zona de las edificaciones proyectadas.</p> <p>OE3: Realizar el diseño arquitectónico de las edificaciones proyectadas.</p> <p>OE4: Realizar la estructuración y el predimensionamiento de los elementos estructurales de concreto armado.</p>	<p style="text-align: center;">Disipador de energía histerético</p> <p>En los disipadores histeréticos se aprovecha las propiedades de deformación inelástica del material constitutivo del dispositivo, Se utilizan principalmente disipadores de acero, ya que este material, debido a su alta homogeneidad, permite una fácil caracterización mecánica. En general su comportamiento es modelado a partir de curvas fuerza-desplazamiento y la energía que disipan se cuantifica a partir de los ciclos de histéresis característicos del dispositivo. (Genatios & Lafuente, 2016)</p>	<p>Desempeño sísmico</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo de investigación <ul style="list-style-type: none"> - Por el propósito: Investigación aplicada - Según el diseño: No experimental 2. Diseño de investigación Investigación es del tipo de diseño no experimental, porque solo se sustrae a contemplar los fenómenos en su estado natural para luego analizarlos. El diseño de la investigación es del tipo transversal, porque se recopilan datos en un momento único; a su vez, la investigación se subclasifica en tipo descriptiva, porque se investiga una sola variable a la cual no se le hacen modificaciones. 3. Clasificación de la variable <ul style="list-style-type: none"> - Por la relación: Independiente - Por su naturaleza:

OE5: Determinar la demanda sísmica de las edificaciones, mediante el análisis modal espectral.

OE6: Realizar el diseño del sistema de disipación de energía histerético, mediante la incorporación de disipadores SLB con análisis no lineal Tiempo Historia.

OE7: Realizar el diseño del sistema de aislamiento elastomérico, mediante la incorporación de aisladores LRB con análisis no lineal Tiempo Historia.

OE8: Realizar el diseño de los elementos de concreto armado de las 3 edificaciones con el sistema de disipación de energía histerético y el sistema de aislamiento elastomérico, según la norma E0.60.

OE9: Determinar el nivel de desempeño sísmico de las 3 edificaciones con el sistema de disipación de energía histerético y con el sistema de aislamiento elastomérico.

Aislamiento sísmico

Un aislador sísmico es un elemento muy flexible que se coloca entre la estructura y la fundación, a fin de transmitir la menor cantidad de movimiento a la estructura, en el momento de ocurrencia de un terremoto. Los aisladores se incorporan al sistema estructural y cambian sus propiedades dinámicas. Por ser muy flexibles, contribuyen a incrementar el periodo fundamental de vibración del sistema estructural. (Genatios & Lafuente, 2016)

Cualitativa

- **Por su escala de medición:** Ordinal
- **Por su dimensión:** Multidimensional
- **Por su forma de medición:** Indirecta

4. Población y muestra

a. Población

Sistema de disipación de energía histerético en edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo 2022.

Sistema de aislamiento elastomérico en edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo 2022.

b. Muestra

Sistema de disipación de energía histerético en 3 edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo.

Sistema de aislamiento elastomérico en 3 edificaciones de concreto armado, en El Milagro, Trujillo.

ANEXO N° 2. Catálogo de diseño de los aisladores de la empresa Dynamic System Isolation- dimensiones de los aisladores

Propiedades del aislador: Unidades métricas

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

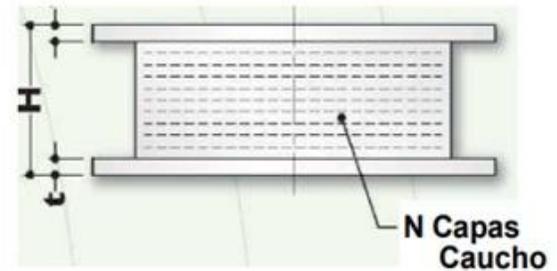
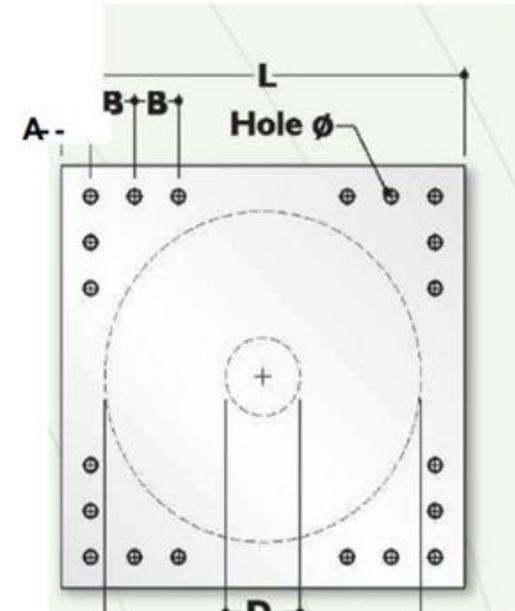
(1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del de caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

(2) Los Rubber Shear Moduli (G) están disponibles desde 0.38 N/mm² hasta 0.70 N/mm².

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_e=10*K_d$.

ANEXO N° 3. Catálogo de diseño de los aisladores de la empresa Dynamic System Isolation- propiedades mecánicas.

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



ANEXO N° 4. Parámetros de diseño para los disipadores SLB

Parámetros de diseño para los disipadores SHEAR LINK BOZZO											
Dispositivo	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	K ₁ (KN/cm)	K ₂ (KN/cm)	D _y (mm)	F _y (KN)	F _{Máx} (KN)	E _D (KN.cm)	
SLB2 6_2	19	13	-	2	363.33	9.75	0.980	35.60	69.01	87.08	
SLB2 6_3	19	13	-	3	397.80	10.75	1.031	41.00	79.21	99.25	
SLB2 6_4	19	13	-	4	421.73	11.65	1.065	44.90	88.58	108.31	
SLB2 6_5	19	13	-	5	439.60	12.78	1.078	47.40	96.67	115.18	
SLB2 8_2	19	15	-	2	592.87	13.86	0.811	48.10	92.76	119.78	
SLB2 8_3	19	15	-	3	676.27	15.38	0.858	58.00	107.57	141.77	
SLB2 8_4	19	15	-	4	737.00	16.28	0.900	66.30	120.87	159.39	
SLB2 8_5	19	15	-	5	784.27	17.43	0.927	72.70	133.29	173.71	
SLB2 10_2	19	20	-	2	893.40	19.15	0.761	68.00	128.71	168.89	
SLB2 10_3	19	20	-	3	1039.13	21.57	0.780	81.10	148.63	198.84	
SLB2 10_4	19	20	-	4	1149.53	22.96	0.809	93.00	166.26	224.54	
SLB2 10_5	19	20	-	5	1237.80	14.93	0.906	112.20	182.26	246.55	
SLB2 15_2	19	20	-	2	1571.47	31.17	0.648	101.80	199.61	258.66	
SLB2 15_3	19	20	-	3	1961.47	37.36	0.643	126.10	240.45	318.16	
SLB2 15_4	19	20	-	4	2290.27	42.03	0.654	149.70	276.57	373.16	
SLB2 15_5	19	20	-	5	2575.60	45.69	0.670	172.50	310.13	424.52	
SLB2 20_2	19	25	5	2	2073.33	37.83	0.601	124.60	243.14	316.64	
SLB2 20_3	19	25	5	3	2630.13	46.27	0.597	156.90	298.30	396.26	
SLB2 20_4	19	25	5	4	3105.53	53.03	0.606	188.30	348.53	470.63	
SLB2 20_5	19	25	5	5	3520.20	58.63	0.620	218.40	395.71	540.18	
SLB3 25_2	25	30	5	2	3214.07	58.98	0.606	194.80	383.50	494.69	
SLB3 25_3	25	30	5	3	4046.67	70.69	0.589	238.20	457.15	602.54	
SLB3 25_4	25	30	5	4	4783.20	81.04	0.585	279.60	526.49	703.70	
SLB3 25_5	25	30	5	5	5447.47	90.85	0.586	319.00	592.39	799.88	
SLB3 25_6	25	30	5	6	6064.13	99.65	0.589	357.10	655.63	891.48	
SLB3 25_7	25	30	5	7	6644.13	107.41	0.594	394.50	716.83	979.51	
SLB3 25_8	25	30	5	8	7191.47	114.57	0.599	430.70	776.40	1064.12	
SLB3 25_9	25	30	5	9	7711.07	120.73	0.605	466.40	834.90	1145.71	
SLB3 30_2	25	30	5	2	3666.73	64.22	0.578	212.10	415.33	539.19	
SLB3 30_3	25	30	5	3	4717.00	78.76	0.563	265.70	507.23	672.79	
SLB3 30_4	25	30	5	4	5661.33	92.21	0.560	316.90	594.62	799.16	
SLB3 30_5	25	30	5	5	6525.67	104.99	0.561	366.10	678.62	920.34	
SLB3 30_6	25	30	5	6	7336.60	116.45	0.565	414.20	759.77	1036.63	
SLB3 30_7	25	30	5	7	8106.07	126.92	0.569	461.30	838.79	1149.06	
SLB3 30_8	25	30	5	8	8840.00	135.98	0.575	508.00	915.50	1257.99	
SLB3 30_9	25	30	5	9	9542.20	145.74	0.579	552.50	992.12	1363.85	
SLB3 40_2	25	30	5	2	4571.07	76.44	0.543	248.30	482.60	634.54	
SLB3 40_3	25	30	5	3	6043.67	97.23	0.531	321.00	609.64	817.79	
SLB3 40_4	25	30	5	4	7393.67	116.17	0.530	391.60	732.20	993.03	
SLB3 40_5	25	30	5	5	8650.00	133.79	0.533	460.80	851.48	1162.82	
SLB3 40_6	25	30	5	6	9843.00	149.92	0.537	528.70	967.95	1327.13	
SLB3 40_7	25	30	5	7	10988.00	165.19	0.542	595.40	1082.30	1487.36	
SLB3 40_8	25	30	5	8	12091.27	179.81	0.547	660.90	1195.00	1643.93	
SLB3 40_9	25	30	5	9	13156.07	194.00	0.551	725.10	1306.30	1797.11	
SLB3 50_2	25	30	5	2	5479.60	88.67	0.520	284.90	551.27	730.67	
SLB3 50_3	25	30	5	3	7367.13	114.64	0.512	377.50	713.65	963.00	
SLB3 50_4	25	30	5	4	9116.00	138.30	0.513	468.10	871.40	1186.77	
SLB3 50_5	25	30	5	5	10759.13	160.81	0.518	557.00	1025.70	1404.77	
SLB3 50_6	25	30	5	6	12328.87	181.80	0.523	644.40	1177.30	1616.83	
SLB3 50_7	25	30	5	7	13844.20	202.03	0.528	730.30	1326.80	1824.36	
SLB3 50_8	25	30	5	8	15312.67	221.80	0.532	814.70	1474.50	2028.05	
SLB3 50_9	25	30	5	9	16737.00	241.37	0.536	897.70	1621.20	2228.51	

Estos dispositivos plastifican primero por flexión antes que por cortante.

Donde:

K1: Rigidez inicial

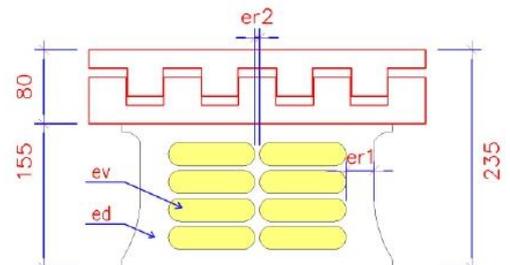
F_y=Fuerza de plastificación

K2: Rigidez post-plastificación

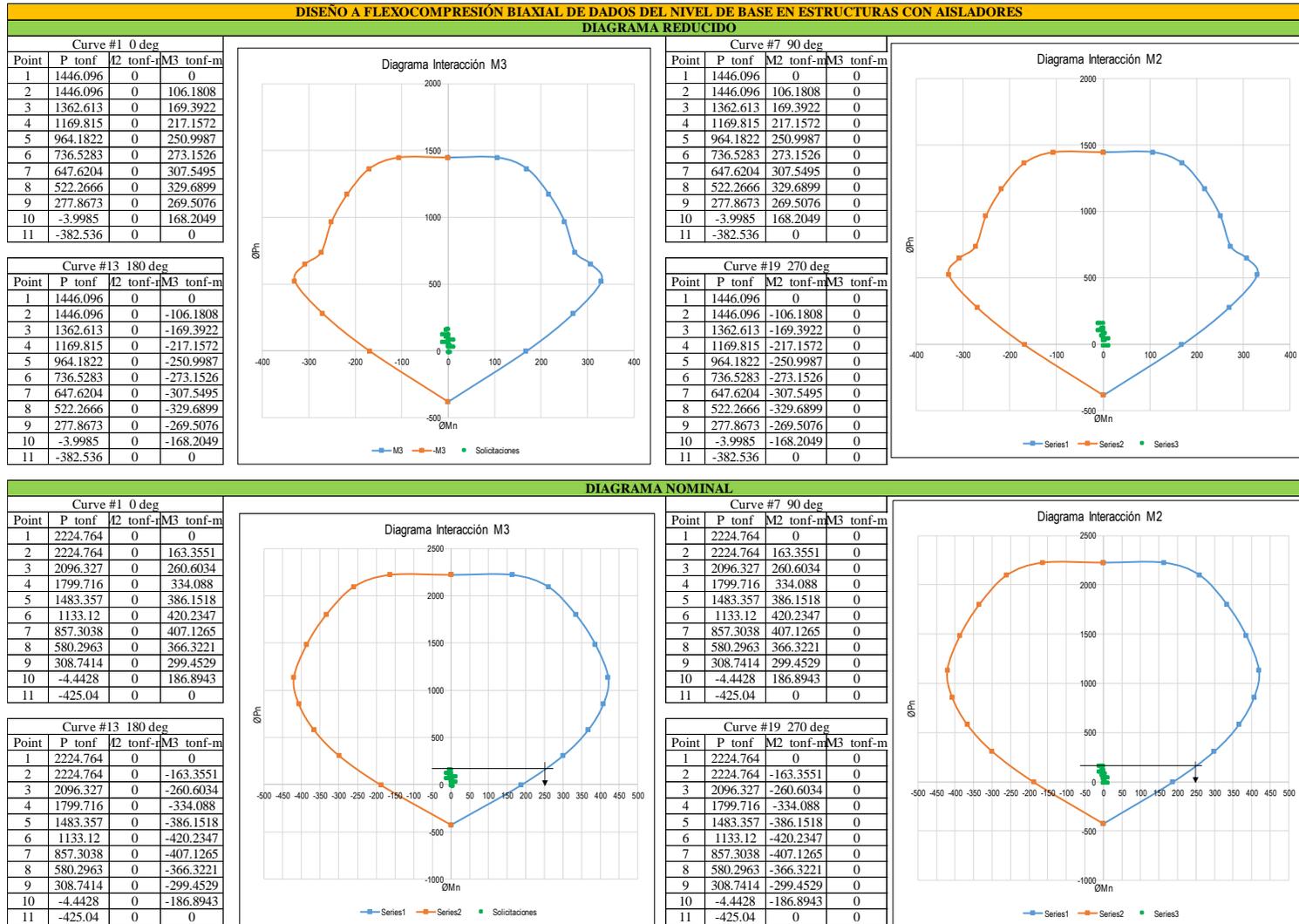
F_{máx}: Fuerza máxima

D_y: Desplazamiento de plastificación

E_D: Energía disipada.



ANEXO N° 5. Plantilla para el diseño a flexo-compresión biaxial de dados de concreto en nivel de base de estructuras aisladores elastoméricos.



ANEXO N° 6. Plantilla de diseño por cortante de dados de concreto en nivel de base de estructuras aisladores elastoméricos

DISEÑO TRANSVERSAL

Nu = 160.691 ton
Vu = 40.742 ton
Mu = 12.223 ton.m
f'c = 280 kg/cm²
fy = 4200 kg/cm²
b = 100 cm
D = 100 cm
db long = 1 pulg
db trans = 1/2 pulg
rec = 4 cm
d = 94.7 cm

Cálculo de la fuerza cortante en la columna

Mn = 250.00 ton.m
Vu = 200.00 ton

Cálculo de la fuerza cortante máxima que puede resistir el concreto "Vc"

$$V_s = \phi V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{Nu}{140 * Ag}\right) * b_w * d$$

ϕVc = 79.6 ton
ϕVc > Vu ✘

Cálculo del aporte de estribos

$$V_s = \frac{Vu}{\phi} - V_c$$

Vs = 155.69 ton

Cálculo de los estribos

$$S = Av * fy * \frac{d}{V_s}$$

#ramas = 4
Av = 5.07 cm²
s req = 13 cm²

Dentro de zona de confinamiento

Lo = 100.00 cm 21.4.5.3. (E0.60)
s req = 13 cm
So = 10 cm 21.4.5.3. (E0.60)

Fuerza de zona de confinamiento

S1 = 41 cm 7.10 (E0.60)
S2 = 30 cm 21.4.5.3. (E0.60)
S3 = 50 cm 11.5.5.1. (E0.60)
S req = 13 cm 21.4.3. (E0.60)
S = 13 cm

1er y ultimo estribo

S 1er = 5 cm 7.10 (E0.60)
S ultimo = 5 cm 7.10 (E0.60)

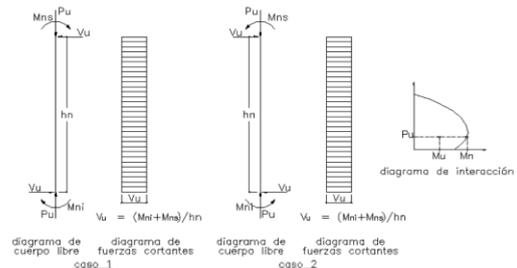
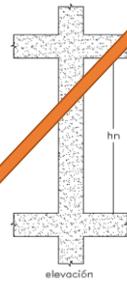
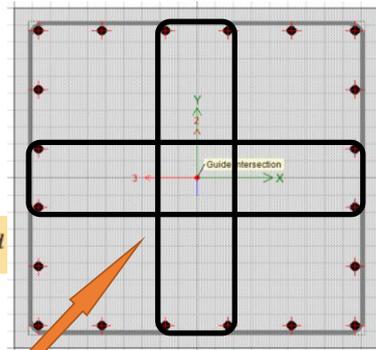


Fig. 21.4.3b Fuerza cortante de diseño en columnas

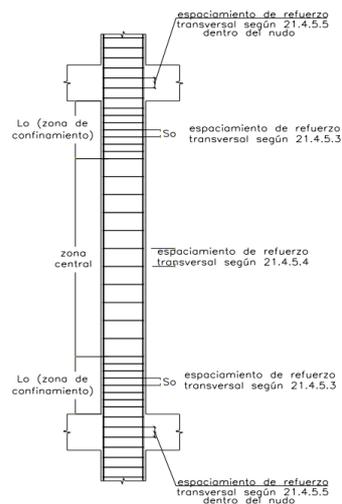


Fig. 21.4.5 Requerimientos de estribos en columnas

ANEXO N° 7. Diagrama de momento flector y fuerza cortante en la viga de cimentación más crítica ubicada en el nivel de base del sistema de aislamiento.

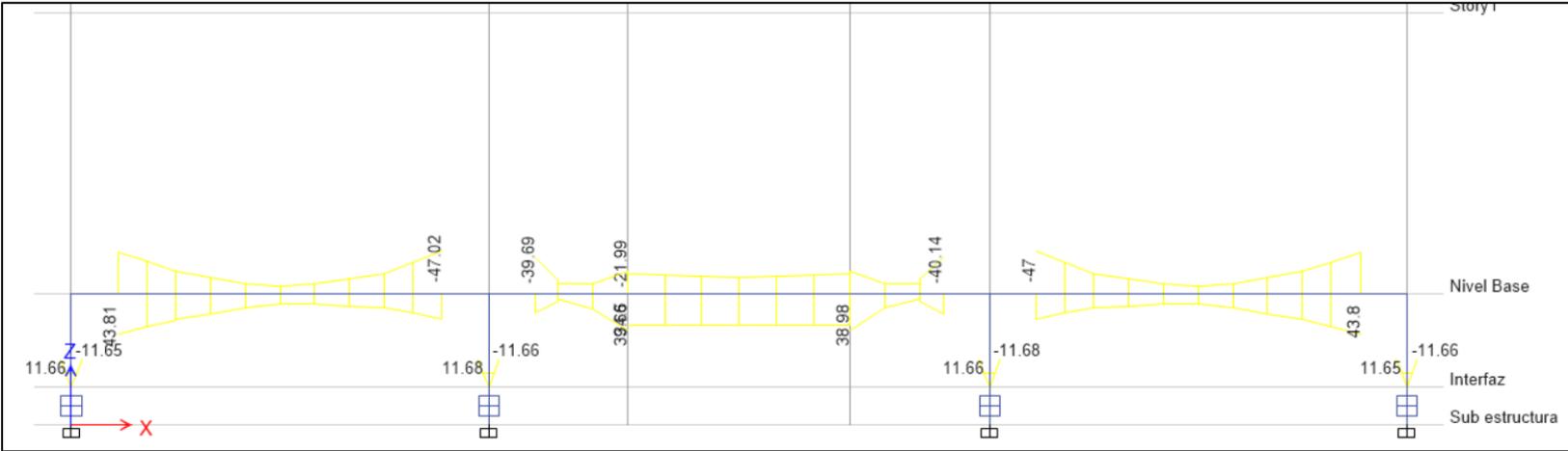


Diagrama de momento flector de viga de cimentación (tn.m)

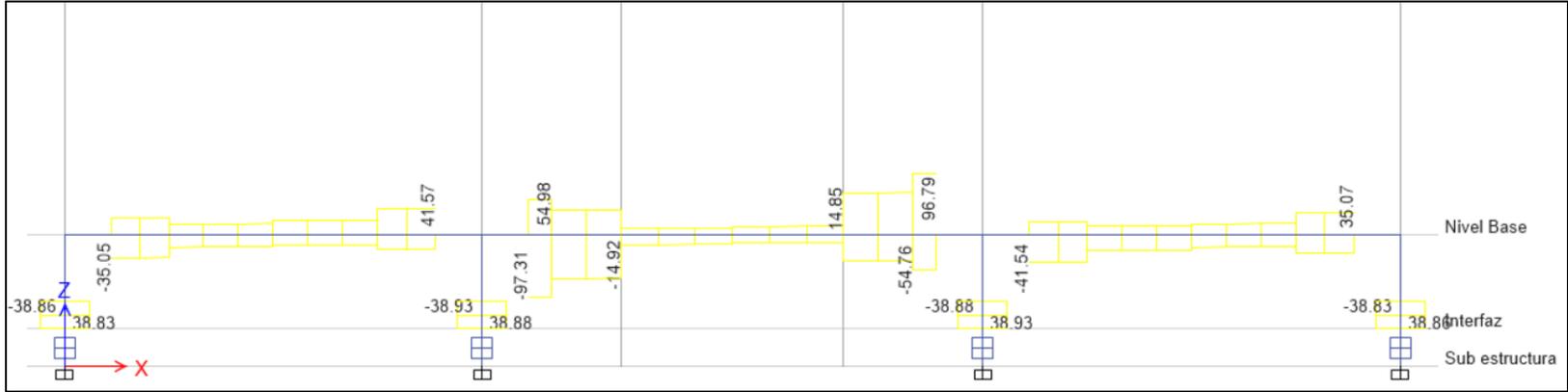


Diagrama de fuerza cortante de viga de cimentación (tn)

ANEXO N° 8. Diseño de acero de refuerzo por flexión de viga de cimentación.

