



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias en Estructuras

**ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE MUROS DE DUCTILIDAD
LIMITADA SEGÚN NSE 7.9 CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA BASE**

Ing. José Eduardo Pérez García

Asesorado por el Maestro Ing. Francisco Eduardo Arrécis Sosa

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE MUROS DE DUCTILIDAD
LIMITADA SEGÚN NSE 7.9 CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA BASE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JOSÉ EDUARDO PÉREZ GARCÍA

ASESORADO POR EL MAESTRO FRANCISCO EDUARDO ARRÉCIS SOSA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN ESTRUCTURAS

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton del León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. José Estuardo Galindo Escobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA SEGÚN NSE 7.9 CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA BASE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 20 de junio de 2022.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the printed name.

Ing. José Eduardo Pérez García

LNG.DECANATO.OI.589.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA SEGÚN NSE 7.9 CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA BASE**, presentado por: **Ing. José Eduardo Pérez García**, que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Estructuras después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, agosto de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, agosto de 2023

LNG.EEP.OI.589.2023

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA SEGÚN NSE 7.9 CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA BASE”

presentado por **Ing. José Eduardo Pérez García** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Estructuras** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 11 de noviembre de 2022

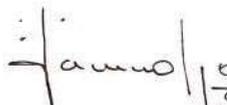
M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA SEGÚN NSE 7.9 CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA BASE** del estudiante **Jose Eduardo Perez Garcia** quien se identifica con número de carné **199819351** del programa de Maestria En Estructuras.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador
Maestria En Estructuras
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 11 de noviembre de 2022

M.A. Ing Edgar Darío Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que, he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: "**ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA SEGÚN NSE 7.9 CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA BASE**" del estudiante **José Eduardo Pérez García** del programa de **Maestría en Estructuras** identificado(a) con número de carné 199819351.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Francisco E. Arrécis Sosa
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 9556

Mtro. Ing. Francisco Eduardo Arrécis Sosa
Colegiado No. 9556
Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Quien sin duda alguna ha sido misericordioso con mi persona a lo largo de mi vida.
Mis padres	Por ser todo un ejemplo de valentía al enfrentar la vida.
Mi esposa	Por esa ayuda idónea y el regalo de convertirme en padre.
Mis hermanos	Quienes han sido mi apoyo cuando los he necesitado.
Mis sobrinos	Porque su existencia me inspira a construir un país con mejores oportunidades.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por constituirse en el <i>alma mater</i> para proveerme de conocimientos.
Facultad de ingeniería	Por ser el medio de formación que me permitió alcanzar las competencias para comprender y ejercer la ingeniería.
Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica	Porque sus publicaciones son el marco de referencia para el desarrollo técnico profesional de la ingeniería estructural en Guatemala y, por ende, de este trabajo de graduación.
Mi asesor	Maestro Ing. Francisco Arrécis, por toda la experiencia y asesoría brindada durante todo el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XXI
RESUMEN	XXV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXVII
OBJETIVOS	XXXIII
HIPÓTESIS	XXXV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXXVII
INTRODUCCIÓN	XLI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Sistema de muros de ductilidad limitada	1
1.1.1. Características	1
1.1.1.1. Sistema estructural.....	2
1.1.1.1.1. Losas.....	3
1.1.1.1.2. Muros	4
1.1.1.1.3. Cimientos	8
1.1.1.2. Sistema constructivo	9
1.1.1.2.1. Acero.....	10
1.1.1.2.2. Concreto	11
1.1.1.2.3. Instalaciones.....	11
1.2. Sismicidad en Guatemala.....	12
1.2.1. Diseño sismo resistente.....	13
1.2.1.1. Sistemas de control activo	14
1.2.1.2. Sistemas de control pasivos.....	16

1.3.	Sistema de aislación basal	19
1.3.1.	Aisladores de tipo elastomérico.....	22
1.3.2.	Aisladores de deslizadores friccionales o basculantes.....	23
1.4.	Normas de diseño para aisladores sísmicos.....	24
1.5.	Aislación basal en Guatemala	28
2.	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	31
2.1.	Tipo de la investigación	31
2.2.	Diseño de la investigación	31
2.3.	Enfoque de la investigación.....	31
2.4.	Variables	32
2.5.	Unidad de análisis para el caso de estudio	33
2.5.1.	Configuración del caso de estudio	35
2.5.1.1.	Muros.....	35
2.5.1.2.	Losas y altura	40
2.6.	Cargas aplicables	41
2.6.1.	Cargas verticales gravitacionales.....	41
2.6.1.1.	Peso propio	42
2.6.1.2.	Cargas muertas superpuestas	42
2.6.1.3.	Carga viva	42
2.6.1.4.	Carga de viento	43
2.6.1.5.	Cargas de tefra volcánica	43
2.6.1.6.	Carga de lluvia	44
2.6.2.	Carga sísmica.....	44
2.6.2.1.	Determinación del espectro sísmico	44
2.6.2.2.	Determinación del periodo natural de vibración	49
2.6.2.3.	Análisis sísmico estático equivalente.....	51

2.6.2.4.	Análisis modal dinámico y participación de masa	53
2.6.2.5.	Análisis sísmico y calibración de corte basal	53
2.6.3.	Combinaciones de carga para el cálculo estructural	53
2.6.3.1.	Factores de carga.....	54
2.6.3.2.	Reductores de capacidad Φ	54
2.6.4.	Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismoresistentes	55
2.6.4.1.	Factor de modificación de respuesta sísmica R	55
2.6.4.2.	Factor de incremento de resistencia Ω_R	56
2.6.4.3.	Factor de desplazamiento post elástico C_d	56
2.7.	Consideraciones tomadas de la investigación en Colombia	56
2.7.1.	Densidad de muros.....	56
2.7.2.	Factor de modificación de respuesta sísmica R	57
3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL SIN AISLACIÓN BASAL	61
3.1.	Características del modelo analítico	61
3.1.1.	Rigidez y resistencia de muros	62
3.1.2.	Rigidez y resistencia de losas	62
3.2.	Desarrollo de la metodología para análisis sísmico	63
3.2.1.	Análisis sísmico estático equivalente	63
3.2.2.	Análisis modal espectral y calibración del corte basal	64
3.2.3.	Análisis sísmico – calibración de corte basal	65

3.3.	Diseño de muros	68
3.3.1.	Paso 1: verificación del primer análisis de muros	70
3.3.2.	Pasos 2: ajuste de muros	72
3.3.3.	Paso 4: verificación de esfuerzos.....	74
3.3.3.1.	Recalibración del modelo estático vrs el modelo dinámico	75
3.3.3.2.	Revisión de desplazamientos laterales unitarios máximos.....	76
3.3.4.	Paso 5: Diseño estructural de muros	78
3.3.5.	Nomenclatura de muros	84
3.4.	Diseño de losas	86
3.5.	Diseño de cimientos	93
3.6.	Consideraciones tomadas para el modelo con 4, 8, 10 y 12 niveles de altura.....	99
3.6.1.	Edificación de 4 niveles de altura	99
3.6.2.	Información adicional para edificación de 6 niveles de altura.....	102
3.6.3.	Edificación de 8 niveles de altura	103
3.6.4.	Edificación de 10 niveles de altura.....	106
3.6.5.	Edificación de 12 niveles de altura.....	109
4.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN BASAL	113
4.1.	Espectro de respuesta sísmica.....	113
4.2.	Diseño del sistema de aislación	115
4.2.1.	Método de la fuerza lateral equivalente.	116
4.2.1.1.	Cálculo de la rigidez efectiva	120
4.2.1.2.	Cálculo del período efectivo para D_M = 200 mm.	124

4.2.1.3.	Cálculo del desplazamiento máximo real D_M	124
4.2.1.4.	Cálculo del desplazamiento máximo total D_{MT}	126
4.2.1.4.1.	Proceso iterativo para D_{TM}	128
4.2.1.5.	Cálculo de corte basal para el sistema de aislación	128
4.2.1.6.	Cálculo de corte basal para estructura aislada	129
4.2.1.7.	Distribución vertical de fuerzas	130
4.2.1.8.	Resultados para ambos límites	131
4.2.1.9.	Evaluación del sistema de aislación con el incremento en el número de pisos	133
4.2.1.9.1.	Estimación para edificio de 4 niveles ...	133
4.2.1.9.2.	Estimación para edificio con 8 niveles .	134
4.2.1.9.3.	Estimación para edificio con 10 niveles	135
4.2.1.9.4.	Estimación para edificio con 12 niveles	136
4.2.2.	Método dinámico	137
4.2.2.1.	Chequeo de desplazamientos	139
4.2.2.2.	Chequeo de derivas	141
4.3.	Diseño estructural de la edificación	143
4.3.1.	Diseño de muros.....	143
4.3.2.	Diseño de losas	144

4.3.3.	Diseño del nivel de base	146
4.3.3.1.	Diseño del refuerzo longitudinal.....	149
4.3.3.2.	Diseño del refuerzo por corte.....	150
4.3.3.3.	Diseño de nodos	153
4.3.3.4.	Diseño de pedestales y cimientos.....	161
4.3.3.5.	Verificación método dinámico para edificio de 4 niveles	165
4.3.3.6.	Verificación método dinámico para edificio de 8 niveles	167
4.3.3.7.	Verificación método dinámico para edificio con 10 niveles de altura	169
4.3.3.8.	Verificación método dinámico para edificio con 12 niveles de altura	171
5.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	175
5.1.	Requerimiento de elementos de borde	175
5.2.	Corte basal.....	180
5.2.1.	Observación sobre el corte basal	181
5.3.	Revisión de los desplazamientos y derivas.....	183
5.4.	Revisión del amortiguamiento efectivo del sistema basal.....	187
5.5.	Revisión del periodo fundamental	189
5.5.1.	Justificación para el periodo fundamental.....	192
5.5.2.	Revisión del C_s de diseño para determinar el C_s de activación.....	194
5.6.	Comparación de concreto y acero de refuerzo entre modelos	195
	CONCLUSIONES.....	199
	RECOMENDACIONES	201

REFERENCIAS	203
APÉNDICES	209
ANEXOS	283

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Edificio de muros de ductilidad limitada.....	3
Figura 2.	Variables del análisis de sección	6
Figura 3.	Sistema constructivo industrializado	9
Figura 4.	Distribución de epicentros sísmicos entre 1960 a 2014	13
Figura 5.	Sistema de control activo	15
Figura 6.	Aisladores elastoméricos	17
Figura 7.	Aisladores deslizantes	18
Figura 8.	Sistema de aislación basal con aisladores elastoméricos.....	21
Figura 9.	Módulos para centro universitario con aislación basal	29
Figura 10.	Edificio de uso mixto con aislación basal.....	29
Figura 11.	Planta arquitectónica para el caso de estudio	34
Figura 12.	Nomenclatura de muros, ala izquierda	36
Figura 13.	Nomenclatura de muros, ala derecha	37
Figura 14.	Esquema elevación del edificio.....	41
Figura 15.	Espectro de respuesta de diseño	48
Figura 16.	Vista 3D del estudio de caso sin aislación basal	61
Figura 17.	Ancho de confinamiento sobre eje D, según Etabs.....	70
Figura 18.	Muros planta 1 y 2.....	72
Figura 19.	Muros planta 3 y 4	73
Figura 20.	Muros planta 5 y 6.....	73
Figura 21.	Requerimiento elementos de borde sobre eje G	78
Figura 22.	Diagrama de envolvente de cortes en X sobre eje G	79
Figura 23.	Envolvente de momentos máximos en X del eje G	81

Figura 24.	Detalle elementos de borde muro G16	82
Figura 25.	Distribución de refuerzo horizontal	83
Figura 26.	Corte transversal típico de muros sin elementos de borde	86
Figura 27.	Áreas críticas para momentos X – X	87
Figura 28.	Áreas críticas para momentos Y-Y	88
Figura 29.	Áreas críticas para momentos X – X	89
Figura 30.	Áreas críticas para momentos Y-Y	89
Figura 31.	Áreas críticas para momentos X-X	90
Figura 32.	Áreas críticas para momentos Y-Y	90
Figura 33.	Detalle estructural de losas.....	92
Figura 34.	Presiones resultantes sobre el suelo.....	94
Figura 35.	Áreas críticas para momentos X-X	95
Figura 36.	Áreas críticas para momentos Y-Y	96
Figura 37.	Áreas críticas para momentos X-X	97
Figura 38.	Áreas críticas para momentos Y-Y	97
Figura 39.	Detalle de cimiento corrido	98
Figura 40.	Modelo 3D con 4 niveles de altura.....	99
Figura 41.	Modelo 3D con 8 niveles de altura.....	104
Figura 42.	Modelo 3D con 10 niveles de altura.....	107
Figura 43.	Modelo 3D con 12 niveles de altura.....	110
Figura 44.	Espectro de sismo extremo y sismo de diseño	115
Figura 45.	Tamaño de los dispositivos de Dynamic Isolation Systems	116
Figura 46.	Propiedades para diseño	117
Figura 47.	Distribución de los aisladores sísmicos seleccionados	118
Figura 48.	Curva histerética típica de un aislador sísmico	121
Figura 49.	Límites máximos y mínimos.....	122
Figura 50.	Modelo aislado del caso de estudio.....	138
Figura 51.	Configuración del sistema de aislación	147
Figura 52.	Cortes y momentos viga sobre eje I	148

Figura 53.	Cortes y momentos viga sobre eje 14	148
Figura 54.	Sección típica de vigas del nivel base	150
Figura 55.	Armado típico para vigas del nivel de base	153
Figura 56.	Sección cúbica para diseño de nodos	154
Figura 57.	Sección típica del nodo	155
Figura 58.	Detalle típico de nodos.....	161
Figura 59.	Distribución de esfuerzos en X-X de cimientos	163
Figura 60.	Distribución de esfuerzos en Y-Y para refuerzo de acero	163
Figura 61.	Distribución de presiones sobre el suelo estructura aislada.....	164
Figura 62.	Detalle típico de pedestales	164
Figura 63.	Modelo 3D aislado con 4 niveles de altura	166
Figura 64.	Modelo 3D aislado con 8 niveles de altura	167
Figura 65.	Modelo 3D aislado con 10 niveles de altura	170
Figura 66.	Modelo 3D aislado con 12 niveles de altura	172
Figura 67.	Ampliación lograda del periodo fundamental.....	190
Figura 68.	Periodo T vs rigidez del sistema kM	192

TABLAS

Tabla 1.	Comparación de normas para diseño de aisladores sísmicos	26
Tabla 2.	Operacionalización de variables	32
Tabla 3.	Espectro de diseño	47
Tabla 4.	Distribución de fuerza vertical sísmica según NSE 3-18	52
Tabla 5.	Clasificación de muros según A_r en X.....	58
Tabla 6.	Clasificación de muros según A_r en Y	58
Tabla 7.	Modos de vibración y participación de masa	64
Tabla 8.	Corte basal estático vrs corte basal de análisis modal.....	65
Tabla 9.	Chequeo de irregularidad en X	66
Tabla 10.	Chequeo de irregularidad en Y	67

Tabla 11.	Resultados de corte dinámico calibrado por nivel	68
Tabla 12.	Muros que requieren elementos de borde	71
Tabla 13.	Muros que requieren elementos de borde (modificado).....	74
Tabla 14.	Modos de vibración y participación de masa	75
Tabla 15.	Recalibración modelo estático vrs modelo dinámico	76
Tabla 16.	Desplazamientos en X	77
Tabla 17.	Desplazamientos en Y	77
Tabla 18.	Chequeo de elementos de borde	79
Tabla 19.	Diseño por corte	80
Tabla 20.	Diseño por flexión biaxial para P_u , M_{u2} and M_{u3}	82
Tabla 21.	Tipología de muros diseñados	85
Tabla 22.	Determinación de refuerzo de losas por nivel	91
Tabla 23.	Tipología de losas utilizada	92
Tabla 24.	Resumen resultados edificio de 4 niveles	101
Tabla 25.	Resumen resultados edificio de 6 niveles	103
Tabla 26.	Resumen resultados edificio de 8 niveles	106
Tabla 27.	Resumen resultados edificio de 10 niveles	109
Tabla 28.	Resumen resultados edificio de 12 niveles	111
Tabla 29.	Datos para espectro de sismo extremo y sismo de diseño	114
Tabla 30.	Dispositivos de aislación diseñados	119
Tabla 31.	Factores de modificación	121
Tabla 32.	Fuerzas y energía disipada para $D_M = 200$ mm	123
Tabla 33.	Factor de amortiguamiento B_M	125
Tabla 34.	Distribución de fuerzas verticales para límite superior	131
Tabla 35.	Resultados método de la fuerza lateral	132
Tabla 36.	Distribución de fuerzas verticales para límite inferior	132
Tabla 37.	Resultados para edificación de 4 niveles	134
Tabla 38.	Resultados para edificación de 8 niveles	135
Tabla 39.	Resultados para edificación de 10 niveles	136

Tabla 40.	Resultados para edificación de 12 niveles	137
Tabla 41.	Modos, períodos y masa de participación calibrado.....	139
Tabla 42.	Revisión de desplazamientos en X.....	140
Tabla 43.	Revisión de desplazamientos en Y.....	140
Tabla 44.	Revisión de derivas en X	142
Tabla 45.	Revisión de derivas en Y	142
Tabla 46.	Tipología de muros caso aislado	143
Tabla 47.	Determinación de refuerzo de losas por nivel	145
Tabla 48.	Acero de refuerzo a utilizar	145
Tabla 49.	Fuerza y refuerzo por corte, V_{u2}	151
Tabla 50.	Fuerza y refuerzo por torsión, T_u	152
Tabla 51.	Resumen resultados edificio de 8 niveles.....	169
Tabla 52.	Resumen resultados edificio de 10 niveles	171
Tabla 53.	Resumen resultados edificio de 12 niveles.....	173
Tabla 54.	Requerimiento de elementos de borde	175
Tabla 55.	Requerimiento de elementos de borde.....	176
Tabla 56.	Requerimiento de elementos de borde.....	177
Tabla 57.	Requerimiento de elementos de borde	178
Tabla 58.	Comparación de volúmenes y peso de concreto.....	180
Tabla 59.	Corte basal con el incremento en alturas del modelo.....	181
Tabla 60.	Características de los aisladores diseñados.....	182
Tabla 61.	Comparación de desplazamientos	184
Tabla 62.	Desplazamiento horizontal de los aisladores	185
Tabla 63.	Comparación de derivas	186
Tabla 64.	Amortiguamiento efectivo y factor de amortiguamiento.....	188
Tabla 65.	Incremento del periodo fundamental	189
Tabla 66.	Comparación de periodos dinámicos alcanzados	191
Tabla 67.	Resumen de C_s de diseño	194
Tabla 68.	Comparación de volúmenes de concreto requeridos	195

Tabla 69. Comparación de costos de concretos requeridos196

Tabla 70. Comparación toneladas de acero requerido.....198

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
@	A cada
AMSd	Aceleración máxima del suelo
h_p	Altura de piso
h_r	Altura del elastómero del aislador
h_n	Altura del muro, piso a piso
H_w	Altura total del muro, también H _p
H_p	Altura total del muro, también H _w
β_{eff}	Amortiguamiento efectivo del aislador
β_M	Amortiguamiento efectivo del sistema de aislación
A_{sh}	Área de acero de grapas
A_b	Área de la sección bruta del muro
A_v	Área del alma de extremo a extremo del muro sin incluir las alas
A_g	Área total del muro
A_{pTxy}	Área transversal del total de muros
V_c	Capacidad a corte del concreto
P_n	Capacidad axial de compresión nominal de un muro antes de aplicar Φ
P_u	Carga axial de compresión combinada factorada que actúa sobre el muro
P_{max}	Carga axial máxima
M	Carga muerta
S_h	Carga sísmica horizontal

S_v	Carga sísmica vertical
V	Carga viva
K_a	Coeficiente de reducción de rigidez para compresión
K_b	Coeficiente de reducción de rigidez para flexión
F_a	Coeficiente de sitio para período de vibración corto
F_v	Coeficiente de sitio para período de vibración largo
N_a	Coeficiente por la proximidad de las amenazas especiales para período corto
N_v	Coeficiente por la proximidad de las amenazas especiales para período largo
C_s	Coeficiente sísmico al límite de cedencia
S_{vd}	Componente vertical del sismo de diseño
A₁	Constante para cálculo de D1 metodología de Priestley
A₂	Constante para cálculo de D1 metodología de Priestley
A₃	Constante para cálculo de D1 metodología de Priestley
A₄	Constante para cálculo de D1 metodología de Priestley
A₅	Constante para cálculo de D1 metodología de Priestley
V_B	Corte basal
V_{st}	Corte basal al nivel de base
V_b	Corte basal del sistema de aislación
V_s	Corte basal para la estructura aislada
ρ_h	Cuantía de refuerzo horizontal
ρ_L	Cuantía de refuerzo longitudinal
ρ_{máx}	Cuantía máxima de refuerzo

ρ_{\min}	Cuantía mínima de refuerzo
Δ_p	Deriva de piso
D_1	Deriva equivalente de la metodología de Priestley
Δ_u	Deriva última post-elástica
A_w	Designación general; depende de la circunstancia si se toma A_v o A_b
D_y	Desplazamiento al punto de fluencia del aislador
δ	Desplazamiento del centro de masa del entrepiso
δ_{total}	Desplazamiento elástico total de la estructura
D_M	Desplazamiento máximo del aislador
D_{TM}	Desplazamiento total máximo del aislador
d_b	Diámetro de la barra de refuerzo vertical
D_I	Diámetro del aislador
D_L	Diámetro del núcleo de plomo del aislador
y	Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislación y el elemento de interés medido perpendicularmente en la dirección de la carga sísmica bajo consideración
EM	Energía disipada en el sistema de aislación
$\sigma_{(\text{máx})}$	Esfuerzo axial máximo en la fibra extrema en compresión
f_y	Esfuerzo nominal de fluencia del acero de refuerzo
$S_{as(T)}$	Espectro de respuesta del “sismo extremo”
T_{pp}	Espesor crítico por pandeo post elástico
t_w	Espesor del muro
T_{pe}	Espesor del muro por pandeo elástico
t_c	Espesor del núcleo confinado del muro, tomado hasta la parte exterior del refuerzo horizontal

t_g	Espesor total del muro
e	Excentricidad
BM	Factor de amortiguamiento
C_d	Factor de amplificación de desplazamiento post-elástico
Φ	Factor de confiabilidad –
k	Factor de determinación de los niveles de diseño
λ_{min}	Factor de diseño para límite inferior
λ_{max}	Factor de diseño para límite superior
Φ_v	Factor de reducción de capacidad a cortante
Φ_t	Factor de reducción de capacidad a tensión
Ω_r	Factor de sobrerresistencia
R	Factor genérico de reducción de respuesta sísmica
λ	Factor por peso del concreto
Ψ_e	Factor por recubrimiento del refuerzo
Ψ_s	Factor por tamaño del refuerzo
Ψ_t	Factor por ubicación del refuerzo
V_u	Fuerza cortante combinada factorada que actúa sobre el muro
l_0	Índice de sismicidad
b	Lado corto de la estructura
d	Lado largo de la estructura, también peralte
l_d	Longitud de desarrollo
L_w	Longitud del muro
L_{wp}	Longitud efectiva de pandeo
K_{u-max}	Máxima K_u
b_w	Medida de la base de la viga
S_w	Módulo de sección del muro
S_b	Módulo de sección que corresponde a Ab

I_b	Momento de inercia centroidal que corresponde a A_b
I_g	Momento de inercia centroidal que corresponde a A_g
M_u	Momento descargado por el muro interrumpido o momento combinado factorado que actúa sobre el muro
S_{cs}	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo de período corto y período de 1s, respectivamente, en el sitio de interés
S_{1s}	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo de período corto y período de 1s, respectivamente, en el sitio de interés, también S1M
S_{cd}	Ordenada espectral del sismo extremo de período corto, también SCM
S_{1d}	Ordenada espectral del sismo extremo de período de 1 s
$S_{a(T)}$	Ordenadas espectrales de las componentes horizontales del sismo de diseño, también S_a
S_a	Ordenadas espectrales de las componentes horizontales del sismo de diseño, también $S_{a(T)}$
K_T	Parámetro para la determinación de T_a
x	Parámetros para la determinación de T_a
T_{fb}	Período considerado para distribución de fuerzas del método modal para la estructura aislada
T_b	Período de vibración de la estructura obtenido mediante fórmula analítica
T_M	Periodo deseado del sistema aislado
T_s	Período expresado en s que separa los períodos cortos de los largos

T_F	Período fundamental de vibración de la estructura, también T
T	Período fundamental de vibración de la estructura, también TF
T_a	Período fundamental empírico de vibración
T_o	Periodo que define el inicio de periodos cortos del espectro
W_s	Peso sísmico efectivo de la estructura aislada incluyendo el nivel base
W	Peso sísmico efectivo sobre el nivel base
r_1	Radio de giro del sistema de aislación
P_T	Razón del periodo efectivo traslacional al periodo efectivo de torsión del sistema de aislación
A_r	Relación de aspecto HW/LW
K_u	Relación entre la profundidad del eje neutro al momento que el concreto alcanza una deformación de 0.004 y la longitud del muro Lw
Q_d	Resistencia característica del aislador
f'_c	Resistencia nominal del concreto a los 28 días
k_M	Rigidez del sistema de aislación
k_{eff}	Rigidez efectiva del aislador
k_e	Rigidez elástica del aislador
k_d	Rigidez plástica del aislador
s_h	Separación horizontal de las grapas de confinamiento
s_v	Separación vertical de las grapas de confinamiento, igual a la separación vertical del refuerzo horizontal
NA	Suma del área construida

GLOSARIO

Amortiguamiento efectivo	El valor equivalente al amortiguamiento viscoso correspondiente a la energía disipada durante un ciclo del sistema de aislación.
Aislador sísmico	Dispositivo de protección que provee flexibilidad horizontal para los desplazamientos bajo cargas de diseño sísmico.
Deriva unitaria de piso a piso	Es la diferencia del desplazamiento horizontal del centro de masa del nivel k respecto del centro de masa del nivel k-1, dividido entre la altura.
Deriva global	Para establecer la ductilidad de un tramo vertical de muro se utiliza la deriva global; es el cociente de dividir el desplazamiento lateral total del tramo de muro que se analiza entre la altura del tramo. Se puede calcular sobre la altura total del muro desde su base hasta su remate o se puede calcular desde una altura intermedia hasta el remate.
Elementos de borde	Refuerzo vertical requerido para soportar esfuerzos de flexo compresión en los extremos de muros.

Energía disipada	Total de energía disipada por el sistema de aislación durante un ciclo de respuesta completo al máximo desplazamiento D_M .
Interface de aislación	La frontera entre la parte superior de la estructura, que está aislada, y la porción inferior que se mueve rígidamente con el suelo.
Malla de refuerzo electrosoldada	Malla de refuerzo de varillas corrugadas de alta resistencia (grado 70), unidas por medio de soldadura, cuya fabricación debe cumplir con la norma ASTM A-1064.
Muros de ductilidad limitada	Sistema estructural donde las cargas gravitacionales y las cargas laterales de sismo se resisten por medio de muros de concreto reforzado de espesores reducidos, entre 10 y 15 cm, en los que se prescinde de extremos confinados. No cumple con criterios de diseño sismorresistente para muros especiales del ACI 318 al 100%. Su baja ductilidad está asociada a su baja capacidad de disipación de energía, pero debe contar con una ductilidad de al menos 2, según AGIES 7.9.
Nivel de base	Primer nivel sobre la interfaz de aislamiento.
Rigidez efectiva	El valor de la fuerza lateral en el sistema de aislación dividida por el correspondiente desplazamiento.

Sistema de aislación

Conjunto de elementos estructurales, que incluye a todas las unidades de aisladores individuales, todos los elementos que transfieren fuerzas entre elementos del sistema de aislación y todas las conexiones a otros elementos estructurales. El sistema de aislación también incluye las restricciones del sistema al viento, dispositivos de disipación de energía, y las restricciones de los desplazamientos del sistema, si tales sistemas y dispositivos son usados para satisfacer los requerimientos de diseño del capítulo 17 de ASCE/SEI 7-16.

RESUMEN

La industrialización de las construcciones con muros delgados de concreto es una tipología estructural que ha ganado una gran aceptación en el mercado inmobiliario durante los últimos 15 años, principalmente en Latinoamérica, dadas las ventajas económicas y la rapidez con que puede construirse una edificación.

Se sabe que, el comportamiento estructural de este sistema es bastante eficiente hasta un máximo de tres niveles, dadas las características de sus elementos que constituyen una configuración tipo cajón. Sin embargo, la duda surge cuando se sobrepasan los tres niveles de altura.

Se conoce que los muros delgados cuentan con una limitada capacidad inelástica (razón por la cual también se les llama muros de ductilidad limitada). Cuando las compresiones en los muros son muy altas, se hace necesario proveer cierta ductilidad mecánica mediante la inclusión de confinamiento de acero en los extremos, lo que en este tipo de muros es poco práctico de hacer dada su esbeltez.

Esta investigación busca promover el uso de aisladores en la base de este tipo de edificaciones, puesto que su implementación, al igual que en otros tipos de edificaciones reduce el corte basal, impactando directamente en una disminución de la compresión en los muros, derivas y desplazamientos, resultados que incidirían en un mejor desempeño de sistemas con muros de ductilidad limitada.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las edificaciones de muros de ductilidad limitada son un sistema práctico y de bajo costo con respecto a otras formas de construcción, razón por la cual, en Guatemala, en la última década se ha incrementado el desarrollo de proyectos habitacionales utilizando este tipo de estructuras, en muchos de los casos, ya de forma industrializada. La fundición de muros de concreto, con malla electrosoldada y el uso de moldes han permitido la construcción de viviendas en serie en tiempos relativamente cortos.

El desempeño estructural de este tipo de edificaciones es bastante aceptable en construcciones de hasta tres niveles, (esto a pesar del espesor de solo 8 o 10 centímetros), dadas las ventajas que ofrece la tipología de cajón y la relativa baja demanda de esfuerzos a que, comúnmente, están sometidas.

Para el caso de Guatemala, la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica ha dictado algunas recomendaciones que, a corto y mediano plazo, podrían ponerse en práctica para garantizar un buen desempeño sísmico.

- Descripción del problema

El uso de muros de ductilidad limitada se ha excedido más allá de las condiciones para el cual fue originalmente pensado (hasta tres niveles) y en los últimos años, en Guatemala, se han venido construyendo edificaciones multinivel principalmente para uso habitacional, a pesar del pobre desempeño que éstas podrían tener debido a su baja capacidad post elástica.

Solo en el departamento de Guatemala, en el año 2021, 8 de 21 complejos habitacionales (38.10 %), fueron construidos con el sistema de muros de ductilidad limitada y declarados elegibles por el Fondo de Hipotecas Aseguradas, constituyendo estos 8 desarrollos el 44.23 % del total de apartamentos de esos 21 complejos habitacionales (936 de 2116 apartamentos).

La demanda estructural a la que este tipo de edificación debe responder en zonas altamente sísmicas, como Guatemala, ha mostrado no ser la más apropiada. Esto debido a la limitación que representa el espesor de sus muros, pues siendo tan delgados (entre 10 y 16 centímetros), no permiten el confinamiento adecuado del acero en los puntos que, las normas hasta hoy han demostrado deben reforzarse para garantizar la ductilidad que se requiere para la disipación de la energía a que se somete la estructura durante un evento sísmico.

En la norma base (ASCE/SEI 7-16) este sistema no es permitido en zonas de alta amenaza sísmica.

Teóricamente se considera que, si se diseña con niveles de bajos esfuerzos, puede desempeñarse satisfactoriamente, sin embargo, no hay aún suficiente evidencia experimental o de casos reales.

Entonces, se propone el uso de aisladores para reducir la demanda de cargas sísmicas y tener más certeza en cuanto al desempeño del sistema.

- Definición del problema

No se han determinado las ventajas de diseñar estructuras con el sistema de muros de ductilidad limitada con aisladores sísmicos en la base, respecto a estructuras sin aisladores.

- Problemas específicos

- No se ha encontrado el factor determinante de diseño de un sistema de aislación basal para mejorar el comportamiento estructural de una edificación de muros de ductilidad limitada.
- No se ha establecido cómo se reduce el corte basal sísmico en una edificación de muros de ductilidad limitada si se usan aisladores en la base.
- No se ha evaluado la reducción de las compresiones, los desplazamientos y deformaciones cuando se utilizan aisladores en la base de una edificación de muros de ductilidad limitada.

- Delimitación del problema

Dado que la industrialización de las construcciones con muros de ductilidad limitada es un fenómeno encontrado principalmente en Latinoamérica y no en países desarrollados, con mayor capacidad técnica y financiera para realizar investigación experimental con modelos a escala, cuyos resultados permitan una calibración con los métodos matemáticos, esta investigación se limita a la evaluación analítica en el *software* Etabs, de un modelo tipo de un

edificio de apartamentos de 4, 6, 8, 10 y 12 pisos de altura, con muros de espesor menor o igual a 18 centímetros y sin confinamiento en los extremos.

Algunos de los parámetros a investigar por medio del modelo estructural son: la densidad de muros, el control de derivas, cómo minimizar la necesidad de elementos de borde por esfuerzos de flexo-compresión, evitar el incremento de la capacidad a compresión del concreto en los niveles inferiores, usar los menores espesores de muros en los pisos inferiores, entre otros.

Para la determinación de la mejora del comportamiento estructural con el uso de aisladores en la base, se simulará la respuesta de la estructura ante un evento sísmico básico analizándolo con y sin estos dispositivos, y posteriormente, se compararán los resultados. Vale la pena recordar que la normativa guatemalteca aún no incluye dentro de sus consideraciones el uso de aisladores para este sistema estructural, por lo que, en este caso de estudio se tomó como norma base el ASCE/SEI 7-10 y 7-16.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio:

- ¿Cuáles son las ventajas comparativas de una edificación de muros de ductilidad limitada con aisladores sísmicos en la base contra la misma estructura sin aisladores?
- Y para responder a la pregunta principal se deberán contestar las siguientes preguntas secundarias:
- ¿Cuál es el factor determinante de diseño de un sistema de aislación basal para mejorar el comportamiento estructural de una edificación de muros de ductilidad limitada?

- ¿Cómo cambia el corte basal en una edificación con muros de ductilidad limitada si se usan aisladores en la base?
- ¿Cómo cambian las compresiones, los desplazamientos y las deformaciones si se usan aisladores en la base de una edificación con muros de ductilidad limitada?

OBJETIVOS

General

Determinar la ventaja comparativa de diseñar estructuras de muros de ductilidad limitada con aisladores sísmicos en la base respecto a estructuras sin aisladores.

Específicos

1. Encontrar el factor determinante de diseño de un sistema de aislación basal para mejorar el comportamiento estructural de una edificación de muros de ductilidad limitada.
2. Establecer cómo cambia el corte basal sísmico en una edificación de muros de ductilidad limitada si se usan aisladores en la base.
3. Evaluar la reducción de las compresiones, los desplazamientos y deformaciones cuando se utilizan aisladores en la base de una edificación de muros de ductilidad limitada.

HIPÓTESIS

Existe una mejora en el comportamiento estructural de una edificación multinivel de muros de ductilidad limitada si se usan aisladores en la base.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El tipo de la investigación propuesta es de carácter explicativo, pues se asume que la implementación de una variable (aisladores sísmicos), modificará el comportamiento de la otra (muros de ductilidad limitada), ante la aplicación de una fuerza basal producida por un sismo. El diseño que se empleará es del tipo no experimental, ya que la manipulación de datos se realizará mediante el cambio de condiciones de una variable, con el análisis y diseño estructural de una edificación con muros de ductilidad limitada con y sin el uso de aisladores sísmicos en la base, mientras que la otra variable permanecerá constante.

El medio para realizar esta alteración es del tipo analítico, a través del uso del *software* de análisis y cálculo estructural Etabs, por lo que en ningún momento se realizarán ensayos experimentales de laboratorio.

El enfoque es de carácter cuantitativo, pues se pretende analizar y cuantificar el cambio de una variable cuando es afectada por la inclusión de otra. Esta medición se logra mediante la aplicación de procedimientos matemáticos ya establecidos dentro del estado actual del arte del cálculo estructural.

En cuanto a las variables analizadas durante el proceso de esta investigación, se tienen: muros de ductilidad limitada, y aisladores sísmicos. El cambio en las condiciones de empotramiento de la edificación, mediante el uso o no de aisladores sísmicos, permitirá encontrar los resultados para la confirmación o rechazo de la hipótesis planteada en esta investigación.

Dicha investigación estará dividida en fases, siendo la fase 1 la de revisión bibliográfica, con el propósito de contar con un diagnóstico general del problema de investigación realizando una revisión de documentos relacionados con las variables principales: muros de ductilidad limitada y el uso de aisladores sísmicos. La revisión incluye conceptos sobre las dimensiones de cada variable.

En la fase 2, sobre gestión o recolección de información, se procederá a organizar la información disponible alrededor de cada una de las variables y dimensiones del estudio para la redacción del trabajo de investigación.

Posteriormente, en las fases 3 y 4, tratándose de análisis de información, se seguirán los criterios de análisis y diseño estructural para la recolección de datos de gabinete, que se utilizarán en el modelo analítico de la estructura que se ingresará en el *software* Etabs. Una vez ingresado el modelo, se procederá con el análisis estructural de la edificación con base fija, aplicando la carga de sismo de diseño según la norma. De la misma manera, se procederá con el análisis estructural de la misma edificación, pero esta vez con la base aislada.

Una vez realizados ambos análisis, se procederá a la fase 5, siendo esta la de interpretación de información. En esta fase se deberá realizar el diseño estructural de todos los elementos que forman parte del sistema de resistencia vertical y lateral de la edificación. Se espera que este ejercicio permita identificar diferencias en las demandas que cada elemento requiere para cumplir satisfactoriamente la función que les corresponde.

Así mismo, se espera una mejora en el comportamiento estructural de la edificación en términos generales, lo que brindará la pauta para el uso de aisladores sísmicos en la base de edificaciones de ductilidad limitada. También se realizará el detalle de los elementos estructurales, plasmado en planos hechos

en autocad. Una vez culminadas las fases anteriores, se concluirá con la fase 5, la cual se procederá a la redacción del informe final de la investigación y su respectiva impresión.

INTRODUCCIÓN

La incursión del sector inmobiliario en edificaciones multinivel de muros de ductilidad limitada con refuerzo de malla electrosoldada (ASTM A1064/A1064M) y/o acero corrugado (ASTM A615/A706) ha llevado a la ingeniería estructural a un campo de investigación más abierto.

Dadas las fallas observadas durante los terremotos de Chile en 2010 y Nueva Zelanda en 2011 en muros de concreto, y debido a la poca investigación experimental en muros delgados, la baja ductilidad de esta tipología ante eventos sísmicos y el hecho de utilizar estándares menores a los muros tradicionales contemplados por el ACI 318, da la pauta para considerar que el uso de aisladores en la base pueda mitigar estos problemas.

Para evaluar esta alternativa se realizará un estudio analítico del comportamiento de un edificio de 4, 6, 8, 10 y 12 niveles sin aisladores en la base, realizando su modelo en el programa Etabs y aplicando la carga de sismo de diseño, según la norma para la ciudad de Guatemala, zona sísmica AGIES 4.2. Posteriormente, se analizará el mismo edificio utilizando aisladores en la base y así poder comparar los resultados de un ejercicio con el otro y determinar la magnitud del cambio de la fuerza de corte basal, las compresiones, deformaciones y los desplazamientos.

Todo este análisis debe realizarse de manera compatible con las NSE de AGIES. Los resultados permitirán determinar si el uso de aisladores en la base admite diseños más eficientes y seguros, o si, por el contrario, aún con el uso de

ellos, deja a esta tipología con muy poco margen de mejora en su comportamiento estructural.

En el primer capítulo se resume el marco teórico que implica a las variables seleccionadas para este estudio: muros de ductilidad limitada y aisladores sísmicos. Con ello, se brinda un panorama sobre la problemática que rodea al comportamiento de esta tipología estructural, así como los beneficios que podría brindar el uso de aisladores en la base.

En el segundo capítulo se realiza una descripción del tipo de estudio que se realizará, así como el modelo tipo que se analizará y diseñará. Acá se establecen todas las condiciones y requisitos para la determinación de cargas verticales y horizontales a las que se someterá la estructura bajo investigación.

El tercer capítulo está dedicado al análisis y diseño estructural de la edificación sin el uso de aisladores en la base. Los resultados de este apartado permitirán cuantificar la fuerza de corte basal, las compresiones, los desplazamientos, las derivas y otros datos que influyen en el diseño de los elementos estructurales.

En el cuarto capítulo se realizará el mismo ejercicio que en el capítulo anterior, pero esta vez considerando la aislación de la base. Los resultados permitirán conocer también el corte basal, las compresiones, los desplazamientos, las derivas y otros datos importantes que regirán el diseño de los elementos estructurales.

En el quinto capítulo se realizará la comparación de los resultados de ambos ejercicios, lo que determinará la mejora del comportamiento estructural de

la edificación de muros de ductilidad limitada cuando se usan aisladores en la base.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Sistema de muros de ductilidad limitada

El sistema de muros de ductilidad limitada, como su nombre lo indica, es un sistema estructural cuya configuración es un conjunto de muros delgados de concreto, cuyo refuerzo de acero puede ser una o dos mallas electrosoldada o bien una o dos camas de acero corrugado. Dada su esbeltez, no es posible confinar el acero en sus extremos para proveer a estos elementos de ductilidad, de allí su nombre de muros de baja ductilidad.

En la Norma de Seguridad Estructural NSE 7.9, se define como:

Edificaciones de concreto reforzado cuyo sistema resistente gravitacional y de cargas laterales incorpora muros de baja ductilidad que, siempre y cuando satisfaga ciertos límites de esfuerzos, se les permite no llenar todos los requisitos del concreto reforzado de alta ductilidad estipulados en las provisiones sísmicas de la NSE 7.1-18. (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2020, p. 5)

1.1.1. Características

La misma NSE 7.9, recalca que: “en las configuraciones usuales de las edificaciones cubiertas por esta norma, los muros son típicamente numerosos y de poco espesor. El poco espesor de los muros impide confinarlos

convenientemente” (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2022, p. 5).

Además, agrega que: “la capacidad post elástica de los muros depende de las bajas presiones (en las cuales el concreto tiene menor fragilidad)” (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2022, p. 5). Lo que obviamente dependerá de la densidad de muros que este sistema debe poseer.

Dada la baja ductilidad de este sistema estructural, denominado como E2-DB en la normativa guatemalteca (E2 por considerarse muy similar a las estructuras tipo cajón y DB por su ductilidad baja), sus componentes estructurales (losas, muros, cimentaciones) deben cumplir con ciertas características mínimas.

1.1.1.1. Sistema estructural

Como lo indica el caso de estudio *Conceptos de Diseño Estructural*, acerca del sistema estructural de mampostería de baja ductilidad:

La satisfactoria experiencia sísmica con la mampostería reforzada, que también es un sistema de baja ductilidad, indica que puede utilizarse concreto reforzado de baja ductilidad estableciendo límites adecuados de esfuerzos, siempre que el sistema estructural tenga alta redundancia (es decir, numerosas paredes). Nadie duda de la capacidad sismo-resistente de una casa de dos pisos hecha con paredes delgadas de concreto con

refuerzo; la incertidumbre surge al empezar a acumular pisos encima.
(Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2015, p. 8).

Figura 1.

Edificio de muros de ductilidad limitada



Nota. L. Alonzo (2022). *Edificio de apartamentos Parque San Ángel* [Fotografía]. Proviviendagt. (https://es-la.facebook.com/Proviviendagt/posts/hermoso-apartamento-en-renta-parque-san-angel-zona-2precio-de-renta-q425000-mant/1242700756181817/?locale=es_LA) Derechos de autor 2022 por Luis Alonzo.

Por lo tanto, el uso de este sistema debe cumplir con ciertas características en cada uno de sus elementos para garantizar un comportamiento sísmico aceptable. Esos elementos y sus características son:

1.1.1.1.1. Losas

“Son los elementos estructurales encargados de transmitir las cargas verticales hacia los muros. Estos elementos, además, ejercen la acción de

diafragmas horizontales y para garantizar esta función, la NSE 7.9” (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2020, p. 5). Indica que éstas deben ser fundidas *in situ*.

Las losas pueden ser planas, nervadas o bien de viguetas prefabricadas siempre y cuando la loseta se funda *in situ*.

1.1.1.1.2. Muros

“Son los elementos verticales de resistencia de las fuerzas gravitacionales y cargas laterales. Para que los mismos puedan garantizar un adecuado comportamiento estructural, la norma guatemalteca (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2020, p. 5)”. Indica que éstos deben ser componentes prismáticos de sección uniforme de piso a piso. Para conservar esta uniformidad, los sillares y dinteles deben estar desacoplados de los muros, es decir, debe considerarse una junta de dilatación, tanto entre los sillares como entre los dinteles y los muros adyacentes.

Para el diseño de los muros, la misma normativa, indica que los muros pueden ser de forma rectangular, o en el caso de muros perpendiculares en sus extremos, parte de ellos debe considerarse como aletones. De existir elementos de refuerzo de mayor espesor en los extremos del muro, también deben ser considerados como aletones.

De acuerdo con la investigación colombiana *Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado*, se debe tener mucho cuidado en el uso de muros que no son rectangulares, pues estas secciones “no cumplen con la deformación unitaria de diseño, ya que el acero

supera su elongación máxima antes de que el concreto alcance $\varepsilon_c = 0.003$ " (Arteta, Blandón, Bonett, y Carrillo, 2018, p. 46).

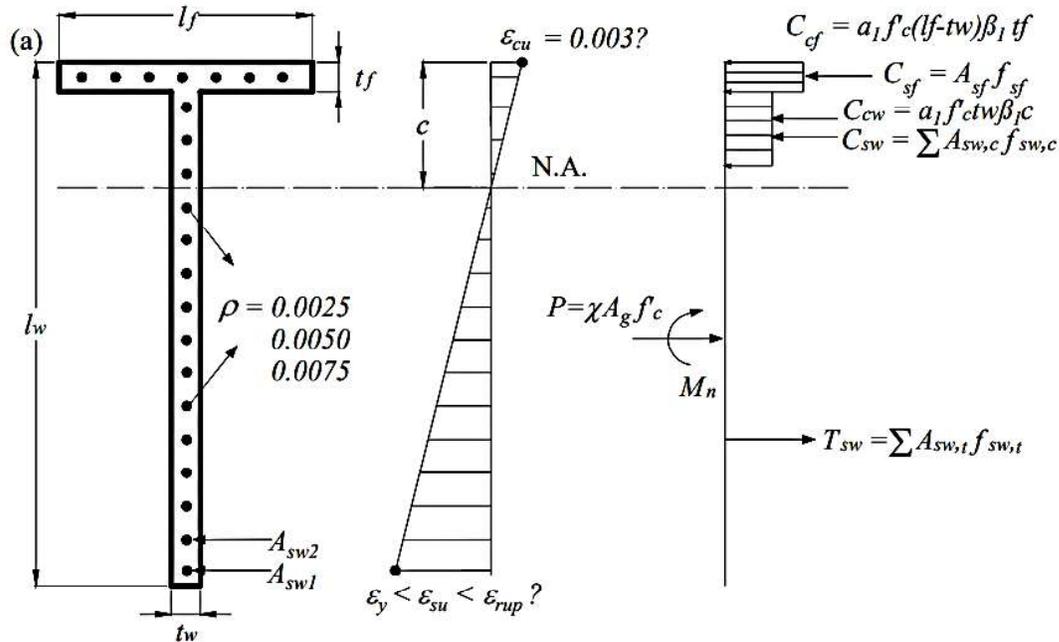
En la investigación de Arteta *et. al.* (2018) se menciona que este fenómeno se debe a que:

Se observa entonces que la adición de una aleta a un muro rectangular tiene un gran impacto sobre la demanda de deformación en el lado de la compresión. Esto es así porque la adición de una gran área en el bloque de compresión propicia el cumplimiento del equilibrio con una profundidad c del eje neutro pequeño, lo que a su vez exacerba la demanda del acero en el lado de la tensión. (p. 48)

Este fenómeno no es muy diferente, tanto si se utiliza malla electrosoldada como si se utiliza acero dúctil como refuerzo.

Figura 2.

Variables del análisis de sección



Nota. Variables del análisis de sección. Obtenido de C. Arteta *et. al.* (2018). *Estudio del comportamiento sísmico de edificios de muros delgados de concreto reforzado.* (p. 46). Colombian earthquake engineering research network.

En cuanto al espesor mínimo de los muros de ductilidad limitada y dado que esta investigación surge por el uso de esta tipología en edificaciones mayores a tres niveles de altura (es decir de 4 niveles hacia arriba), éste sería de 10 centímetros. Por otro lado, considerando muros que por su espesor no podrían contar con refuerzo confinado, estaríamos hablando de un espesor máximo de 16 centímetros (equivalente a 10 niveles).

“Los límites anteriores están en concordancia con la fórmula matemática 11.1.4-1, que propone la norma” (Asociación Guatemalteca de Ingeniería

Estructural y Sísmica, 2020, p. 5). Además, deberá chequearse que el espesor cumple con los requisitos mínimos por pandeo elástico y post elástico.

En cuanto a su relación de aspecto A_r (altura/longitud del muro), se establece que el cociente debe ser menor o igual a 16; los elementos con relaciones mayores a este número son considerados como puntales.

Esta relación de aspecto es importante porque:

Este parámetro se relaciona con la capacidad de rotación del muro y, por consiguiente, con el nivel de desplazamiento no lineal que puede desarrollar el muro antes de presentarse la falla. En este sentido, la relación de aspecto influye considerablemente en el nivel de ductilidad del muro y del edificio. Por lo general, para obtener factores de capacidad de disipación de energía (R) entre 4 y 6, se recomienda como límite superior para la relación de aspecto un valor igual a 6.0. (Arteta, Blandón, Bonett, y Carrillo, 2018, p. 31)

De acuerdo con Priestley *et. al.* (2007), los muros con relaciones de aspecto mayores a 6 no alcanzan a salir del rango elástico de comportamiento, por lo que deberían diseñarse sin considerar el factor de reducción R .

Según la exposición sobre el *Comportamiento de los edificios de muros delgados, según su estructuración* de Bonett (2021), los edificios donde predominan los muros con A_r entre 2 y 4 tendrán una capacidad de disipación reducida; los edificios donde predominan los muros con A_r entre 4 y 8 tendrán una buena capacidad de disipación de energía; mientras que los edificios donde

predominan los muros con relación A_r mayor a 9 tendrán una respuesta elástica y deberán diseñarse para un R igual a 1. Con esto último, su propuesta estaría ampliando el parámetro que sugiere Priestley de 6 a 9 para la consideración de $R = 1$.

Al indicarse que la relación de aspecto A_r se relaciona con la capacidad de rotación del muro y su capacidad de desplazamiento, los estudios experimentales han demostrado que mientras menor sea esta relación (a mayor longitud del muro), menor es su capacidad de rotación y de desplazamiento, que para el caso del experimento de Vélez solamente alcanzó una deriva máxima del 0.67 % para un muro con A_r cercano a 1. (Vélez, Blandón, Bonet, Arteta, Carrillo, Almeida, & Beyer, 2017, p. 22)

1.1.1.1.3. Cimientos

Los cimientos son los elementos estructurales encargados de soportar todas las cargas horizontales y verticales de la superestructura y transferirlas hacia el suelo de forma adecuada, de tal forma que, los asentamientos diferenciales estén dentro de los parámetros adecuados para prevenir daños en la superestructura.

En este tema, la normativa guatemalteca establece que los mismos podrán construirse mediante placas superficiales, cimentaciones corridas interconectadas, pilotes con vigas de interconexión o una combinación de los anteriores de acuerdo con los resultados de los estudios geotécnicos.

En todos los casos, el calculista podrá incrementar los espesores de las losas, ampliar los cimientos, entre otros., de acuerdo con las estimaciones de las fuerzas actuantes y las capacidades del concreto y acero de refuerzo que vaya a utilizarse. En cualquier caso, la norma guatemalteca requiere la aplicación de todos los criterios estipulados en la NSE 7.1, así como las de referencia del ACI 318-19.

1.1.1.2. Sistema constructivo

Este sistema constructivo permite la industrialización del proceso que, en términos generales, permite la reducción de costos y de tiempos de ejecución (ver figura 3).

Figura 3.

Sistema constructivo industrializado



Nota. FORSA (2022). *Sistema industrializado de muros de ductilidad limitada* [Fotografía]. FORSA. (<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/construccion-con-sistemas-industrializados>). Derechos de autor 2022 por FORSA.

A continuación, se indican algunos de esos procesos:

1.1.1.2.1. Acero

La norma guatemalteca permite el uso de acero corrugado de bajo carbono, así como el uso de mallas electrosoldadas como refuerzo en muros delgados.

De acuerdo con el doctor Carrillo (2021), se debe tener en cuenta la baja capacidad de deformación de las barras pretensadas pues, aunque no influyen tanto en la resistencia de los muros delgados, sí lo hacen en su capacidad de deformación. En el mercado colombiano esta deformación es menor a 1.1 %.

Por lo anterior, indica que el uso de malla electrosoldada como refuerzo en muros delgados produce concentración de esfuerzos en una sola grieta y una plastificación en la parte baja debida a la baja capacidad de deformación del acero de refuerzo. Existe un incumplimiento de la hipótesis de diseño en este tipo de muros (Carrillo, 2021).

En este sentido, asevera el doctor Carrillo que el parámetro de resistencia f_u/f_y no es suficiente para garantizar un comportamiento dúctil de este tipo de acero y que, por lo tanto, es preciso que los fabricantes logren márgenes amplios de ductilidad. En condiciones de baja ductilidad, no se recomienda su uso para sistemas sismorresistentes.

La norma guatemalteca, requiere una capacidad de deformación mayor o igual al 3 % en el acero en frío para ser utilizado en toda la estructura, lo que merece una investigación rigurosa sobre las propiedades del acero producido en Guatemala, pues aún en el caso mexicano, este parámetro apenas y ha alcanzado un 2.5 % lo que, de no cumplirse, podría en la práctica llevar a diseños teóricos que incumplen con la hipótesis de falla en el concreto (Carrillo, 2021).

De no cumplirse con este 3 %, la norma indica que puede utilizarse únicamente en edificaciones menores a tres niveles o bien únicamente en los tres niveles superiores de la edificación.

1.1.1.2.2. Concreto

Dado que a mayor resistencia del concreto también se espera una menor ductilidad de este, la NSE 7.9 limita su resistencia a 350 kg/cm^2 para muros de ductilidad baja como parámetro máximo y de 210 kg/cm^2 como límite inferior.

Debido a la esbeltez del muro y el limitado espacio que requiere la formaleta, se debe considerar el uso adecuado de vibradores para la colocación del concreto, su fluidez, el tamaño del agregado, e incluso, el vibrado externo. Para alcanzar una fluidez adecuada, se permite el uso de aditivos.

Para facilitar el desencofrado y la integridad del concreto, durante este proceso, se permite también el uso de aditivos en las formaletas para evitar la adherencia del concreto a los mismos.

1.1.1.2.3. Instalaciones

La NSE 7.9 prohíbe las instalaciones hidrosanitarias en muros portantes, para las cuales requiere el uso de contra muros desacoplados y de ductos diseñados para tal fin. El uso de tuberías hidráulicas y eléctricas está permitido a una mínima expresión.

El objeto de esta restricción es no disminuir la capacidad de los muros portantes, pues la reducción de área neta en algunos puntos puede ser crucial en el comportamiento estructural de estos.

1.2. Sismicidad en Guatemala

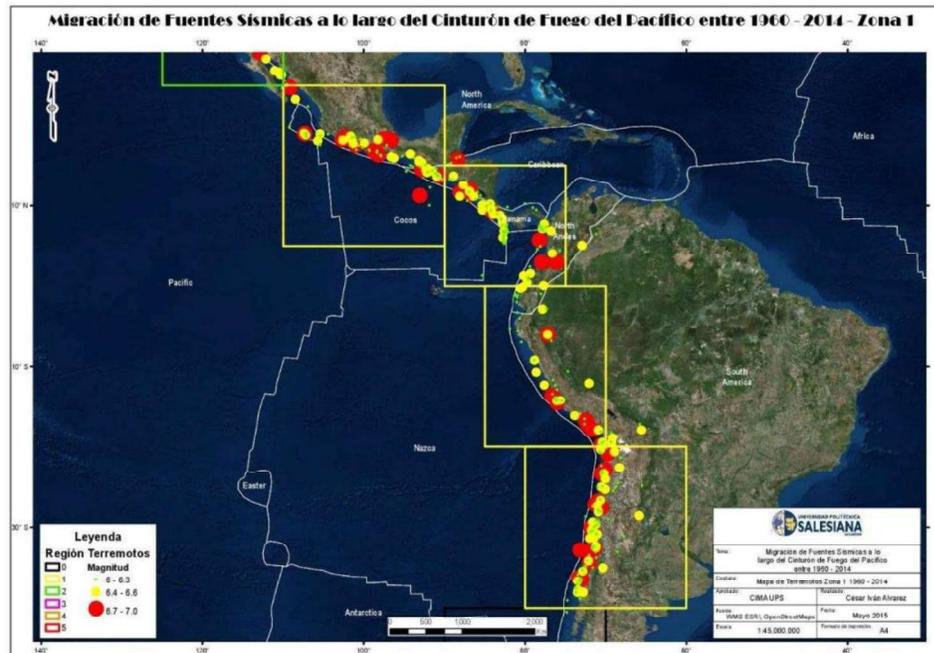
Es sabido que Guatemala se encuentra situado en una triple unión de placas tectónicas; Norteamérica NA, del caribe CA y de cocos CO. Por esta razón está sujeta a una alta sismicidad.

El movimiento relativo entre ellas, su composición (oceánica y continental) y su edad geológica producen dos tipos de límites o zonas de contacto: el primero, tipo transcurrente entre las placas NA-CA, cuya expresión en superficie son las grandes fallas Chixoy-Polochic, Motagua-San Agustín y Jocotán-Chamelecón. El segundo, de tipo convergente entre las placas CO-CA, en este proceso la placa de CO se incrusta por debajo de la placa de CA, fenómeno conocido como subducción. (Molina, Villagrán & Ligorria, 1996, p. 29)

De acuerdo con el artículo *Migración de fuentes sísmicas a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico* de López, Álvarez & Villarreal (2016), entre los años 1960 y 2014, ha existido un corrimiento de las fuentes sísmicas en el sentido antihorario (ver figura 4), que para la región en que se ubica Guatemala, se ha desplazado de Chile hacia México, lo que incide en un incremento en el número de sismos en el país o cercanos a él.

Figura 4.

Distribución de epicentros sísmicos entre 1960 a 2014



Nota. Ubicación de epicentros sísmicos entre 1960 y 2014. Obtenido de A. López, C. Álvarez & E. Villarreal (2016). Migración de fuentes sísmicas a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico. *Revista de ciencias de la vida*, 25(1), p. 6. <https://www.redalyc.org/journal/4760/476051824001/html/>

Vale la pena recordar que, durante este mismo período, se suscitaron los terremotos del 4 de febrero de 1976 y el del 7 de noviembre de 2012, siendo los que más daños han causado en Guatemala.

1.2.1. Diseño sismo resistente

En diseño sismo resistente de edificaciones, la energía que se transmite a una estructura durante un evento sísmico puede disiparse mediante tres mecanismos: por resistencia, por ductilidad y por disipación.

Para el desarrollo de esta investigación es de particular interés el uso de los sistemas de disipación, entre ellos tenemos:

1.2.1.1. Sistemas de control activo

De acuerdo con la investigación *Estudio comparado de los métodos y dispositivos actuales orientados a amortiguar los efectos del terremoto sobre la estructura de los edificios* de Anguelova, (2020), se define a estos sistemas como:

Sistemas que buscan controlar mediante fuerzas de control y en tiempo real, la respuesta del edificio frente a acciones externas dinámicas, mediante el uso de actuadores, sensores y controladores. Los esfuerzos exteriores, así como la respuesta inmediata de la estructura, son detectados por los sensores y analizados por sistemas computacionales de control o también denominados controladores, que a través de algoritmos de control establecen los parámetros a los que los actuadores deben funcionar, añadiendo unas fuerzas determinadas que controlan la respuesta de la estructura, adecuándola a las deformaciones, vibraciones, entre otros. Suelen requerir de una fuente externa para su puesta en funcionamiento, lo que supone una de sus mayores desventajas, pero se estudia el hecho de que puedan permanecer bloqueados y manteniendo la estructura rígida, si dicha fuente dejase de funcionar. (p. 21)

Además, se señala que estos sistemas se centran en el control de las deformaciones mediante el uso de cables o tendones activos, arriostramientos

activos y para el control de las vibraciones, utiliza principalmente amortiguadores de masa activa o algunas versiones híbridas de ella (Anguelova, 2020).

Figura 5.

Sistema de control activo



Nota. PlaceTech (2022). *Péndulo oscilante.* [Fotografía]. Worlds Smart Buildings. (<https://placetech.net/es/strategy/worlds-smartest-buildings-taipei-101-taiwan/>). Derechos de autor 2022 por PlaceTech.

De acuerdo con el estado actual del arte, los sistemas activos son los más efectivos, pues permiten adecuar la respuesta en tiempo real en concordancia con el movimiento externo, sin embargo, también son de los más complejos y caros, requiriendo mantenimiento constante y de difícil acceso.

Existen también algunos intentos de aislamiento basal híbrido, es decir, la mezcla de sistemas de aislación basal de control pasivo con mecanismos de control activo, demostrando que esta mezcla mejora considerablemente la respuesta sísmica de las estructuras, sin embargo, “son difíciles de incorporar en los edificios, debido a que requieren de un control cuidadoso, una sintonía y unos

algoritmos de control algo complejos para implementarlos” (Lin, Tagawa, & Chan, 2019, p. 35).

Dadas estas complejidades y los costos de implementación, para esta investigación se descarta la propuesta de sistemas de aislación basal híbridas.

1.2.1.2. Sistemas de control pasivos

Consiste en elementos que absorben la energía inducida a la edificación por efectos del viento o por sismos mediante mecanismos de amortiguamiento adicional a la estructura. Este sistema es el más utilizado en el mundo, pues tiene dos grandes ventajas sobre los sistemas de control activo: menor costo, y no necesitan una fuente de energía externa. (Anguelova, 2020, p. 21).

De acuerdo con la investigación de Anguelova (2020), dentro de esta categoría encontramos los aislamientos sísmicos y los disipadores de energía:

La diferencia entre ambos se encuentra en cómo ayudan a disipar la energía sísmica en la estructura sobre todo por el lugar en el que se ubican. En el caso de los aislamientos sísmicos, éstos evitan la entrada de la mayor cantidad posible de energía sísmica al edificio situándose entre la cimentación y la estructura. Mientras que los disipadores de energía se colocan en determinados lugares clave, normalmente en los últimos pisos

del edificio, donde ayudan a que la respuesta sísmica de la estructura sea menor absorbiendo éstos gran parte de los esfuerzos. (p. 46)

A su vez, los aisladores sísmicos pueden dividirse principalmente en dos grupos: los aisladores elastoméricos y, los aisladores deslizantes.

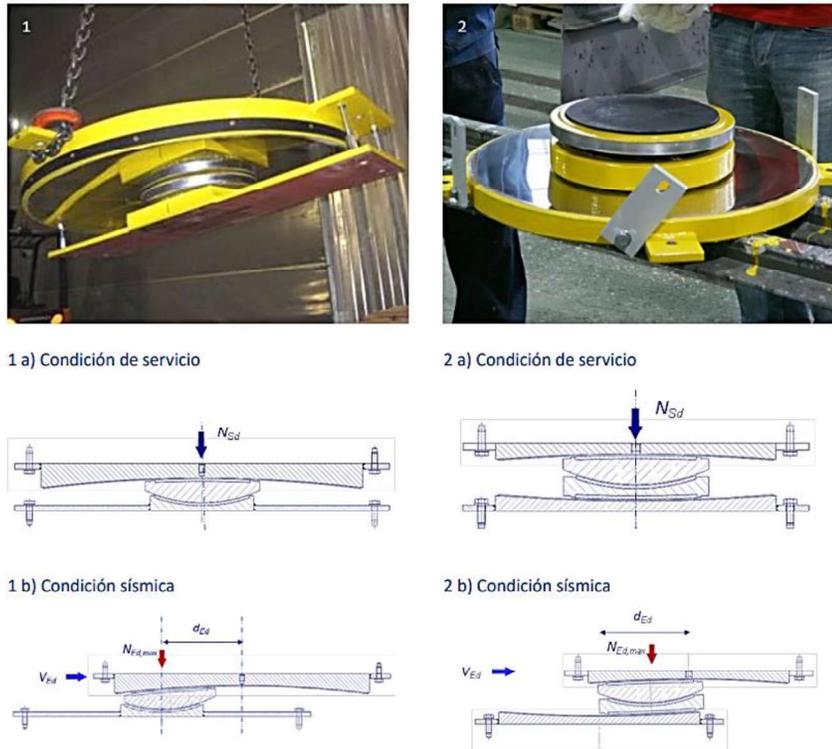
Figura 6.

Aisladores elastoméricos



Nota. MAGEBA (2022). *Aislador de alto amortiguamiento.* [Fotografía]. LASTO HDRB. (<https://www mageba-group.com/global/data/docs/es/2573/PROSPECT-LASTO-HDRB-latam-es.pdf?v=1.2>). Derechos de autor 2022 por de MAGEBA 2022.

Figura 7.
Aisladores deslizantes



Nota. MAGEBA (2022). *Aisladores deslizantes*. [Fotografía]. Brochure Reston Pendulum Mono y Duplo. (https://www.mageba-group.com/latam/data/docs/es_BR/2575/BROCHURE-RESTON-PENDULUM-latam-es.pdf?v=1.2). Derechos de autor 2022 por de MAGEBA 2022.

Por otro lado, los disipadores de energía tienden a clasificarse en: (a) dispositivos de histéresis, que a su vez pueden ser amortiguadores metálicos o bien, amortiguadores de fricción, (b) dispositivos viscoelásticos, (c) amortiguadores de masa sintonizados, (d) amortiguadores viscosos, e) dispositivos de rigidez magnética negativa y

(f) dispositivos de restablecimiento de la rigidez pasiva. (Anguelova, 2020, p. 46).

Dada la alta rigidez de los muros de ductilidad limitada y la forma de disipación de la energía de los sistemas de aislación y los de disipación (principalmente por la ubicación dentro de la edificación de estos últimos, que podría ser más crítica para los muros delgados de baja ductilidad), resulta más conveniente el uso de los sistemas de aislación para el sistema estructural a modelar en este trabajo de investigación.

De acuerdo con Anguelova (2020), “así, la respuesta del edificio se reduce considerablemente, lo que permite el uso de materiales y sistemas constructivos más variados e incluso de menores dimensiones, permitiendo reducir el coste de construcción, lo que compensa el uso de este dispositivo.” (p. 47). Tal aseveración aplica al caso de las estructuras de muros de baja ductilidad.

1.3. Sistema de aislación basal

Se considera que una de las definiciones más completas del sistema de aislación basal es:

Es una técnica que nos permite reducir las distorsiones de pisos, así como las aceleraciones de la estructura, pero sobre todo es un sistema que basa su eficacia en aislar la estructura de los movimientos del suelo potencialmente peligrosos. Reduce con ello la energía que entra en la estructura y sus efectos, especialmente en el rango de frecuencia natural del edificio, donde provoca un aumento del periodo natural de la estructura

a un rango de frecuencia superior, normalmente de 2-4 segundos. (Lin, Tagawa, & Chan, 2019, p. 7)

Por lo tanto, sería lógico pensar que el sistema de aislación basal podría no ser muy recomendable para su uso en edificaciones de gran altura, sin embargo, hay que tomar en cuenta que:

Si el edificio ya de por sí posee un periodo largo de vibración, como ocurre en el caso de los edificios de gran altura, el uso de estos sistemas no sería muy práctico dado que no estaría aportando un aumento significativo en el periodo del edificio. Sin embargo, la incorporación de diversas estrategias como el refuerzo de la estructura o la amortiguación adicional en la estructura han permitido su uso con éxito en más de 200 edificios de entre 60-180 metros, localizados en Japón. Las preocupaciones derivan ahora en la necesidad de poder evitar el desplazamiento de un edificio de tales características sin suponer el colapso del propio sistema y de evitar su vuelco por una excesiva compresión y tensión del aislamiento sísmico. (Anguelova, 2020, p. 47)

Lo anterior coloca a los sistemas de aislación basal como los mecanismos más utilizados en las estructuras por su versatilidad a la hora de su utilización en edificios de baja, mediana y gran altura.

Figura 8.

Sistema de aislación basal con aisladores elastoméricos



Nota. Elemento (2022). *Construcción edificio con aislación sísmica*. [Fotografía]. Elemento. (<https://www.facebook.com/elemento.zona13/>). Derechos de autor 2022 por Elemento.

El sistema de aislación basal ha sido bastante estudiado y comercializado por su reducido coste (en comparación a los sistemas de control activo), y se divide principalmente en dos grupos: aisladores elastoméricos y aisladores de fricción deslizante o basculantes.

Dentro del grupo de los aisladores elastoméricos podemos encontrar los siguientes tipos:

- *Natural rubber bearing*, NRB (aisladores de goma natural)
- *Low-damping rubber bearing*, LDRB (aisladores de goma de baja amortiguación)

- *High-damping rubber bearing*, HDRB (aisladores de goma de alta amortiguación)
- *Lead plug rubber bearing*, LRB (aisladores con núcleo de plomo)

En el grupo de aisladores deslizantes se encuentran los siguientes tipos:

- *Friccional pendulum system*, FPS (sistema friccional de péndulo)
- Apoyos vasculares

1.3.1. Aisladores de tipo elastomérico

Estos dispositivos están formados por capas cilíndricas alternas de elastómeros naturales o sintéticos y capas de acero. Mientras que el material elastomérico cumple la función de permitir desplazamientos horizontales (lo que brinda amortiguamiento y disipación de energía en la estructura), el acero cumple la función de resistencia vertical.

Los aisladores de goma natural y los de goma de bajo amortiguamiento, son los dispositivos más fáciles de producir y los de costo más bajo. Sin embargo, también son los que ofrecen menor amortiguamiento, entre 2 y 3 %.

Debido a este bajo amortiguamiento, los aisladores de goma natural y los de goma de bajo amortiguamiento suelen combinarse con otro tipo de amortiguadores para ampliar la capacidad de disipación de energía en la estructura. Entre los dispositivos que más se utilizan para conseguir esta elevación de su capacidad están los aisladores con núcleo de plomo y los aisladores de goma de alta amortiguación.

De acuerdo con el informe Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras Genatios y Lafuente (2016), los aisladores con núcleo de plomo “pueden llegar a ofrecer un amortiguamiento de entre 25 a 30 %, pues la adición del plomo le permite tener mayores deformaciones, mientras que aquellos aisladores con núcleo de goma únicamente alcanzan amortiguamientos de alrededor 12 %2 (p. 18).

En cuanto a los aisladores de goma de alto amortiguamiento, éstos cuentan con un agregado de resinas y aceites en el caucho natural, lo que reduce su capacidad de amortiguamiento hasta un estimado del 10 a 20 %. “Su capacidad de mantener un comportamiento histerético adecuado, es lo que le añade valor a la hora de disipar energía” (Anguelova, 2020, p. 22).

1.3.2. Aisladores de deslizadores friccionales o basculantes

La definición de este tipo de dispositivos se resume de la siguiente manera:

Son aisladores sísmicos cuyo funcionamiento se basa en reducir las aceleraciones y las fuerzas externas mediante un elemento deslizante con un coeficiente de fricción dado y que, como el resto de los aisladores, se localiza entre la estructura y la cimentación. (Anguelova, 2020, p. 50).

Según Genatios y Lafuente (2016), la capacidad de amortiguamiento de estos dispositivos:

Es proporcionado por la fuerza dinámica de fricción, la cual puede ser ajustada en la medida en que se varían las propiedades del material compuesto de baja fricción, generando valores de amortiguamiento que varían entre 10 % y 30 % del amortiguamiento crítico. (Genatios y Lafuente, 2016, p. 58)

Estos aisladores consisten en placas, que pueden ser rectas o curvas, entre las que se produce el deslizamiento. Las de placas curvas son las más utilizadas, dado que las de placas rectas pueden ocasionar problemas para volver a su posición inicial una vez sometidas a un movimiento horizontal, mientras que las de placas curvas se consideran auto centrantas, pues una vez finalizado el sismo, el cojín esférico vuelve a su posición original.

Este fenómeno es producido por el peso de la propia estructura y la forma esférica del cojín, que vuelve a la parte baja de la cavidad de la placa inferior del aislador.

1.4. Normas de diseño para aisladores sísmicos

En el caso guatemalteco, la tipología de muros de ductilidad limitada, al igual que en otros países de Latinoamérica, empezó a ser utilizada sin cumplir requerimientos de normativa alguna, pues se carecía de ella. Por el contrario, dado el incremento en su uso, fue que se inició su investigación analítica y experimental, junto a primeros borradores que buscaban normar su análisis y diseño.

Tal como lo indica la norma NSE 7.9, el uso de aisladores en la base podría contrarrestar las preocupaciones en los sistemas de ductilidad limitada, sin embargo, a la fecha aún no se emite una norma específica que regule el uso de aisladores sísmicos, por lo que para ello se aplican criterios de normas internacionales (ASCE/SEI 7-10 y 7-16 para ser específicos), mismo fenómeno que ha ocurrido en otros países de América Latina con algunas adaptaciones al contexto de cada uno de ellos.

Como indica Anguelova (2020) en su investigación doctoral:

El uso de aisladores y amortiguadores sísmicos en las estructuras es un tema de poco desarrollo normativo en la mayoría de los países de la región, con la excepción de Chile, país que dispone de una normativa específica para el uso de aisladores sísmicos: Norma NCh 2745. Aunque el uso de aisladores y disipadores se ha ido generalizando en la región, en particular para la construcción de puentes, sus aplicaciones en edificaciones y viviendas son menos generalizadas. (p. 96)

Sin embargo, a la fecha se sabe que otros países como Perú y Colombia, ya cuentan con una normativa específica para la aislación sísmica. En el caso mexicano existen estipulaciones en el Manual de Obras Civiles que, sin embargo, no han sido publicados.

Como indica Tena (2019), uno de los requisitos para el diseño de sistemas basales en México, considera lo siguiente:

En congruencia total con otros lineamientos internacionales (UBC-97 1997, FEMA-368 2001, NCh2745 2003, IBC-2006, ASCE-7 2010), se exige que los sistemas de aislamiento sísmico se ensayen para confirmar las propiedades utilizadas en el cálculo y diseño de la estructura aislada.

(p. 32)

A continuación, se resumen los principales requisitos contenidos en las normativas chilena, peruana y estadounidense, para el diseño de aislamiento basal.

Tabla 1.

Comparación de normas para diseño de aisladores sísmicos

Criterio	ASCE/SEI 7-2016	Nch2745-2003	E.031-2019
Análisis por fuerzas equivalentes	Requisito, fija límites, no es para el diseño final en la mayoría de los casos.		
Análisis modal espectral	Se puede utilizar para el diseño final con 100 % y 30 %		Se puede utilizar para el diseño final con 100 % y 30 %, sólo en estructuras regulares.
Análisis tiempo historia	Para todas las estructuras que no cumplan requisito del ME. Mínimo 3 pares de registro.		Para todas las estructuras que no cumplan requisito del ME. Mínimo 7 pares de registro.
Mínima fuerza cortante basal	-1.5 la fuerza de activación del SA -viento -Espectro con T_A		$-V_{st}$ en función a V_b , P_s , P y β_m -Viento -Espectro con T_A

Continuación de la tabla 1.

Criterio	ASCE/SEI 7-2016	Nch2745-2003	E.031-2019
Factor de reducción en la superestructura	3/8 R, máximo 2, mínimo 1	Entre 1.4 a 2 según tabla de RI	3/8 R _o , máximo 2
Control de deriva	-0.015/R _i EST	-0.020/R _i EST	-0.035/R _i EST
	-0.015/R _i ME	-0.025/R _i ME	-0.035/R _i ME
	-0.020/R _i TH	-0.030/R _i TH	-0.050/R _i TH
Evento máximo creíble	Para comprobar desplazamientos y el sistema de aislación	Para comprobar el sistema de aislación y realizar ensayo de aisladores	Para comprobar desplazamientos, el sistema de aislamiento y realizar ensayos de aisladores.
Rango sugerido para el T _A	Menor a 5 segundos	Entre 2 y 3 segundos	Entre 2 y 5 segundos
Consideraciones enfatizadas			P - Δ
Legalidad	No especifica	Todos los aisladores deben estar certificados y haber sido ensayados en el país	Todos los aisladores deben estar certificados y haber sido ensayados en laboratorio certificado

Nota. Principales requisitos contenidos en las normativas chilena, peruana y estadounidense, para el diseño de aislamiento basal. Adaptado de L. Dávila (2020). *Edificio con MDL utilizando aisladores elastoméricos para la mejora del desempeño sísmico del proyecto multifamiliar Ciudad del Sol de Retablo del distrito de Comas*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Archivo digital. (<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24347?show=full>).

Para el caso de estudio, el análisis y diseño de los aisladores se realizará bajo las recomendaciones del capítulo 17 del ASCE/SEI 7-10 y 7-16, dada la ausencia de una normativa guatemalteca y que, por lo general, los lineamientos

de diseño estructural se realizan bajo la influencia de la investigación estadounidense.

1.5. Aislación basal en Guatemala

Como se indicó anteriormente, aunque no existe una normativa específica para la aislación basal en Guatemala, la sección 4.4.5. *Aislamiento sísmico* de la NSE 7.9 permite el uso de ellos en estructuras de baja ductilidad. Al respecto la norma indica:

La estructura DB podrá montarse sobre aisladores sísmicos; se introducirán en el modelo analítico los elementos de enlace que modelen propiedades estructurales compatibles o equivalentes a las que indique el proveedor de aisladores; la ductilidad y los límites de esfuerzos prescritos para muros DB permanecerán invariables. (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2020, p. 44)

Posteriormente, señala que debe de proveerse de holguras suficientes para el adecuado desplazamiento de los aisladores.

El uso de los aisladores es un tema de reciente implementación en Guatemala, contando a la fecha con 5 ejemplos en edificios de marcos dúctiles, siendo cuatro de ellos módulos para un centro universitario en Jocotenango, Sacatepéquez (ver figura 9) y uno adicional para un edificio para comercio y apartamentos en la zona 13 de la ciudad de Guatemala (ver figura 10).

Figura 9.

Módulos para centro universitario con aislación basal



Nota. L. Stolz (2022). *Construcción UMG con aislación sísmica en Jocotenango* [Fotografía]. Skyscrapercity. (<https://www.skyscrapercity.com/threads/campus-universidad-mariano-g%C3%81lvez-jocotenango-sacatepequez.2188506/>). Derechos de autor 2022 por Luis Stolz.

Figura 10.

Edificio de uso mixto con aislación basal



Nota. Elemento (2021). *Edificio Elemento zona 13*. [Fotografía]. Elemento (<https://www.inversen.com/property/elemento-zona-13>). Derechos de autor 2021 por Elemento.

2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

2.1. Tipo de la investigación

El tipo de la investigación propuesto es de carácter explicativo, pues se asume que la implementación de una variable (aisladores sísmicos), modificará el comportamiento de la otra (muros de ductilidad limitada), ante la aplicación de una fuerza basal producida por un sismo.

2.2. Diseño de la investigación

La investigación es del tipo no experimental. La manipulación de datos se realizará mediante el cambio de condiciones de una variable, que se realizará mediante el análisis y diseño estructural de una edificación con muros de ductilidad limitada con y sin el uso de aisladores sísmicos en la base, mientras que la otra permanecerá constante. El medio para realizar esta alteración es del tipo analítico, a través del uso del *software* de análisis y cálculo estructural Etabs, por lo que en ningún momento se realizarán ensayos experimentales de laboratorio.

2.3. Enfoque de la investigación

El enfoque es de carácter cuantitativo, pues se pretende analizar y cuantificar el cambio de una variable cuando es afectada por la inclusión de otra. La medición de ese cambio es de tipo numérico y se logra mediante la aplicación de procedimientos matemáticos ya establecidos dentro del estado actual del arte del cálculo estructural.

2.4. Variables

Las variables son: a) muros de ductilidad limitada, y b) aisladores sísmicos. El cambio en las condiciones de empotramiento de la edificación mediante el uso o no de aisladores sísmicos permitirá encontrar los resultados para la confirmación o rechazo de la hipótesis planteada en esta investigación.

Tabla 2.

Operacionalización de variables

Problema	Variable	Definición	Dimensión	Indicador
No se han analizado las ventajas de diseñar estructuras con el sistema de muros de ductilidad limitada con aisladores sísmicos en la base, respecto a estructuras sin aisladores	Aisladores sísmicos	Son dispositivos de protección que proveen flexibilidad horizontal para los desplazamientos bajo cargas de diseño sísmico	Dispositivos de protección	Magnitud del C_s de activación de dispositivos vs C_s del T_F de la estructura
			Flexibilidad horizontal para los desplazamientos	% de amortiguamiento efectivo del sistema de aislación basal
			Cargas de diseño sísmico	% reducción del C_s y del corte basal

Continuación de la tabla 2.

Problema	Variable	Definición	Dimensión	Indicador
No se han analizado las ventajas de diseñar estructuras con el sistema de muros de ductilidad limitada con aisladores sísmicos en la base, respecto a estructuras sin aisladores	Muros de ductilidad limitada	Sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad está dada por muros en los que se prescinde de extremos confinados. Su baja ductilidad está asociada a su baja capacidad de disipación de energía, pero debe contar con una ductilidad de al menos 2, según AGIES 7.9	Resistencia sísmica y cargas de gravedad	% de reducción de las cargas axiales, cortes y compresiones en muros
			Extremos confinados	% de reducción de muros que requieren elementos de borde
			Baja ductilidad asociada a la disipación de energía	% de reducción de desplazamientos y deformaciones

Nota. Operativización de variables. Elaboración propia, realizado con Word.

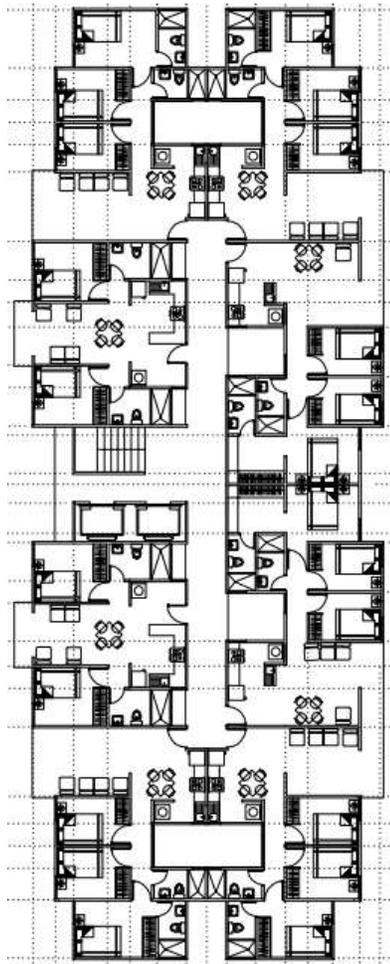
2.5. Unidad de análisis para el caso de estudio

Consiste en un edificio de apartamentos de con variación de 4, 6, 8, 10 y 12 niveles, con 8 apartamentos familiares por nivel. El área de construcción es de 574.86 m²/nivel. La ubicación de este inmueble está en el municipio de Villa Canales, en el área de Boca del Monte, en un terreno plano, por lo que no se

considerará afección alguna causada por su topografía más que el análisis con la interacción suelo estructura, aplicando el método simplificado de winkler.

Figura 11.

Planta arquitectónica para el caso de estudio



Nota. Planta arquitectónica. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

2.5.1. Configuración del caso de estudio

La configuración inicial para los muros y losas, documentada en este caso de estudio, corresponde a una edificación de 6 niveles. Se consideró que a partir de este número de niveles el sistema empieza a mostrar mayores dificultades con respecto a uno de 4 niveles.

Para los casos con 4, 8, 10 y 12 niveles, que no se encuentra documentada en este caso de estudio, solamente se mencionan algunos de los resultados que interesan para el análisis y conclusiones del estudio.

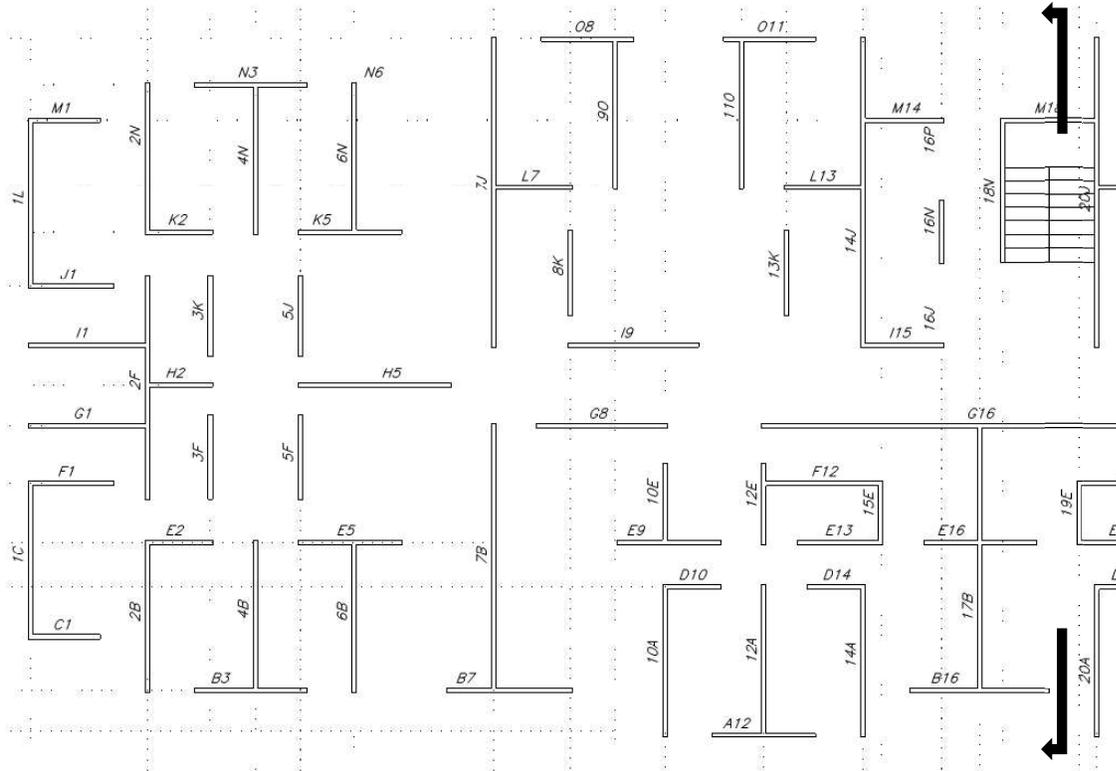
El proceso en general fue el siguiente:

2.5.1.1. Muros

La estructura del edificio está compuesta por 60 muros de concreto reforzado en el sentido X y 55 en el sentido Y, a los cuales les ha sido asignada una nomenclatura única para identificar a cada muro de forma individual (ver figuras 12 y 13), con el fin de facilitar el análisis y diseño estructural de forma ordenada.

Figura 12.

Nomenclatura de muros, ala izquierda



Nota. Nomenclatura de muros, ala izquierda. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

$$A_{pTxy} = 1.5 * N_A / f'_c,$$

N_A = Área total de construcción y

f'_c = 210 kg/cm² (resistencia del concreto para muros)

Nótese que, en esta expresión matemática, el incremento de f'_c favorece una reducción del área mínima de muros y, por lo tanto, no promueve una mejor densidad. Con el objetivo de contar con una mejor redundancia estructural, en este caso de estudio se consideró un f'_c de 210 kg/cm² para efectuar ese cálculo. No así, el modelo inicial contó con un f'_c de 350 kg/cm² en los primeros dos niveles, 280 kg/cm² para el tercero y cuarto y 210 kg/cm² para el quinto y sexto.

Además, es importante aclarar que los cálculos previos para determinar el espesor mínimo de los muros (indicados en el capítulo 11 de la NSE 7.9), dieron como punto de partida muros de 12 centímetros de espesor (ver apéndices 1 y 2), exceptuando los muros G16, H15, H28, 1L y 33L que contaron con 14 cm., y los muros 2F, 7B, 7J, 14J, 17B, 20J, 27B, 27M y 32F con 16 cm.

El cálculo del área mínima de muros fue:

- $N_A = 574.86 \text{ m}^2 * 6 \text{ niveles} = 3,449.16 \text{ m}^2$
- $A_{pTxy} = 1.5 * 3,449.16 / 210 = 24.02$
- Área mínima de muros = $\sum A_{vxy} \geq 0.40 * 24.02 = 9.61 \text{ m}^2$

El edificio posee un área total de muros en X de $\sum A_{vx} = 16.93 \text{ m}^2$ y en el sentido Y de $\sum A_{vy} = 24.22 \text{ m}^2$ (ver apéndices 5 y 6), por lo que se concluyó que:

- Chequeo en el sentido X: $16.93 \text{ m}^2 \geq 9.61 \text{ m}^2$, densidad adecuada
- Chequeo en el sentido Y: $24.22 \text{ m}^2 \geq 9.61 \text{ m}^2$, densidad adecuada

De acuerdo con el dato obtenido para $0.4 * A_{pTxy}$, se pudo observar que esto únicamente constituye el 1.67 % del área de cada nivel, lo que prevé una baja redundancia estructural. Si no se aplica la reducción del 60 % a A_{pTxy} el porcentaje mínimo sería 4.18 %, lo cual podría ser antieconómico.

En ese orden de ideas, convendría ser más conservador para garantizar una mejor densidad de muros, lo que permitirá manejar niveles más aceptables de carga axial y el control de derivas y al mismo tiempo, mantener la economía de la estructura. En ese sentido, para este caso de estudio se utilizó un parámetro intermedio de 3 %. (ver sección 2.7.1. de este mismo capítulo).

También se hizo una estimación del % de corte que soporta cada muro en ambos sentidos de la estructura, aplicando:

$$\%V_i = T_{wi} * L_{wi}^2 / \sum T_{wi} * L_{wi}^2, \quad (2)$$

Donde:

T_w = espesor del muro, y

L_w^2 = longitud del muro

Los resultados, contenidos en los apéndices 3, 4, 5 y 6, indicaron que en la dirección X este valor es de 49.81 m³ y para Y el dato es de 101.76 m³, lo cual prevé que a pesar de que la estructura es más larga en el sentido X que en el sentido Y , su densidad de muros hace que la estructura sea más rígida en el sentido Y , que en X . Por lo que, se podía esperar que su primer modo de vibración estuviera orientado hacia X y no en Y , como pudo haberse asumido a simple vista.

Además, se revisó que en el estudio analítico el corte que soportaba cada muro no superará el 20 % del total, como lo recomienda la NSE 7.9-18, pues los cálculos preliminares (realizados con la aplicación de la fórmula 2), indicaban que el muro G16 podría estar llevando hasta el 26.44 % del corte, lo que de confirmarse conllevaría a una evaluación de la redundancia estructural, en caso el muro llegara a fallar.

2.5.1.2. Losas y altura

En cuanto a la altura de la edificación, cada nivel es de 2.50 metros más un espesor de losa de 0.15 metros. Esto dejó a cada nivel con una altura de 2.65 metros y una altura total del edificio de 16.30 metros, pues en el primer nivel se agregaron 0.40 m de desplante.

El dimensionamiento preliminar de las losas requería un espesor mínimo de 10 cm., sin embargo, se consideraron 15 centímetros previendo que el análisis estructural requiriera un diseño estructural con refuerzo de doble cama (por la reversión de momentos), y en este sentido, era más práctico en campo hacer una armadura con el acero de refuerzo de doble cama en un espesor terminado de 15 centímetros, que en un espesor de solo 10 cm.

Dicho lo anterior, el esquema en elevación del edificio para el caso de estudio fue como se observa en la figura 14.

Figura 14.

Esquema elevación del edificio



Nota. Esquema de elevación. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

2.6. Cargas aplicables

Las cargas que se aplicaron al caso de estudio respondieron a lo contenido en la Norma de Seguridad Estructural 2-18 para Guatemala (NSE 2-18), de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

2.6.1. Cargas verticales gravitacionales

Dentro de las cargas gravitacionales se consideraron las siguientes:

2.6.1.1. Peso propio

Dado que el sistema estructural consistió en muros delgados de concreto reforzado y losas tradicionales, también de concreto reforzado, el peso propio aplicable dependió de la densidad volumétrica del concreto que conformaba cada uno de esos elementos, lo que equivale a $2,400 \text{ kg/m}^3$, que como se indicó anteriormente, cuenta con muros con espesores de 12, 14 y 16 cm., y losas de 15 cm.

2.6.1.2. Cargas muertas superpuestas

Para el caso de los entresijos se consideró una sobrecarga como producto de la nivelación (20 kg/m^2), instalación de piso cerámico (65 kg/m^2), aplicaciones en cielos (20 kg/m^2), e instalaciones (5 kg/m^2), para una sobrecarga total de 110 kg/m^2 .

Para el techo se consideró el peso de los pañuelos (30 kg/m^2), aplicaciones en cielos (20 kg/m^2), impermeabilización (35 kg/m^2), e instalaciones (5 kg/m^2), para una sobrecarga total de 90 kg/m^2 .

Además, para el caso de los muros, se aplicó una sobrecarga de 50 kg/m^2 , como producto de aplicaciones y alisados.

2.6.1.3. Carga viva

Para los apartamentos se consideró una carga uniformemente distribuida de 200 kg/m^2 , la cual podía reducirse de acuerdo con la acumulación de áreas tributarias.

Para los balcones, los pasillos comunes, y las escaleras se aplicó una carga de 300 kg/m^2 que, a diferencia de la mencionada en el párrafo anterior, no pudo reducirse.

Para el techo se aplicó una carga de 100 kg/m^2 .

2.6.1.4. Carga de viento

No se contempló en este caso de estudio dado que no es una carga concurrente con la carga de sismo y por la tipología de qué se trata, se consideró que sus efectos no serían mayores a las del sismo. Por lo tanto, en el análisis estructural se obviaron las combinaciones CR6 y CR7, establecidas en la NSE 2-18. Ver sección 2.6.3 de este documento.

2.6.1.5. Cargas de tefra volcánica

Para estimar la carga por tefra volcánica, se tomó en cuenta el peso de la tefra húmeda, $1,700 \text{ kg/m}^3$ y para el punto de ubicación hipotético del edificio (Boca del Monte, Villa Canales), que se encuentra a más de 15 kilómetros del volcán de Pacaya, este peso fue de 25 kg/m^2 que es el equivalente a 1.47 centímetros de espesor de tefra húmeda.

Dado que este peso es menor a los 100 kg/m^2 establecidos para la carga viva de techo de este estudio de caso, su influencia no se evaluó en las combinaciones CR2 y CR3. Ver sección 2.6.3 de este documento.

2.6.1.6. Carga de lluvia

Acá se consideró el sobrepeso provocado por la acumulación de agua en el techo. Este peso fue de 10 kg/m^2 por cada centímetro de altura de esa acumulación. Para el caso de estudio, esa altura máxima se tomó como 2.5 centímetros, lo que equivale a 25 kg/m^2 .

Puesto que este peso también resultó ser menor a los 100 kg/m^2 establecidos para la carga viva de techo de este estudio de caso, su influencia no se evaluó en las combinaciones CR2 y CR3. Ver sección 2.6.3 de este documento.

2.6.2. Carga sísmica

En este apartado se tomó en cuenta la carga provocada por la aceleración del suelo producida durante un evento sísmico ordinario.

Para representar esta carga se consideró la aplicación del método estático equivalente, así como también el método dinámico modal espectral.

A continuación, se desarrollaron algunos pasos de ambas metodologías que facilitaron el ingreso posterior de datos al programa Etabs.

2.6.2.1. Determinación del espectro sísmico

Para el cálculo de la carga sísmica se determinaron los parámetros establecidos en el capítulo 3, Clasificación de Obras de la NSE 1 y el capítulo 4, Aspectos Sísmicos, de la NSE 2, partiendo de que el inmueble se ubicaba en el municipio de Villa Canales, Guatemala. Esos parámetros fueron:

- Clase de obra: ordinaria
- Índice de sismicidad I_o : 4.1; suelo firme tipo C
 - $S_{cr} = 1.72$
 - $S_{1r} = 0.68$
 - $T_L = 2.69$
- Nivel de protección: D
- Tipo de fuente sísmica: B
 - Falla cercana \geq a 10 km; $N_a = 1$
 - Falla cercana \geq a 15 km; $N_v = 1$
- Sismo básico; 10 % probabilidad de ser excedido en 50 años
 - $K_d = 2/3$
- Clase de sitio: D
 - $F_a = 1$
 - $F_v = 1$

A partir de los parámetros determinados, se calculó el espectro de sitio con los siguientes resultados:

$$S_{cs} = F_a * N_a * S_{cr} = 1.72 \text{ g} \quad (3)$$

$$S_{1s} = F_v * N_v * S_{1r} = 0.68 \text{ g} \quad (4)$$

$$T_s = S_{1s}/S_{cs} = 0.395 \text{ seg} \quad (5)$$

Puesto que se consideró que la obra era ordinaria, se utilizó el factor de escala K_d para calibrar el espectro al nivel de diseño requerido, por lo que las cargas sísmicas oscilantes quedaron reducidas a:

$$S_{cd} = K_d * S_{cs} = 1.1467 \text{ g} \quad (6)$$

$$S_{1d} = K_d * S_{1s} = 0.453 \text{ g} \quad (7)$$

La aceleración máxima es:

$$AMS_d = 0.40 * S_{cd} = 0.4587 \text{ g}, \quad (8)$$

La componente vertical del sismo es:

$$S_{vd} = 0.20 * S_{cd} = 0.229 \text{ g} \quad (9)$$

Las ordenadas espectrales de las componentes horizontales del sismo de diseño fueron:

$$S_a(T) = S_{cd} = 1.1467, \text{ para } T \leq T_s \quad (10)$$

$$S_a(T) = S_{1d}/T = 0.453/T, \text{ con } T > T_s \quad (11)$$

Para el caso de estudio, que consistió en un sistema estructural de muros de ductilidad limitada, el factor de reducción de respuesta sísmica R es de 4, por

lo que los datos para la construcción del espectro de respuesta genérico, para distintos valores de T , fueron:

Tabla 3.

Espectro de diseño

T (s)	S_a (T)	C_s
0	0.4587	0.1147
0.079	1.1467	0.2867
0.10	1.1467	0.2867
0.20	1.1467	0.2867
0.30	1.1467	0.2867
0.395	1.1467	0.2867
0.397	1.1419	0.2855
0.40	1.1333	0.2833
0.50	0.9067	0.2267
0.60	0.7556	0.1889
0.70	0.6476	0.1619
0.80	0.5667	0.1417
0.90	0.5037	0.1259
1.00	0.4533	0.1133
1.10	0.4121	0.1030
1.20	0.3778	0.0944
1.30	0.3487	0.0872
1.40	0.3238	0.0810
1.50	0.3022	0.0756
2.00	0.2267	0.0567
3.00	0.1355	0.0339
4.00	0.0762	0.0191

Nota. Datos para el espectro de diseño. Elaboración propia, realizado con Word.

Donde el valor del coeficiente sísmico al nivel de cedencia fue:

$$C_s = S_a(T)/R \quad (12)$$

Y para $S_a(T)$ se tuvo:

$$S_a(T) = S_{cd} (0.4 + 0.6 * T/T_o), \text{ cuando } T < T_o; \quad (13)$$

$$S_a(T) = S_{cd}, \text{ con } T_o \leq T \leq T_s; \quad (14)$$

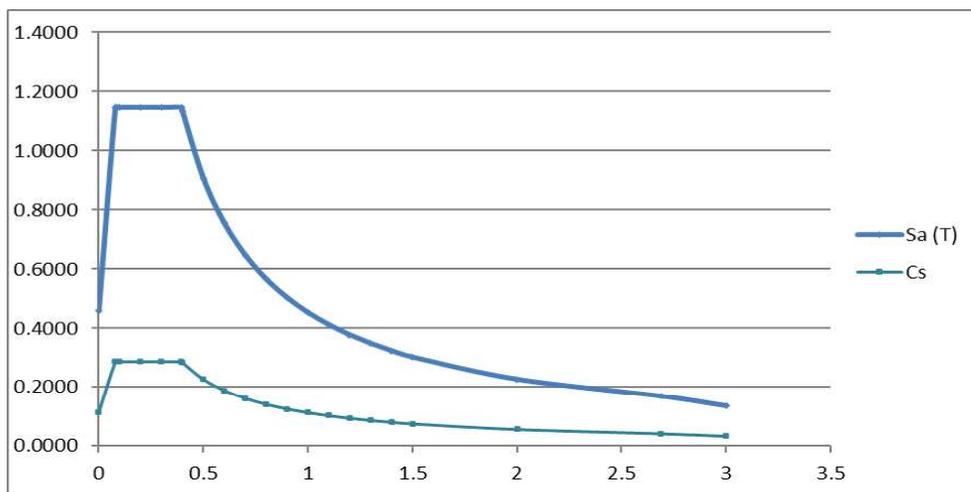
$$S_a(T) = S_{1d}/T \leq S_{cd}, \text{ con } T_s < T < T_L \quad (15)$$

$$S_a(T) = S_{1d}/T^2 * T_L, \text{ con } T \geq T_L \quad (16)$$

Y la gráfica correspondiente a esos datos fue:

Figura 15.

Espectro de respuesta de diseño



Nota. Gráfica del espectro de diseño. Elaboración propia, realizado con Excel.

2.6.2.2. Determinación del periodo natural de vibración

Con el fin de determinar la capacidad de disipación de energía de la estructura y su correcto análisis y diseño, se desarrolló la metodología indicada en el capítulo 2, *Carga Sísmica Estática Equivalente* y la indicada en el capítulo 3, *Análisis Modal Espectral*, ambas de la NSE 3-18, para posteriormente ser incluidos los parámetros resultantes en el estudio analítico.

Para la aplicación del método estático equivalente fue necesario determinar el período fundamental F_a , utilizando para ello tanto los métodos empíricos como semi empíricos, los que se desarrollaron así:

- Fórmula empírica:

$$T_a = K_T(h_n)^x, \quad (17)$$

donde para el modelo del caso de estudio, que correspondió a un sistema estructural E2-DB, se tuvieron los siguientes valores:

- $K_T = 0.049$
- $h_n = 16.30$ m, y
- $X = 0.75$

De donde se tuvo que $T_a = 0.049 \cdot (16.30)^{0.75} = 0.397$ segundos.

- Fórmula alterna opcional:

$$T_a = C_q * H_w^{0.85} / \sqrt{C_w}, \quad (18)$$

Esta fórmula resultó ser aplicable dado que se trató de un sistema E2-DB y la altura era menor a 36.6 m., requisitos que se establecen para su uso.

Donde:

$$C_q = 0.00058$$

H_w = altura de la estructura sobre la base sísmica

C_w en cada dirección es:

$$C_w = \frac{100}{N_A} \sum_{i=1}^x \frac{A}{\left[1 + 0.83 \left(\frac{h_i}{L_w}\right)^2\right]} \quad (19)$$

h_i = altura del muro n

L_w = longitud del muro n

A = área del alma del muro n

N_A = área de la planta de la estructura en m^2

De acuerdo con los cálculos realizados, en el sentido paralelo al eje X, $C_w = 0.1432$ y en el sentido paralelo a Y, $C_w = 0.3499$. Entonces;

- T_{ax} , en el sentido X fue 0.016 segundos
- T_{ay} , en el sentido Y fue 0.011 segundos

Ambos resultados fueron descartados para su uso en el cálculo del corte basal, pues como indica la norma, ambos T_a debían quedar comprendidos entre los resultados de la fórmula empírica calculada en el inciso a) y el calculado con $T_a = K_T(h_n)^x$ considerado para sistemas E1 de concreto reforzado con fachadas rígidas, para los que $K_T = 0.047$ y $x = 0.90$.

$$T_a = 0.047 * (16.30)^{0.90} = 0.580 \text{ segundos.}$$

Por lo que, tanto $T_{ax} = 0.016 \text{ seg.}$, como $T_{ay} = 0.011 \text{ seg.}$, son menores que T_a calculado en el inciso a) y también son menores a los calculados con la fórmula alterna opcional.

Por lo tanto, el corte basal V_B se determinó utilizando $T_a = 0.397 \text{ segundos.}$

2.6.2.3. Análisis sísmico estático equivalente

De acuerdo con espectro de respuesta calculado para el estudio de caso, para un periodo de 0.397 segundos, correspondió un C_s de 0.2855. El corte basal fue entonces:

$$V_B = C_s * W \text{ total} \quad (20)$$

$$V_B = 0.2855 * 3,366.40 = 965.15 \text{ toneladas.}$$

Su distribución a lo alto del edificio del estudio de caso se realizó con las fórmulas:

$$F_x = C_{xy} * V_B, \quad (21)$$

Donde:

F_x = cortante de cedencia en el nivel "x" del edificio, y

$$C_{xy} = W_x h_x^k / \sum (W_x h_x^k) \quad (22)$$

$k =$ factor según T_a , que para $T_a \leq 0.5$ segundos es igual a 1

Los resultados del cálculo de la distribución vertical de las fuerzas sísmicas fue el que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Distribución de fuerza vertical sísmica según NSE 3-18

Nivel	W_x (ton)	h_x (m)	$h_x * W^k$	F_x (ton)	$V_x \text{ est * nivel}$ (ton)
6	549.33	16.30	8954.08	268.13	268.13
5	554.11	13.65	7563.65	226.50	494.63
4	554.11	11.00	6095.25	182.52	677.16
3	554.11	8.35	4626.85	138.55	815.71
2	554.11	5.70	3158.45	94.58	910.29
1	600.62	3.05	1831.88	54.86	965.15
$W_x =$	3366.40	$\sum h_x * W^k =$	32230.14	965.15	

Nota. Fuerza vertical sísmica. Elaboración propia, realizado con Excel.

Es importante recordar que, al momento de realizar el estudio analítico de la estructura, también debió calcularse los períodos fundamentales de vibración de la estructura mediante el método Ritz y compararse contra los resultados obtenidos con los métodos calculados en a) y en b), de la sección 2.6.2.2., y así determinar el período a utilizar para obtener resultados eficaces.

2.6.2.4. Análisis modal dinámico y participación de masa

En el estudio analítico se aplicó el método de análisis modal espectral, incluyendo 9 modos de vibración (aunque se recomiendan 3 por nivel), de tal manera que se cumpliera con la inclusión de hasta el 90 % de la masa del modelo analítico participando en cada una de las direcciones de análisis bajo consideración.

2.6.2.5. Análisis sísmico y calibración de corte basal

Al igual que el inciso anterior, la norma no permite utilizar los resultados del corte basal del método estático equivalente para el diseño estructural, sin embargo, constituyen la base para la calibración del análisis dinámico y así obtener el cortante basal dinámico de diseño, que en este caso pueden llegar a ser entre el 85 % al 100 %, dependiendo de su irregularidad en planta.

2.6.3. Combinaciones de carga para el cálculo estructural

De acuerdo con la NSE 2, capítulo 8, el método seleccionado para este caso de estudio fue el método de diseño por resistencia, conocido también como método de diseño por factores de carga y resistencia o LRFD (*load and resistance factor design*) y consecuentemente se seleccionaron las combinaciones de carga a utilizar en el modelo para:

- Cargas Muertas = M ,
- Cargas Vivas = V ,
- Cargas Vivas de techo = V_t
- Carga sísmica horizontal = S_{hd} ,

- Carga sísmica vertical = S_{vd} ,
- Cargas de viento = W (no se consideró; ver sección 2.6.1.4)
- Cargas de tefra volcánica = A_R (no se consideró; ver sección 2.6.1.5), y
- Cargas de lluvia = P_L (no se consideró; ver sección 2.6.1.6)

2.6.3.1. Factores de carga

Las combinaciones y los factores de carga que se utilizaron en el modelo para las cargas gravitacionales fueron:

$$CR1 = 1.4 * M \quad (23)$$

$$CR2 = 1.2 * M + 1.6 * V + 0.5 * (V_t \text{ o bien } P_L \text{ o bien } A_R) \quad (24)$$

$$CR3 = 1.2 * M + V + 1.6 * (V_t \text{ o bien } P_L \text{ o bien } A_R) \quad (25)$$

Mientras que las combinaciones y los factores de carga para las cargas de sismo fueron:

$$CR4 = 1.2 * M + V + S_{vd} \pm S_{hd} \quad (26)$$

$$CR5 = 0.9 * M - S_{vd} \pm S_{hd} \quad (27)$$

$CR5a = M - S_{vd} \pm S_{hd}$; usado únicamente para el diseño de muros y cimientos(28)

2.6.3.2. Reductores de capacidad Φ

Tal como lo indica la norma, los esfuerzos resultantes de las combinaciones anteriores no debían exceder los esfuerzos a la cedencia

reducidos por un factor Φ determinado de acuerdo con el material y tipo de esfuerzos descritos en el capítulo 21 de la NSE 7.9; estos fueron:

- Elementos controlados por flexión y flexocompresión $\Phi = 0.90$
- Elementos en cortante $\Phi = 0.67$
- Elementos controlados por compresión $\Phi = 0.65$

2.6.4. Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismo-resistentes

La elección de los coeficientes y factores para el diseño sismorresistente depende del sistema estructural a utilizar. Para este caso de estudio, el sistema estructural correspondió a la tipología E2-DB, muros de concreto reforzado de ductilidad baja o de ductilidad limitada, como también se le conoce. De acuerdo con la tabla 1.6.14-1 de la NSE 3-18, esos coeficientes y factores son:

2.6.4.1. Factor de modificación de respuesta sísmica R

El factor R, que corresponde a la reducción del espectro sísmico elástico que representa la amenaza del sitio, tiene un valor de 4, lo cual corresponde a este sistema estructural según la NSE 3-18.

Vale la pena recordar que, debido a la poca ductilidad mostrada en los resultados de algunos ensayos experimentales en Colombia, en dicho país existe una propuesta para reducir este coeficiente a 3, además de proponer un diseño con $R = 1$ para aquellos muros con relaciones de aspecto A_r mayores a 9. Ver sección 2.7. La norma peruana también está incluyendo $R = 3$.

2.6.4.2. Factor de incremento de resistencia Ω_R

El coeficiente para este factor es 2.5, el cual se utilizó para incrementar la probabilidad de un elemento de desempeñarse elásticamente durante un sismo, es decir, revierte el efecto del factor R.

2.6.4.3. Factor de desplazamiento post elástico C_d

El coeficiente utilizado para este factor fue de 4. Este factor relaciona empíricamente el desplazamiento lateral elástico máximo con el desplazamiento post elástico último de la edificación.

2.7. Consideraciones tomadas de la investigación en Colombia

La investigación experimental y analítica en Colombia ha tenido resultados que vale la pena evaluar para el análisis y diseño de muros de ductilidad limitada, por lo que a continuación se mencionan los que se consideraron:

2.7.1. Densidad de muros

Dentro de las consideraciones derivadas de la experiencia investigativa para la densidad de muros, se sugiere que el área de muros en cada dirección no sea menor al valor empírico de 3 % del área total de la planta del edificio, lo que para el caso de estudio se verificó de la siguiente manera:

Área total de la planta del edificio $A_N = 574.86 \text{ m}^2$

Área mínima de muros en cada dirección = $0.03 * 574.86 = 17.25 \text{ m}^2$

Chequeo de área mínima contra área de muros A_v en cada dirección:

$$\Sigma A_v x = 16.93 \leq 17.25, \text{ densidad de muros inadecuada}$$

$$\Sigma A_v y = 24.22 \geq 17.25, \text{ densidad de muros adecuada}$$

Con esta configuración, se esperaba entonces lograr niveles aceptables de carga axial y facilitar el control de derivas del edificio para este caso de estudio, pues, aunque en el sentido X no se llegó al 3 %, la diferencia fue mínima.

2.7.2. Factor de modificación de respuesta sísmica R

Como también se indicó en el marco teórico, dentro de las recomendaciones de configuración estructural colombianas, se sugiere diseñar con $R=3$ los muros con relaciones A_r menores a 9, mientras que aquellos muros con relaciones mayores debieran diseñarse con $R=1$, pues se intuye que éstos no alcanzarán a salir del rango de comportamiento elástico.

En ese contexto, la configuración estructural del caso de estudio parece ser adecuada, pues tanto en el sentido X como en el sentido Y la mayor cantidad de muros, el área de corte que ellos constituyen y las relaciones A_r fueron menores a 9 (ver tablas 5 y 6) y, además, se podía esperar que el sistema de resistencia tuviera una buena capacidad de disipación de energía, pues predominaron los muros intermedios con $4 < A_r \leq 9$.

Consecuentemente con el primer párrafo de esta sección, 18 muros en el sentido X y 11 muros en el sentido Y , serían diseñados con $R = 1$.

Tabla 5.*Clasificación de muros según A_r en X*

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
18	esbelto $9 < A_r \leq 16$	3.34	0.20
41	intermedio $4 < A_r \leq 9$	12.24	0.72
0	corto $2 < A_r \leq 4$	0.00	0.00
1	muy corto $A_r \leq 2$	1.36	0.08

Nota. Clasificación de muros. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 6.*Clasificación de muros según A_r en Y*

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
11	esbelto $9 < A_r \leq 16$	2.23	0.09
35	intermedio $4 < A_r \leq 9$	13.09	0.54
9	corto $2 < A_r \leq 4$	8.90	0.37
0	muy corto $A_r \leq 2$	0.00	0.00

Nota. Clasificación de muros. Elaboración propia, realizado con Word.

En este caso de estudio, el cálculo y diseño estructural se realizó únicamente para un edificio de 6 niveles de altura, $R = 4$ y límite de deriva $\Delta = 0.01h_p$, como lo establece la NSE 7.9. No se consideró la interacción suelo-estructura, sin embargo, sí se mencionan algunas observaciones de su evaluación en la sección 3.6.2. lo cual, el diseñador deberá someter a su propio criterio.

Además, al final del capítulo 3, también se incluyen algunos resultados del análisis de las edificaciones con 4, 8, 10 y 12 niveles, tomando en cuenta $R=4$ y $R=3$, con y sin interacción suelo-estructura, lo cual brinda más información para las conclusiones del estudio.

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL SIN AISLACIÓN BASAL

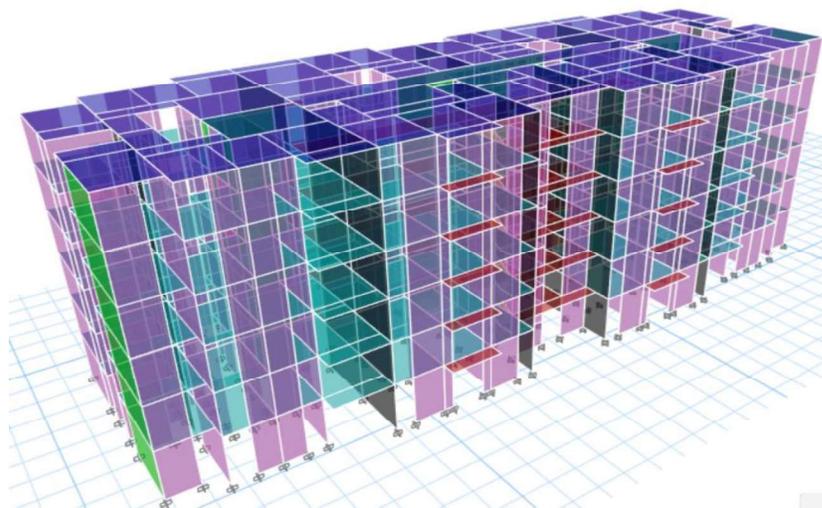
A continuación, se describen las condiciones adicionales desarrolladas en el capítulo 2, que se aplicaron al modelo analítico sin aislación basal para el análisis y diseño de sus elementos estructurales. Esto considerando una altura de 6 pisos, solo a manera de registrar el proceso que debe seguirse con el resto de los modelos y los distintos niveles considerados.

3.1. Características del modelo analítico

El programa utilizado para el modelo tridimensional del caso de estudio fue Etabs versión 2019, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 16.

Vista 3D del estudio de caso sin aislación basal



Nota. Vista 3D, 6 niveles sin aislación. Elaboración propia, realizado con Etabs.

3.1.1. Rigidez y resistencia de muros

Como punto de partida, todos los muros fueron modelados como placas de concreto del tipo Shell-Thin que reconoce el programa. La resistencia de los muros fue de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a 350 kg/cm^2 y el acero de refuerzo consistió en malla electrosoldada con $f_y = 4900 \text{ kg/cm}^2$ (70 KSI). El espesor inicial de los muros ya se ha indicado en la sección 2.5.2. Estas condiciones iniciales cambiaron de acuerdo con las demandas requeridas para cada muro, según el resultado del análisis y su diseño final.

En cumplimiento con la sección 1.11 de la NSE 3-18, se incluyeron factores de reducción de rigidez para modelar situaciones de sección agrietada y evitar así, subestimar las derivas y los desplazamientos. En concordancia con ACI-318-S19, este factor de reducción de rigidez fue $\Phi_k = 0.875$ y ya está aplicado a los momentos de inercia; es decir, el momento de inercia para secciones no agrietadas en los muros es $0.875(0.80I_g) = 0.70I_g$, mientras que para secciones agrietadas es $0.875(0.40I_g) = 0.35I_g$, por lo que todos los muros fueron afectados por este último valor.

3.1.2. Rigidez y resistencia de losas

Las losas fueron modeladas como slabs de concreto del tipo Shell-thin con un espesor de 15 centímetros, concreto con $f'c$ entre 210 y 350 kg/cm^2 y acero de refuerzo con $f_y = 4,900 \text{ kg/cm}^2$ para los bastones y para la malla electrosoldada. Al igual que los muros, estas condiciones iniciales se cambiaron de acuerdo con las demandas requeridas según el análisis y diseño que se realizó.

La inercia reducida de las losas es de $0.25I_g$, la que se aplicó para esfuerzos de flexión perpendicular al plano (pues esto pronostica mejor las deflexiones de las losas), mientras que, para su propio plano el factor utilizado fue de $0.70I_g$.

3.2. Desarrollo de la metodología para análisis sísmico

Una vez ingresado el modelo y las condiciones previas, se procedió a ratificar o modificar los resultados del análisis sísmico estático equivalente, pues esos datos fueron utilizados para la calibración del análisis dinámico modal espectral.

3.2.1. Análisis sísmico estático equivalente

Como se indicó en la sección 2.6.5.1. previo a calcular el análisis sísmico estático equivalente, se verificó si el valor del periodo fundamental T_F , obtenido por el método analítico de Ritz, para ambas direcciones (los que fueron obtenidos directamente del programa Etabs), modificaban o no el valor de C_s y el consecuente resultado del corte basal. Los T_F obtenidos fueron:

$$T_{Fx} = 0.115 \text{ segs, y } T_{Fy} = 0.087 \text{ segs}$$

Como pudo observarse, en ambos casos los T_F analíticos fueron mucho menores al T_a empírico (0.397 segs) y también fueron menores al periodo de transferencia $T_{(s)} = 0.395$ segs, por lo que a todos les correspondió un C_s igual a 0.2867.

Con esto se determinó que el análisis sísmico estático equivalente que se utilizó para la calibración del análisis modal, se mantuvo como el calculado en la tabla 5, de la sección 2.6.5.1.

3.2.2. Análisis modal espectral y calibración del corte basal

Para este caso de estudio en particular, resultó que la estructura ya contaba con más del 90 % de participación de la masa a partir del séptimo modo de vibración (95.30 en X y 90.35 % en Y). Además, se observó que tal como se indicó en el último párrafo de la sección 2.5.2., el primer modo de vibración de esta estructura se presentó en la dirección X.

Tabla 7.

Modos de vibración y participación de masa

Modo	Periodo Seg	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	0.115	0.7382	0.0001	0	0.7382	0.0001	0
2	0.083	0.0001	0.7191	0	0.7382	0.7191	0
3	0.081	0.0000	0.0029	0	0.7382	0.722	0
4	0.032	0.1544	0.0000	0	0.8926	0.722	0
5	0.029	0.0000	0.0011	0	0.8927	0.7231	0
6	0.022	0.0000	0.1804	0	0.8927	0.9035	0
7	0.016	0.0604	0.0000	0	0.9530	0.9035	0
8	0.011	0.0000	0.0720	0	0.9531	0.9755	0
9	0.009	0.0317	0.0000	0	0.9847	0.9756	0

Nota. Modos de vibración. Elaboración propia, realizado con Word.

3.2.3. Análisis sísmico – calibración de corte basal

Los resultados del programa Etabs para el análisis modal, mostraron que el resultado del corte dinámico en la dirección X y en la dirección Y estuvieron por debajo del corte estático calculado por el método estático equivalente.

Los factores de calibración en la base, para el análisis modal fueron 1.39 en el sentido X y 1.43 en el sentido Y. En la siguiente tabla, se observan los resultados por nivel.

Tabla 8.

Corte basal estático vrs corte basal de análisis modal

Nivel	V_x est * nivel (ton)	V_x modal * nivel (ton)	Rel V_x est/V_x modal	V_y modal * nivel (ton)	Rel V_y est/V_y modal
6	268.13	197.3135	1.36	198.3156	1.35
5	494.63	374.4741	1.32	374.5686	1.32
4	677.16	511.5921	1.32	507.0352	1.34
3	815.71	609.3811	1.34	599.2351	1.36
2	910.29	668.1678	1.36	654.7652	1.39
1	965.15	692.1763	1.39	676.8585	1.43

Nota. Calibración de corte basal. Elaboración propia, realizado con Word.

Puesto que la norma indica que la calibración puede hacerse al 85 % del corte basal estático, para los casos en los que la estructura no tiene irregularidades en planta, se verificaron los resultados para este caso de estudio.

En el sentido X las relaciones no superaron el factor 1.2, qué es el parámetro mínimo establecido para que se considere como una estructura con irregularidad torsional H1-A.

Tabla 9.*Chequeo de irregularidad en X*

Nivel	Deriva máxima	Deriva promedio	Relación
6	0.000065	0.000060	1.090
5	0.000075	0.000071	1.058
4	0.000082	0.000079	1.037
3	0.000082	0.000079	1.028
2	0.000072	0.000069	1.038
1	0.000049	0.000046	1.079

Nota. Irregularidades en planta. Elaboración propia, realizado con Word.

En el sentido Y la relación en el techo superó el factor 1.2, pero estuvo por debajo de 1.40, los cuales son los parámetros establecidos para que se considere como una estructura con irregularidad torsional H1-A.

Tabla 10.*Chequeo de irregularidad en Y*

Nivel	Deriva máxima	Deriva promedio	Relación
6	0.000043	0.000035	1.234
5	0.000044	0.000039	1.103
4	0.000045	0.000042	1.067
3	0.000044	0.000041	1.075
2	0.000037	0.000034	1.107
1	0.000027	0.000023	1.198

Nota. Irregularidades en planta. Elaboración propia, realizado con Word.

Con esto claro, se procedió a calibrar el espectro de respuesta dinámico en ambas direcciones al 100 % y, además, se aplicaron las excentricidades indicadas para los casos de amplificación torsional que solicita la NSE 3-18, que es del 10 %.

Los resultados obtenidos del análisis modal calibrado indicaron que la aplicación de los factores, lograron cortes para diseño calibrados al 100 % de los resultados del método estático. Ver tabla 11.

Tabla 11.*Resultados de corte dinámico calibrado por nivel*

Nivel	V_{x est * nivel} (ton)	V_{x modal * nivel} (ton)	Rel V_{x modal/V_{x est}}	V_{y modal * nivel} (ton)	Rel V_{y modal/V_{y est}}
6	268.13	275.30	1.03	282.21	1.05
5	494.63	522.23	1.06	531.99	1.07
4	677.16	713.31	1.05	720.45	1.06
3	815.71	849.57	1.04	852.00	1.04
2	910.29	931.57	1.02	930.66	1.02
1	965.15	965.15	1.00	965.14	1.00

Nota. Calibración de corte basal. Elaboración propia, realizado con Word.

3.3. Diseño de muros

Tal como se definió en la tabla 2. *Operacionalización de variables*, de la sección 2.4, el sistema E2-DB consiste en muros delgados en los que la ausencia de confinamiento en sus extremos limita su capacidad de disipar energía (en términos de su ductilidad), ante la aplicación de una fuerza basal sísmica. La metodología que se siguió para llevar los muros a una condición de diseño sin confinamiento fue la siguiente:

- Paso 1: se revisaron los resultados del programa Etabs para identificar los muros que requerían elementos de borde. Según ACI, estos elementos se requieren cuando la deriva crítica $1.5\delta/h_w$ sobrepasa o es igual al valor de $l_w/600c$ (c = mayor profundidad del eje neutro) o bien el esfuerzo máximo a compresión en la fibra extrema excede de $0.20f'_c$.

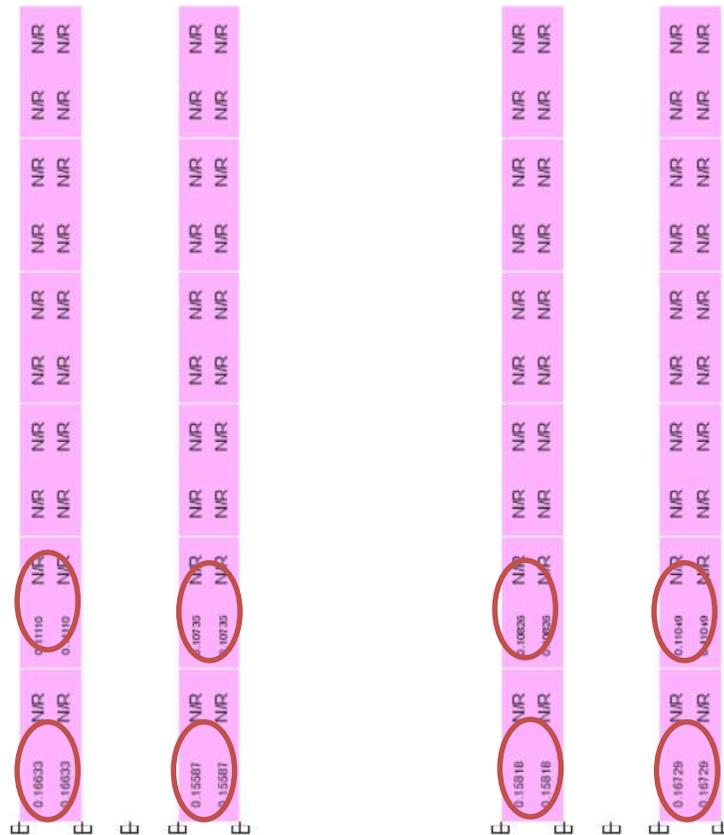
- Paso 2: los muros encontrados en el paso 1, debieron ser llevados a la condición de diseño *sin elementos de borde*, pues como ya se ha indicado, dada la esbeltez de estos, *confinar* no es posible. Esto se logró de la siguiente manera:
 - Incrementar la resistencia del concreto ($f'c$), que llegó hasta 350 kg/cm² (primer y segundo nivel ya contaban con esta resistencia). En los niveles superiores el $f'c$ no podía ser menor a 210 kg/cm²; estos son los límites de resistencia del concreto que establece la NSE 7.9 para muros de ductilidad limitada.
 - Incrementar progresivamente el espesor, empezando por los niveles inferiores, idealmente hasta un límite máximo de 16 centímetros (esto en concordancia con el comentario 11.2.5 b y c de la NSE 7.9, donde se indica que el confinamiento en muros de 15 cm., puede ser complicado y que, por lo tanto, hablar de 16 cm., puede ser más afortunado).
- Paso 3: verificar que los esfuerzos dejen de influir en el requerimiento de elementos de borde. Este proceso fue iterativo hasta lograr los resultados buscados. Cuando no se logró, se volvió al proceso descrito en el paso 2, y
- Paso 4: una vez logrado lo anterior, se procedió con el diseño estructural de los muros.

3.3.1. Paso 1: verificación del primer análisis de muros

La primera revisión de resultados de Etabs de los muros de la edificación indicó que muchos muros requerían de cierta longitud para los elementos de borde, tal como se muestra en la figura 17.

Figura 17.

Ancho de confinamiento sobre eje D, según Etabs



Nota. Longitud de elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Etabs.

En la tabla 12 se muestra el total de muros por eje y nivel de los muros que necesitan ese refuerzo.

Tabla 12.

Muros que requieren elementos de borde

Nivel	Muros por eje		Muros que requieren elementos de borde	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
6	60	55	0	0
5	60	55	0	0
4	60	55	0	0
3	60	55	17	11
2	60	55	58	38
1	60	55	60	55
Subtotal	360	330	135	104
Total	690		239	

Nota. Muros con elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

Según esos datos, 135 de los 360 muros en el sentido X (37.50 %) necesitan llevarse a la condición de no necesitar elementos de borde. Mientras que en el sentido Y, fueron 104 de los 330 muros (31.52 %), los que necesitaban ser ajustados.

Por lo tanto, en las condiciones iniciales, 239 muros, equivalentes al 34.64 %, necesitaban de elementos de borde debido a los altos esfuerzos de flexo compresión a la que estaban sometidos.

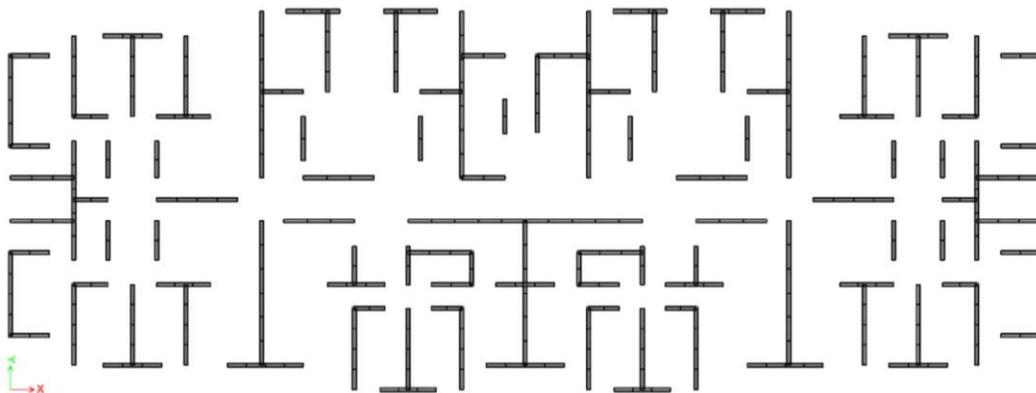
3.3.2. Pasos 2: ajuste de muros

Luego de varias modificaciones en el espesor de los muros y la resistencia del concreto para lograr las condiciones de refuerzo sin confinamiento (elementos de borde), acá se mencionan los cambios realizados.

Para el primer y segundo nivel se mantuvo la máxima resistencia del concreto permitida para muros de ductilidad limitada ($f'c=350 \text{ kg/cm}^2$), pero se incrementó el espesor de todos los muros hasta 18 centímetros. No fue posible diseñar con el espesor de 16 cm, que se había planteado. (ver figura 18).

Figura 18.

Muros planta 1 y 2

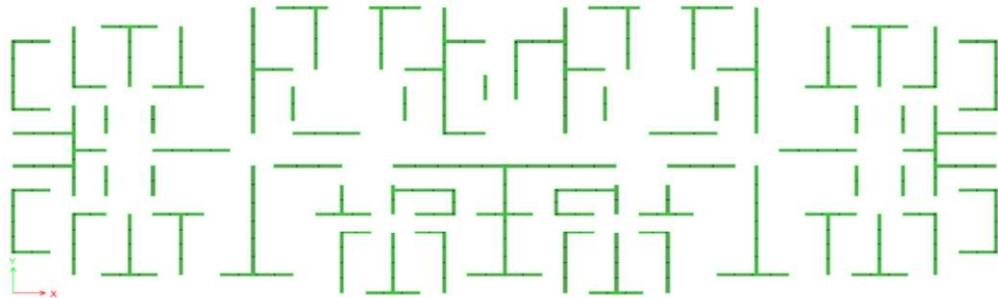


Nota. Muros de 18 cm de espesor. Elaboración propia, realizado con Etabs.

En el tercer y cuarto nivel se utilizaron muros de 16 cm, con concreto de 315 kg/cm^2 . Ver figura 19.

Figura 19.

Muros planta 3 y 4

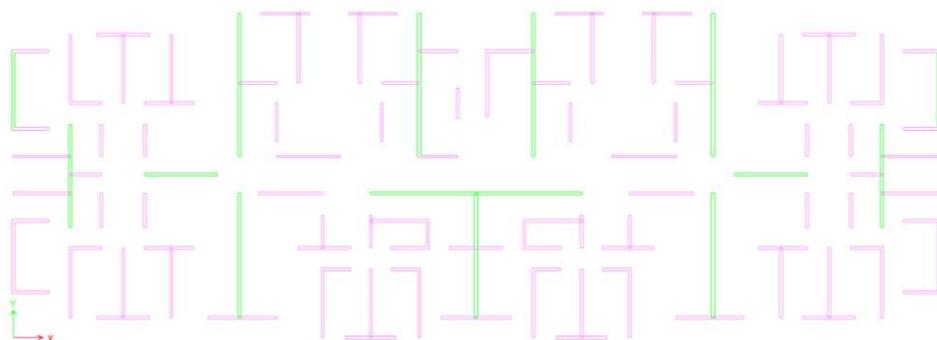


Nota. Muros de 16 cm de espesor. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Finalmente, en el quinto y sexto nivel se mantuvieron muros de 12 centímetros (en corinto) y 14 centímetros (en verde), todos con concreto con $f'c$ de 280 kg/cm². Ver figura 20.

Figura 20.

Muros planta 5 y 6



Nota. Muros de 12 y 14 cm de espesor. Elaboración propia, realizado con Etabs.

3.3.3. Paso 4: verificación de esfuerzos

Una vez realizados los cambios anteriores, se verificó la cantidad de muros que requerían de elementos de borde, así como aquellos que lograron ser llevados a una condición en la que los esfuerzos actuantes dejaron de requerir este refuerzo.

A pesar de los cambios, aún se detectaron 28 muros que necesitaban de elementos de borde en el primer nivel y 1 en el segundo nivel (29 de 690 muros, 4.20 %), lo que en ese espesor de 18 cm., ya es posible realizar.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 13.

Muros que requieren elementos de borde (modificado)

Nivel	Muros por eje		Muros que requieren confinamiento	
	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
6	60	55	0	0
5	60	55	0	0
4	60	55	0	0
3	60	55	0	0
2	60	55	1	0
1	60	55	28	0
Subtotal	360	330	29	0
Total	690		29	

Nota. Muros con elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

3.3.3.1. Recalibración del modelo estático vrs el modelo dinámico

Obviamente, el cambio en las dimensiones de los muros produjo un nuevo cálculo para el modelo estático y consecuentemente, se debió hacer una nueva calibración del modelo dinámico. Vale la pena mencionar que estos cambios, sobre todo el incremento en el espesor de los muros, lograron que la nueva configuración cumpliera el requerimiento de área mínima del 3 % en ambos ejes (ver apéndices 7 al 10).

Con la nueva configuración, resultó que la estructura ya contaba con más del 90 % de participación de la masa a partir del octavo modo de vibración (93.10 % en X y 96.76 % en Y). Ver tabla 14. Además, el periodo analítico de la estructura se alargó a 0.293 segs en X y a 0.207 segs en Y.

Tabla 14.

Modos de vibración y participación de masa

Modo	Periodo			SumUX	SumUY	SumUZ
	(s)	UX	UY			
1	0.293	0.6900	0.0001	0	0.6900	0.0001
2	0.207	0.0001	0.6725	0	0.6901	0.6726
3	0.203	0.0000	0.0110	0	0.6901	0.6835
4	0.082	0.0851	0.0004	0	0.7753	0.6839
5	0.082	0.0866	0.0003	0	0.8619	0.6842
6	0.057	0.0000	0.1915	0	0.8619	0.8757
7	0.041	0.0688	0.0000	0	0.9307	0.8757
8	0.027	0.0003	0.0919	0	0.9310	0.9676
9	0.024	0.0467	0.0005	0	0.9777	0.9681

Nota. Modos de vibración. Elaboración propia, realizado con Word.

Se encontró que el factor de calibración del espectro en X se amplió de 1.39 a 1.78 y, en el sentido Y de 1.43 a 1.81. En la siguiente tabla se muestra el nuevo corte calibrado.

Tabla 15.

Recalibración modelo estático vrs modelo dinámico

Nivel	V_x est *	V_x modal *	Rel V_x est/ V_x	V_y modal *	Rel V_y est/ V_y
	nivel	nivel	modal	nivel	modal
	(ton)	(ton)		(ton)	
6	290.40	321.39	0.90	319.27	0.91
5	535.58	581.02	0.92	586.12	0.91
4	759.31	794.22	0.96	801.54	0.95
3	929.15	953.28	0.97	958.09	0.97
2	1042.10	1060.58	0.98	1063.94	0.98
1	1108.28	1108.28	1.00	1108.28	1.00

Nota. Calibración de corte basal. Elaboración propia, realizado con Word.

3.3.3.2. Revisión de desplazamientos laterales unitarios máximos

Tal como lo indica la NSE 7.9, se realizó el chequeo de desplazamientos en ambas direcciones y como era de esperarse en esta tipología, los resultados cumplen con el límite de $\Delta_p = 0.010h_p$ de forma contundente, pues éstos fueron mínimos. Ver tablas 16 y 17.

Tabla 16.*Desplazamientos en X*

Nivel	h_x (m)	$\Delta_p = 0.010h_p$ (cm)	δ_{total} (cm)	δ_{nivel} (cm)	δC_d (cm)	Chequeo
6	2.65	2.65	1.5960	0.26	1.0296	ok
5	2.65	2.65	1.3386	0.30	1.1880	ok
4	2.65	2.65	1.0416	0.32	1.2696	ok
3	2.65	2.65	0.7242	0.31	1.2424	ok
2	2.65	2.65	0.4136	0.25	0.9932	ok
1	3.05	3.05	0.1653	0.17	0.6612	ok

Nota. Desplazamientos. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 17.*Desplazamientos en Y*

Nivel	h_x (m)	$\Delta_p = 0.010h_p$ (cm)	δ_{total} (cm)	δ_{nivel} (cm)	δC_d (cm)	Chequeo
6	2.65	2.65	0.8369	0.15	0.6016	ok
5	2.65	2.65	0.6865	0.16	0.6520	ok
4	2.65	2.65	0.5235	0.16	0.6532	ok
3	2.65	2.65	0.3602	0.15	0.6104	ok
2	2.65	2.65	0.2076	0.12	0.4824	ok
1	3.05	3.05	0.0870	0.09	0.3480	ok

Nota. Desplazamientos. Elaboración propia, realizado con Word.

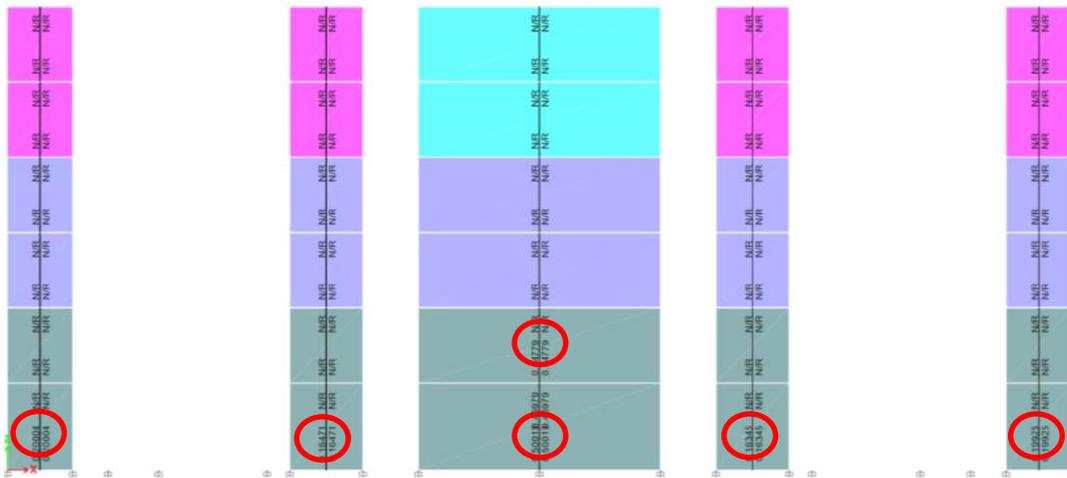
3.3.4. Paso 5: Diseño estructural de muros

Para el diseño de los muros se utilizaron las herramientas que brinda Etabs 2019, de la siguiente forma:

Se corroboró que efectivamente los muros no requirieron de elementos de borde, tal como se muestra en la figura 21, generada para el eje G. Esto también permitió identificar aquellos muros que debían ser diseñados como muros especiales. Esto se realizó en todos los ejes.

Figura 21.

Requerimiento elementos de borde sobre eje G



Nota. Elementos de borde sobre eje G. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Al generar la hoja de detalle del muro G16, del primer nivel (ver tabla 18), se pudo observar en la columna *longitud de borde* que el muro necesitaba de elementos de borde, ya que los esfuerzos de compresión actuantes estaban por

encima del esfuerzo de compresión límite para no requerirlos. Esto se verificó para todos los muros.

Tabla 18.

Chequeo de elementos de borde

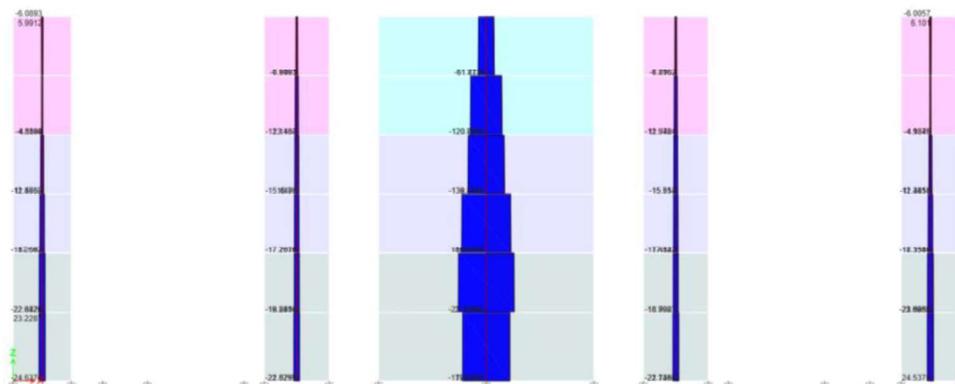
Ubicación	ID	Longitud de borde (m)	Combo dominante	P _u tonf	M _u tonf-m	Esfuerzo de compresión tonf/m ²	Esfuerzo límite tonf/m ²	Profundidad C M	Límite C m
sup-izq	Leg 1	0.47035	CR4 SPX+	200.9885	-1317.5383	592.85	703.07	0.94069	2.13333
sup-der	Leg 1	0.47035	CR4 SPX+	200.9885	1325.9787	595.91	703.07	0.94069	2.13333
inf-izq	Leg 1	0.50099	CR4 SPX+	227.4441	-1864.8212	806.11	703.07	1.00199	2.13333
inf-der	Leg 1	0.50099	CR4 SPX+	227.4441	1872.0377	808.72	703.07	1.00199	2.13333

Nota. Chequeo elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

En la siguiente figura se puede observar uno de los diagramas de la envolvente de corte (generado para muros del eje G) que permitió visualizar Etabs.

Figura 22.

Diagrama de envolvente de cortes en X sobre eje G



Nota. Envolvente de momentos. Elaboración propia, realizado con Etbas.

Al observar el detalle para diseño por corte del muro G16, del primer piso, fue posible verificar que el muro requería un refuerzo de 4.5 cm²/m. (Ver tabla 19).

Tabla 19.

Diseño por corte

Ubicación	ID	Área requerida cm ² /m	Combo predominante en corte	P _u Tonf	M _u tonf-m	V _u Tonf	ΦV _c tonf	ΦV _n tonf
Superior	Leg 1	4.5	CR4 SPX-	121.6931	1325.9787	181.8122	154.6321	291.3088
Inferior	Leg 1	4.5	CR4 SPX-	134.9139	1872.0377	182.3051	154.6321	291.3088

Nota. Diseño por corte. Elaboración propia, realizado con Word.

Al respecto, la NSE 7.9-18, requiere que la separación máxima del acero no sea mayor a 15 cm. (sección 11.6.4 (b)). Por lo que, con la electromalla 6*6 2/2, se cumplió con el espaciamiento máximo y también con el área requerida, pues su área por metro cuadrado es de 2.28 cm²/m (4.56 cm²/m entre las dos camas). De hecho, para los 6 niveles de la edificación, fue el acero por corte lo que definió el tipo de electromalla a utilizar.

Para los niveles 3 y 4, el área de refuerzo por corte requerido fue de 4.00 cm², seleccionándose la electromalla 6*6 3/3, y para los niveles 5 y 6, el área requerida fue de 3.5 cm², por lo que se utilizó la electromalla 6*6 4/4. El área provista por estas electromallas, también cubrió el área de acero mínimo de refuerzo horizontal de 0.002.

Como se indicó en el último párrafo de la sección 2.5.1.1., el cálculo previo indicaba que el muro G.16 podría llevarse más del 20 % del corte basal en la dirección X (ver tabla 3 del apéndice 3), lo cual ha sido comprobado en esta parte.

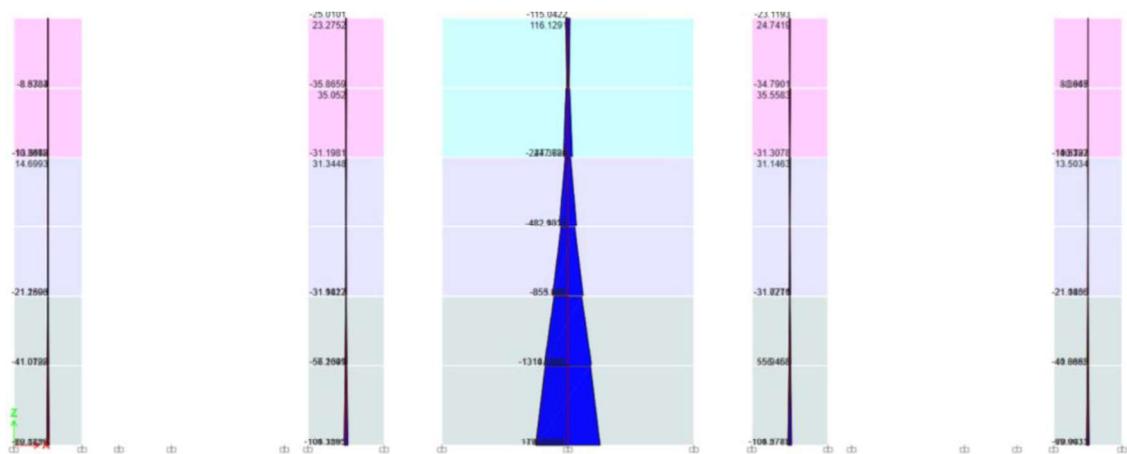
De acuerdo con los resultados obtenidos en Etabs, este muro está soportando el 17.01 % del corte basal, lo cual está por debajo del 20 % que la norma permite (ver apéndice 11).

En el sentido Y, los cortes resultaron más dispersos, siendo el más alto el del muro 17B con el 6.58 % (ver apéndice 12).

En la siguiente figura es posible apreciar la curva de momentos para la combinación CR4 SDX+, generada para los muros del eje G., los cuales ya fueron manejables para un diseño con elementos de borde de 50 cm., para el primer piso.

Figura 23.

Envolvente de momentos máximos en X del eje G



Nota. Envolvente de momentos. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Al generar el detalle del muro G16 del primer nivel (ver tabla 20), el muro requería un área de acero longitudinal de 87.71 cm² en la parte inferior.

Tabla 20.

Diseño por flexión biaxial para P_u , M_{u2} and M_{u3}

Ubicación	Área requerida (cm ²)	ρ requerido	Combo dominante en flexión	P_u Tonf	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m	Pilar A_g m ²
Superior	67.36	0.0039	CR5a SPX+	35.9414	-0.2115	1323.5204	1.728
Inferior	87.71	0.0051	CR5a SPX+	40.15	0.7101	1870.0027	1.728

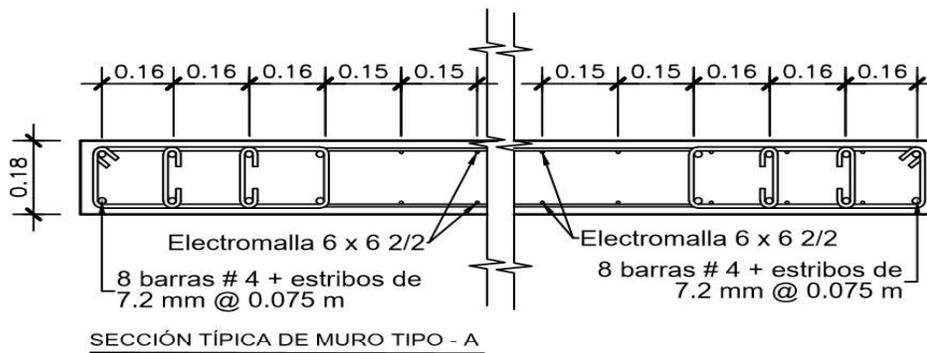
Nota. Diseño por flexión biaxial. Elaboración propia, realizado con Word.

La electromalla propuesta para los niveles 1 y 2 (6*6 2/2), ya cubre con el área requerida para el refuerzo vertical (95.93 cm²).

Puesto que el muro G16, requirió de elementos de borde con una longitud de 0.50 m, se propuso utilizar 8 barras # 4 distribuidas en dos camas, a una separación de 0.16 m, tal como se detalla en la figura 24. Estos elementos de borde se colocarán en ambos extremos del muro.

Figura 24.

Detalle elementos de borde muro G16



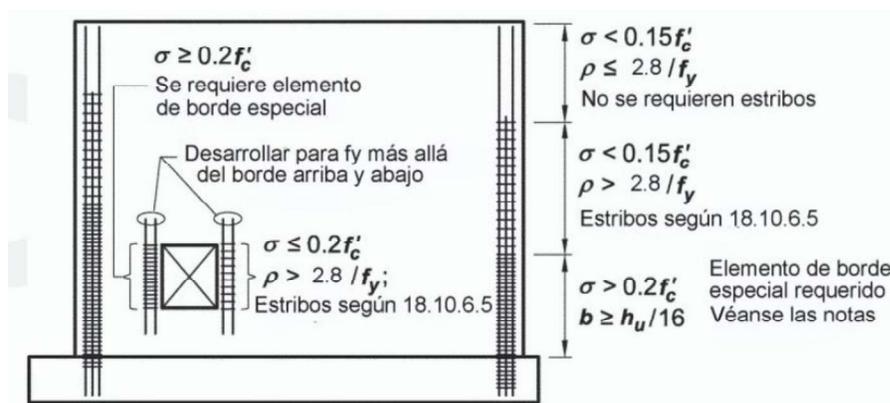
Nota. Corte transversal muro G16. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Para determinar el acero de refuerzo transversal, la sección 18.10.6.4 del ACI (ver figura 25) indica que el esfuerzo transversal debe distribuirse en la altura del muro de la siguiente manera:

- Donde los esfuerzos son menores a $0.15 \cdot f'_c$, el refuerzo transversal puede obviarse.
- En la zona crítica, determinada por el valor más alto entre l_w y $0.25 \cdot M_u/V_u$, la separación no puede ser mayor a 0.15 m o 6 diámetros de la barra de refuerzo principal a flexión (7.62 cm., considerando las barras # 4).
- En la zona intermedia, esfuerzos menores a $0.20 \cdot f'_c$, pero mayores a $0.15 \cdot f'_c$, la separación no puede ser mayor a 0.20 m o 8 diámetros de la barra de refuerzo principal a flexión (10.16 cm., para barras # 4).

Figura 25.

Distribución de refuerzo horizontal



Nota. Distribución de refuerzo horizontal. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Para el caso del muro G16, la zona crítica se extiende hasta el segundo nivel inclusive, por lo que en todo el primer y segundo nivel esa separación fue el equivalente a los 6 diámetros del refuerzo principal, que fue de 7.5 cm.

Para uniformizar el refuerzo transversal, en el resto de los muros que requieren elementos de borde, la separación de los estribos también fue de 7.5 cm., pues casi el total de la altura de los muros se encontró dentro de la zona crítica.

El resto de los muros (sin elementos de borde), contará con dos barras # 3 y estribos de 7.2 mm @ 0.15 m, cuya función únicamente será la de servir de soporte de las electromallas para su armado.

Vale la pena señalar que, la propuesta de este refuerzo se utilizó para revisar la capacidad de ductilidad del muro con la metodología equivalente propuesta en la NSE 7.9 (basada en los estudios de Priestley), para que, con la carga y características del muro, pudiera verificarse si contaban con la capacidad de desplazamiento δ máxima, que resultó en cada dirección del análisis dinámico. (Ver apéndices 13 al 16).

En la siguiente tabla se resumen las características de los muros para la edificación.

3.3.5. Nomenclatura de muros

En la tabla 21, se detalla la tipología estructural de los muros que se utilizaron para el caso sin aislación basal.

Tabla 21.*Tipología de muros diseñados*

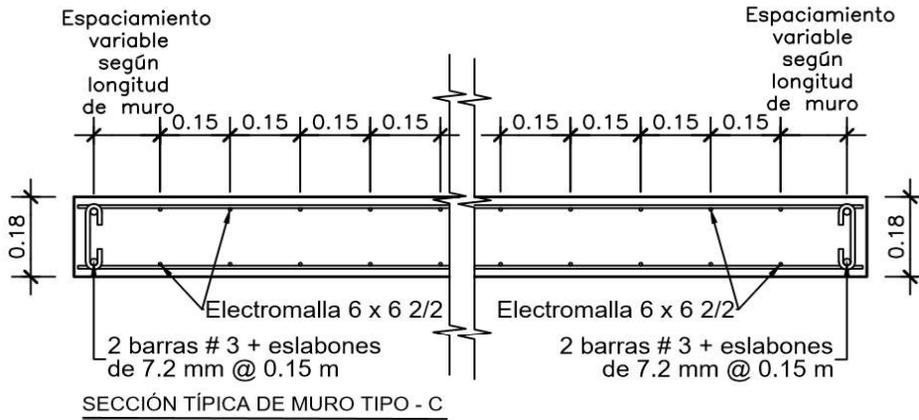
Tipo	Espesor (m)	Refuerzo	Resistencia del concreto f'c (kg/cm²)	Nivel
A	0.18	8 barras # 4 con estribos y eslabones de 7.2 mm @ 0.075 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 2/2	350	1 y 2
B	0.18	4 barras # 4 con estribos de 7.2 mm @ 0.075 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 2/2	350	1 y 2
C	0.18	2 barras # 3 con eslabones de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 2/2	350	1 y 2
D	0.16	2 barras # 3 con eslabones de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 3/3	315	3 y 4
E	0.14	2 barras # 3 con eslabones de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 4/4	280	5 y 6
F	0.12	2 barras # 3 con eslabones de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 4.5/4.5	280	5 y 6

Nota. Refuerzo para muros. Elaboración propia, realizado con Word.

En la figura 26 se incluyó el corte típico transversal del diseño estructural propuesto para los muros que se utilizaron para el caso sin aislación basal, del primer y segundo nivel.

Figura 26.

Corte transversal típico de muros sin elementos de borde



Nota. Corte transversal, muro E2-B2. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

En el apéndice 271 se incluyeron los planos estructurales de los muros.

3.4. Diseño de losas

Para el diseño estructural de las losas se utilizaron los resultados del cálculo por elementos finitos del programa Etabs. Se tomó en cuenta cumplir con el área de acero electrosoldada mínima establecida por ACI, como sigue:

$$0.0018 * 420 * A_g/f_y \quad (30)$$

$$0.0014 * A_g \quad (31)$$

Para este caso se tuvo que:

$$0.0018 * 420 * 150 * 1000 / 480 = 236.25 \text{ mm}^2/\text{m} \text{ o } 2.36 \text{ cm}^2/\text{m}, \text{ y}$$

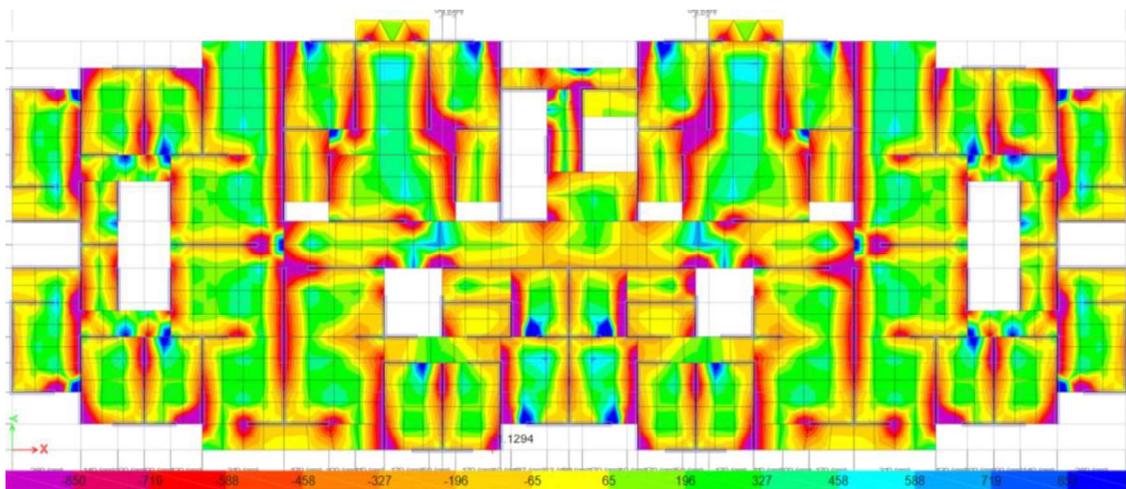
$$0.0014 \cdot 150 \cdot 1000 = 210 \text{ mm}^2/\text{m} \text{ o } 2.10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Por lo que el acero mínimo no debía ser menor a $2.36 \text{ cm}^2/\text{m}$ en cada cama. Para cubrir esta área mínima se utilizó electromalla 6*6 con barras de 7.2 mm, lo cual aporta 2.67 cm^2 .

Se calculó el momento que soporta esta área mínima, siendo esta capacidad de 0.85 ton-cm/cm . Se colocó en Etabs este parámetro como límite, para detectar las áreas que soporte el acero mínimo y encontrar aquellas en las que este acero no es suficiente (colores azul y corinto), el resultado se muestra en las figuras 27 y 28.

Figura 27.

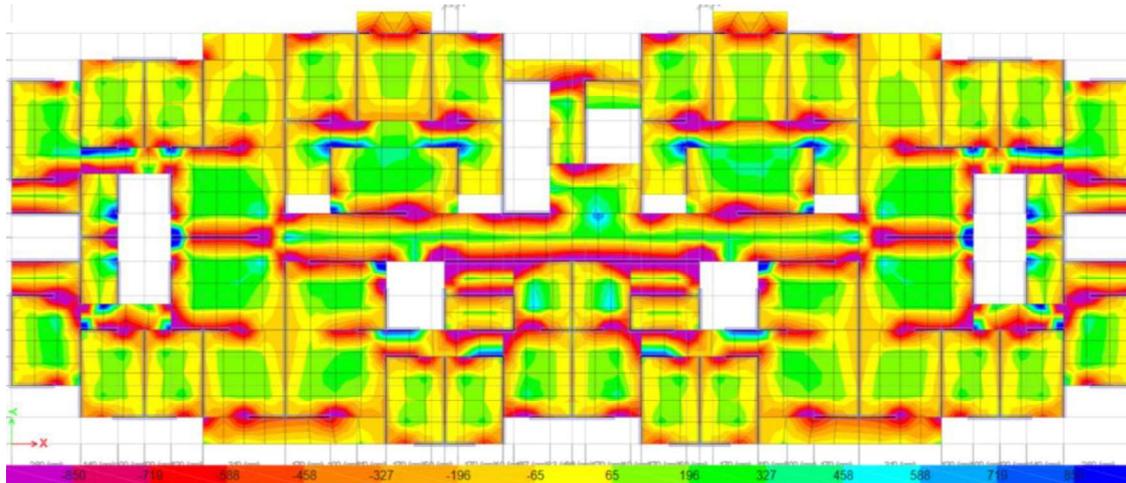
Áreas críticas para momentos X – X



Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero mínimo. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 28.

Áreas críticas para momentos Y-Y

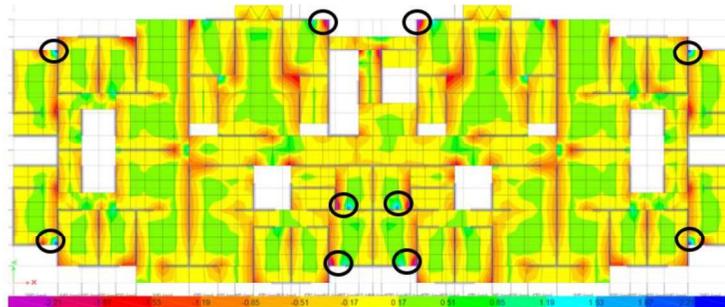


Nota. Determinación de áreas críticas para momentos Y-Y fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero mínimo. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Para las áreas en las que el acero mínimo aún no fue suficiente, se colocó refuerzo adicional (bastones), siendo este de barras de 9.5 mm @ 0.15, con un aporte por metro de 4.65 cm² (total en estas áreas 7.32 cm²). El momento que soporta esta nueva área se calculó en 2.205 ton-cm/cm, por lo que nuevamente se fijaron estos nuevos límites en Etabs, para determinar las áreas en las que este refuerzo aún no era suficiente para soportar los momentos de reversión. Los resultados se muestran en las figuras 29 y 30.

Figura 29.

Áreas críticas para momentos X – X



Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero mínimo y bastones de 9.5 mm @ 0.15 m. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 30.

Áreas críticas para momentos Y-Y



Nota. Determinación de áreas críticas para momentos Y-Y fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero mínimo y bastones de 9.5 mm @ 0.15 m. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Por segunda vez, se adicionó 4.65 cm² de acero de refuerzo (bastones) en las áreas detectadas. El momento soportado con estas áreas de refuerzo (11.97 cm²) fue de 3.38 ton-cm/cm. Nuevamente se colocó el límite en Etabs para

verificar si este refuerzo era suficiente para soportar la reversión de momentos, siendo el resultado el mostrado en las figuras 31 y 32.

Figura 31.

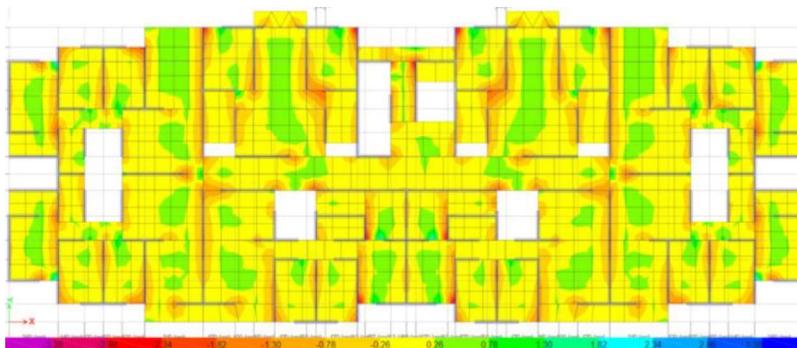
Áreas críticas para momentos X-X



Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero mínimo y bastones de 9.5 mm y bastones de 9.5 mm @ 0.075 m. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 32.

Áreas críticas para momentos Y-Y



Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero mínimo y bastones de 9.5 mm y bastones de 9.5 mm @ 0.075 m. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

En el sentido Y, el armado fue suficiente para soportar la reversión de momentos, sin embargo, en el sentido X, aún requería de más acero de refuerzo. Puesto que el resultado del momento de reversión en esa zona se concentró en un punto específico, se aplicó el método de diseño de franjas transversales para verificar si con la contribución del refuerzo en la zona aledaña, hacía posible mantener el refuerzo en 11.97 cm^2 , encontrándose que sí era posible, por lo que se detuvo el proceso de incremento de acero de refuerzo.

El refuerzo determinado para cada losa fue el siguiente:

Tabla 22.

Determinación de refuerzo de losas por nivel

Nivel	As max requerido (Momentos negativos)	As min en cada cama según ACI	Tipo de electromalla propuesta	As provisto por electromalla	Refuerzo adicional	As total/cama cm ²
6	9.66	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @0.075	11.97
5	11.70	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @0.075	11.97
4	11.97	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @0.075	11.97
3	11.97	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @0.075	11.97
2	11.46	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @0.075	11.97
1	7.68	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 7.2 mm @0.075	8.01

Nota. Refuerzo para losas. Elaboración propia, realizado con Word.

Por lo tanto, la tipología de refuerzo en losas se homogeneizó como sigue:

Tabla 23.

Tipología de losas utilizada

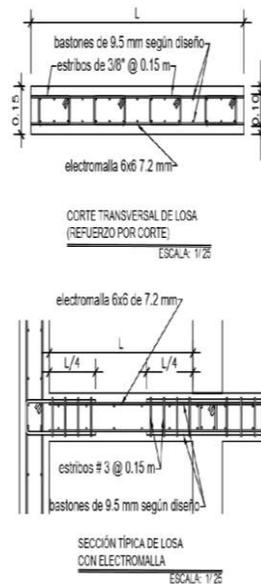
Losas	f'c (PSI)	Refuerzo
5 y 6	4000	Electromalla 6*6 7.2 mm + bastones de 9.5 mm @ 0.075 m
3 y 4	4500	Electromalla 6*6 7.2 mm + bastones de 9.5 mm @ 0.075 m
1 y 2	5000	Electromalla 6*6 7.2 mm + bastones de 9.5 mm @ 0.075 m

Nota. Refuerzo para losas. Elaboración propia, realizado con Word.

Debido a la reversión de momentos en los extremos de las losas, los bastones se aplicaron en ambas camas en los puntos indicados en las plantas estructurales, como se muestra en la figura 33.

Figura 33.

Detalle estructural de losas



Nota. Detalle estructural de refuerzo por corte en losas. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Ver mayores detalles de losas en apéndice 27.

3.5. Diseño de cimientos

Se consideró colocar en la base de los muros anclajes con barras # 3, las que necesitan una longitud de desarrollo adecuada para garantizar su desempeño de tracción dentro de la distancia embebida en el concreto. Para ello, la sección 25.4 del ACI establece su cálculo como sigue:

$$a) l_d = \left(\frac{0.075 f_y \psi_r}{\lambda \sqrt{f'c}} \right) d_b \quad (32)$$

$$b) l_d = 0.0044 f_y \psi_r d_b \quad (33)$$

Donde:

f_y = esfuerzo a la fluencia del acero = 4200 kg/cm²

ψ_r = refuerzo de confinamiento = 1

λ = factor por peso del concreto = 1 (para concreto de peso normal)

$f'c$ = resistencia del concreto a la compresión = 350 kg/cm²

d_b = diámetro de la barra a utilizar

entonces:

$$a) l_d = 0.075 * 4200 * 1 / (1 * \sqrt{350}) * 0.95 = 16 \text{ cm}$$

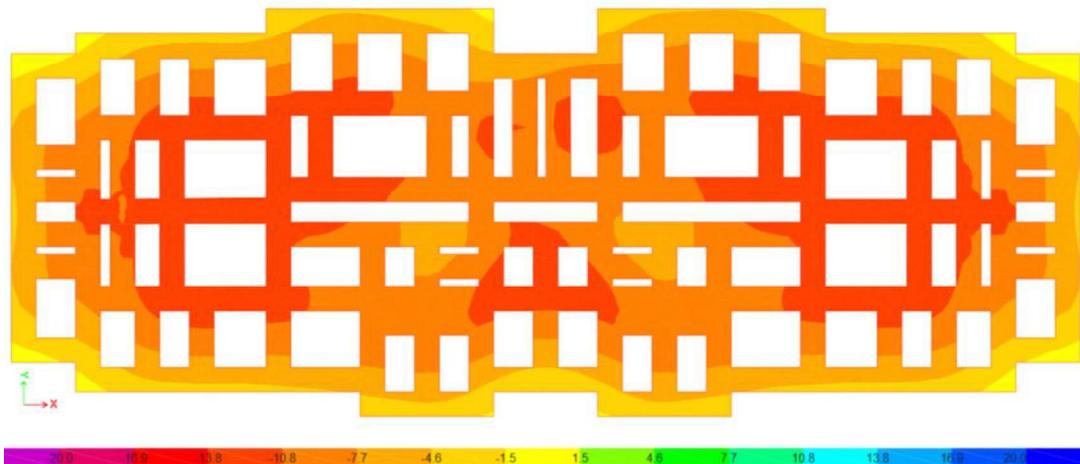
$$b) l_d = 0.0044 * 4900 * 1 * 0.95 = 20.48 \text{ cm}$$

Sin embargo, también ACI 318-19 indica que esta longitud debe ser la mayor entre $1.3 \cdot l_d$ y 30 cm., siendo ésta última la que predomina por sobre las calculadas en a) y b). Además, debe incrementarse en $1.25 \cdot f_y$, por lo que esa l_d se incrementó a 37.50 cm. Además, se consideró un recubrimiento de 6 cm., por lo que el espesor final fue de $37.50 + 12 = 49.50$ cm, aproximándose a 50 cm.

El valor soporte del suelo se fijó en 20 ton/m^2 y el ancho de la cimentación se estableció en un metro de ancho. Las presiones en el suelo estuvieron entre 1.23 ton/m^2 y -12.83 ton/m^2 (ver figura 34), para lo cual se atendieron las combinaciones de carga indicadas en el capítulo 9 de la NSE 2 *lineamientos para diseño de cimientos*.

Figura 34.

Presiones resultantes sobre el suelo

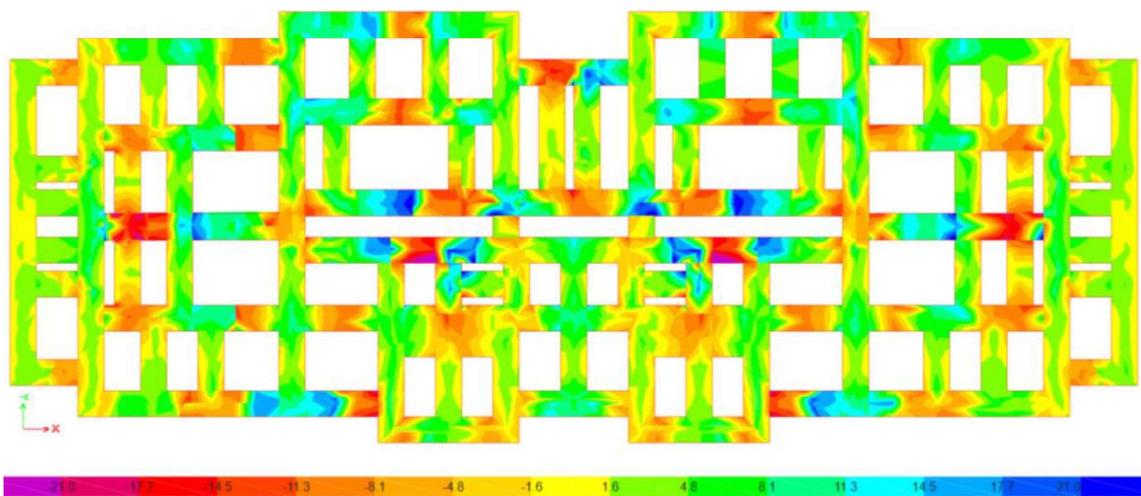


Nota. Presiones actuantes sobre el suelo. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Para determinar el acero de refuerzo, se partió con el acero mínimo, calculado como el 0.002 del área de la sección, resultando en 10 cm². Se propuso entonces un armado de 6 barras # 5 (11.88 cm²), para lo que se estimó una resistencia de 20.65 ton-m. Se colocaron estos límites en el programa Etabs, para encontrar aquellas áreas en las que se requiere mayor refuerzo (Ver figuras 35 y 36).

Figura 35.

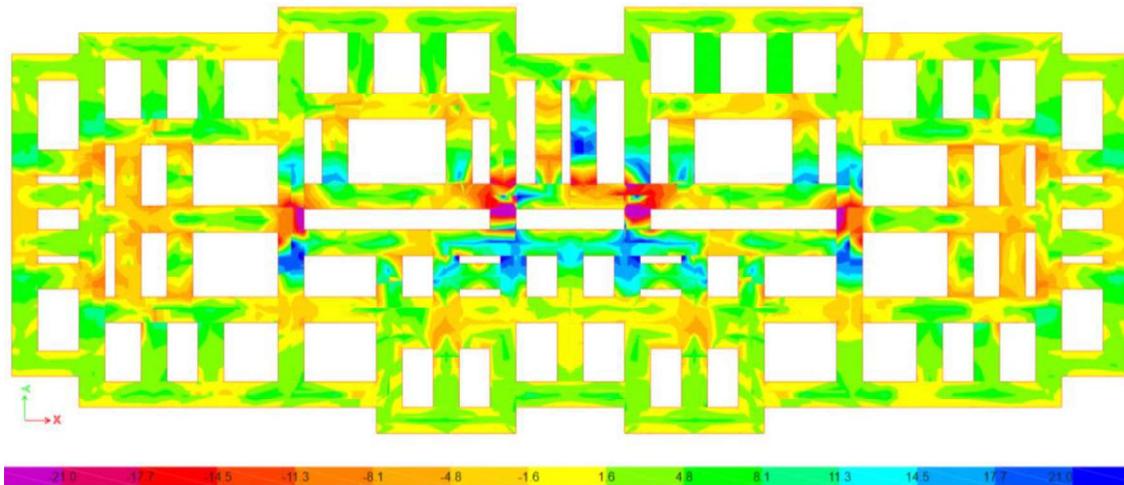
Áreas críticas para momentos X-X



Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero propuesto. Elaboración propia, realizado con Etbas.

Figura 36.

Áreas críticas para momentos Y-Y

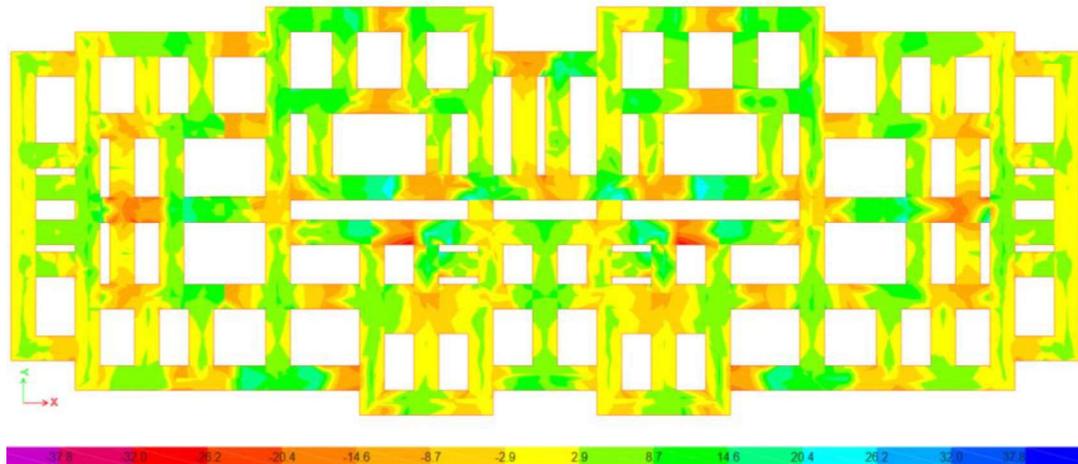


Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con refuerzo de acero propuesto. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Como segundo paso, se incrementó al acero de refuerzo en las áreas antes mencionadas a 11 barras # 5 (21.78 cm²), con lo que se tienen una capacidad para soportar un momento de 37.84 ton-m. Los resultados se muestran en las figuras 37 y 38.

Figura 37.

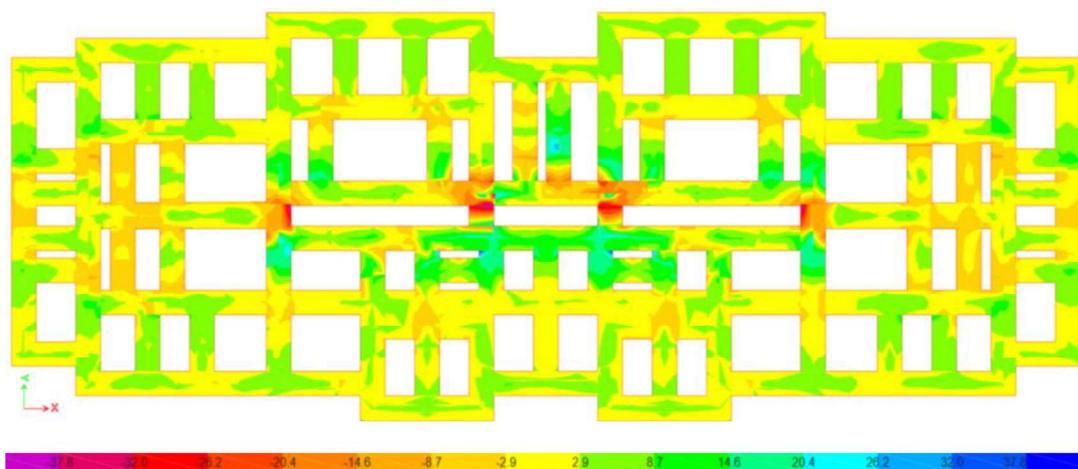
Áreas críticas para momentos X-X



Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con las 11 barras propuestas. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Figura 38.

Áreas críticas para momentos Y-Y



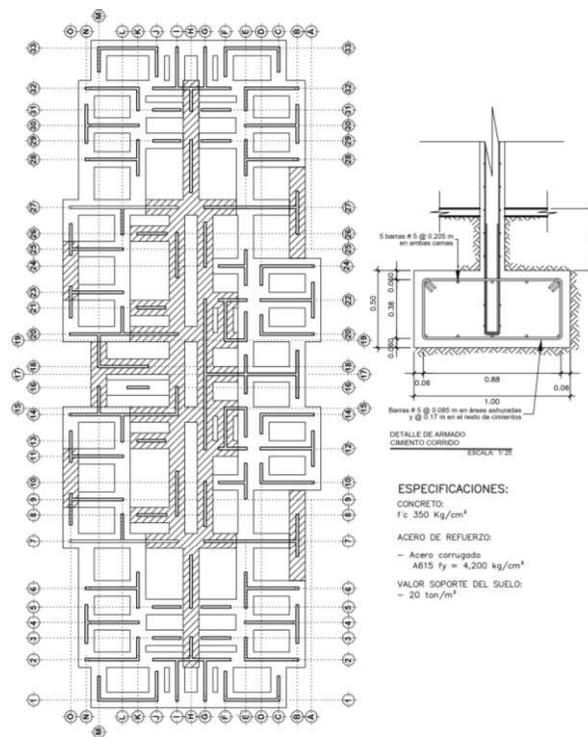
Nota. Determinación de áreas críticas para momentos X-X fuera de la capacidad soportada con acero de refuerzo propuesto. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Para ambos casos aún se encontraron momentos mayores localizados en áreas pequeñas, por lo que al colocar franjas de diseño para verificar si la contribución del concreto y refuerzo, cercanos a esas zonas, soportaba los esfuerzos en esos puntos, se encontró que esto era suficiente. Para el acero longitudinal, se propuso utilizar el acero mínimo consistente en 5 barras # 5 en cada cama. Ver detalle en la figura 39.

Vale la pena mencionar que el modelo, utilizado para el cálculo de la cimentación, también se usó para obtener algunos resultados para evaluar la interacción suelo-estructura de las edificaciones por el método de Winkler.

Figura 39.

Detalle de cimiento corrido



Nota. Planta de cimentación. Elaboración propia, realizado con AutoCAD..

3.6. Consideraciones tomadas para el modelo con 4, 8, 10 y 12 niveles de altura

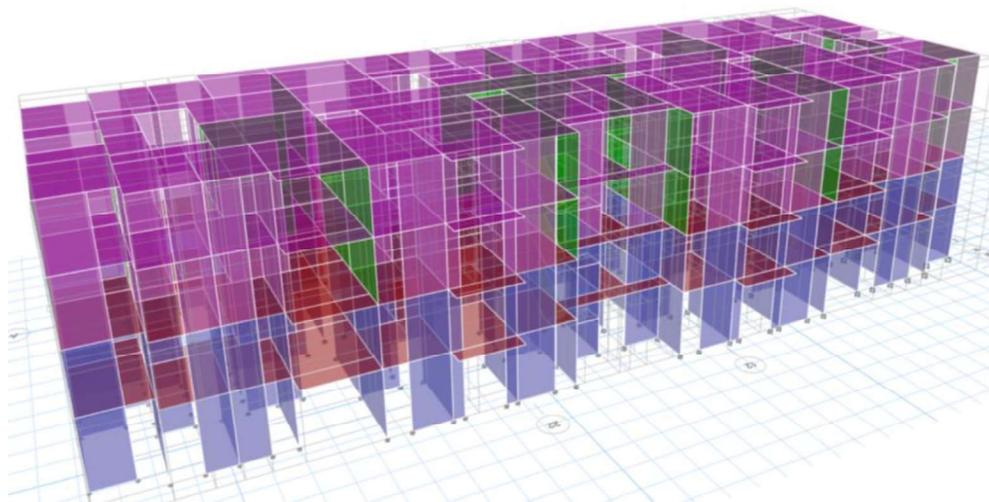
A continuación, se resume la evaluación de los modelos con 4, 8, 10 y 12 niveles de altura, lo que permite conocer la variabilidad en el requerimiento de elementos de borde, los desplazamientos y las derivas, cuando se cambia R de 4 a 3 y cuando se considera la interacción suelo estructura para ambos casos. Esto permite determinar el desempeño sísmico de esta tipología de estructuras cuando se cambian las variables antes mencionadas:

3.6.1. Edificación de 4 niveles de altura

En la siguiente figura, se observa el modelo con 4 niveles de altura. El cual fue utilizado para obtener algunos datos importantes para este estudio.

Figura 40.

Modelo 3D con 4 niveles de altura



Nota. Modelo 3D con 4 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etbas..

En la primera fila de la tabla 24, se muestran los resultados de los desplazamientos, las derivas y el número de muros que requieren elementos de borde por nivel cuando $R=4$. En la segunda fila, se muestran los resultados cuando $R=4$ pero, considerando la interacción suelo-estructura. En la tercera fila los resultados cuando $R=3$ y en la cuarta fila los resultados cuando $R=3$ considerando la interacción suelo-estructura.

Para ambos valores de R , al considerar la interacción suelo-estructura se logra un incremento en el periodo, sin embargo, este es insuficiente para salir de la zona de períodos cortos del espectro de diseño.

Este caso muestra que, en edificaciones con periodos muy cortos como las E2-BD de baja altura, el análisis suelo-estructura puede dar resultados más críticos con respecto a los que se obtienen con el análisis con base rígida, pues la ampliación del periodo que se logra puede no ser suficiente para abandonar la zona de períodos cortos del espectro de diseño que se necesita para aplicar un coeficiente sísmico de diseño menor y en contraposición, el incremento en los desplazamientos y las derivas demandará mayor ductilidad en el muro, debiendo recurrir al uso de más elementos de borde que a los requeridos con el análisis con base rígida.

En la AGIES 7.9, $R=4$, $\Delta=0.01$ y $Cd=4$ a lo que corresponde un desplazamiento límite de 2.75 cm. Bajo estos criterios es posible diseñar la estructura completamente con tipología E2-BD, pero si se considera la interacción suelo-estructura, ya deben diseñarse 16 muros especiales en el primer nivel.

Si se mantiene R y Cd, pero se limita la deriva a 0.005 (desplazamiento máximo 1.38 cm), el diseño de la estructura puede mantenerse totalmente en E2-BD.

Al evaluar la edificación con R=3, Cd=2.5 y $\Delta=0.01$ (desplazamiento máximo 4.40 cm), la estructura continua sin problemas con los desplazamientos y derivas. Ya no es posible utilizar E2-BD en su totalidad. Se requieren 18 muros especiales en el primer nivel y si se considera la interacción suelo-estructura, el número se eleva a 45.

Con R=3, Cd=2.5 y $\Delta=0.005$ (desplazamiento máximo 2.2 cm), la estructura continua sin problemas con los desplazamientos y derivas.

Tabla 24.

Resumen resultados edificio de 4 niveles

R	Desp X (cm)	Desp Y (cm)	Deriva X	Deriva Y	T a en X	T a en Y	Elementos de borde Nivel 1
4	0.566	0.278	0.00252	0.00122	0.175	0.122	0
4 SE	0.847	0.689	0.00356	0.00267	0.241	0.219	16
3	0.754	0.371	0.00210	0.00102	0.175	0.122	18
3 SE	1.129	0.919	0.00296	0.00222	0.241	0.219	45

Nota. Desplazamientos, derivas y periodos. Elaboración propia, realizado con Word.

3.6.2. Información adicional para edificación de 6 niveles de altura

En la AGIES 7.9, $R=4$, $\Delta=0.01$ y $C_d=4$ a lo que corresponde un desplazamiento límite de 4.08 cm. Bajo estos criterios fue que se desarrolló todo el proceso de los elementos estructurales de la edificación, donde se requirieron 28 muros con elementos de borde en el primer nivel y 1 en el segundo. Si se hubiese considerado la interacción suelo estructura, se hubieran requerido 41 muros especiales en el primer nivel y 1 en el segundo.

Si se mantiene R y C_d , pero se limita la deriva a 0.005 (desplazamiento máximo 2.04 cm), la estructura se mantiene con desplazamientos y derivas aceptables, pero si se considera la interacción suelo-estructura, el desplazamiento y la deriva en X ya se exceden del límite.

Al evaluar la edificación con $R=3$, $C_d=2.5$ y $\Delta=0.01$ (desplazamiento máximo 6.52 cm), la estructura no tiene problemas con los desplazamientos y derivas. Se requieren 65 muros especiales en el primer nivel, 2 en el segundo y 1 en el tercero. Si se toma en cuenta la interacción suelo estructura, se obtiene un balance entre la disminución del coeficiente sísmico y el incremento de los desplazamientos, lo que resulta en igual número de muros especiales que se requieren en la estructura.

Con $R=3$, $C_d=2.5$ y $\Delta=0.005$ (desplazamiento máximo 3.26 cm), la estructura continua sin problemas con los desplazamientos y derivas, pero considerando la interacción suelo-estructura, ya se tendría problema con la deriva en X .

Tabla 25.*Resumen resultados edificio de 6 niveles*

R	Des p X (cm)	De sp Y (c m)	Deriv a X	Deriva Y	T a en X	T a en Y	Elem ento s de bord e Nivel 1	Elem ento s de bord e Nivel 2	Elem entos de bord e Nivel 3
4	1.596	0.837	0.00483	0.00250	0.293	0.207	28	1	0
4 SE	2.136	1.545	0.00604	0.00413	0.378	0.322	41	1	0
3	2.107	1.105	0.00399	0.00206	0.293	0.207	65	2	1
3 SE	2.848	2.061	0.00503	0.00344	0.378	0.322	65	2	1

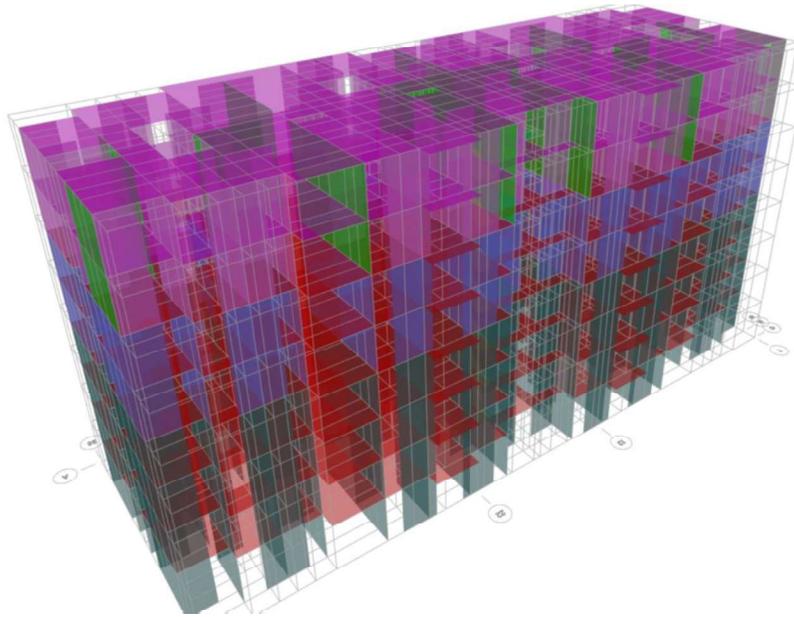
Nota. Desplazamientos, derivas, períodos y elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

3.6.3. Edificación de 8 niveles de altura

En la siguiente figura, se observa el modelo con 8 niveles de altura. El cual fue utilizado para obtener algunos datos importantes para este estudio.

Figura 41.

Modelo 3D con 8 niveles de altura



Nota. Modelo 3D con 8 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etabs.

En la primera fila de la tabla 26, se muestran los resultados de los desplazamientos, las derivas y el número de muros que requieren elementos de borde por nivel cuando $R=4$. En la segunda fila, se muestran los resultados cuando $R=4$ pero, considerando la interacción suelo-estructura. En la tercera fila los resultados cuando $R=3$ y en la cuarta fila los resultados cuando $R=3$ considerando la interacción suelo-estructura.

En la AGIES 7.9, $R=4$, $\Delta=0.01$ y $Cd=4$ a lo que corresponde un desplazamiento límite de 5.40 cm. Bajo estos criterios los desplazamientos y derivas no presentaron ningún problema. Se requirieron 58 muros con elementos de borde en el primer nivel, 2 en el segundo y 1 en el tercero. Si se hubiese

considerado la interacción suelo estructura, se hubieran requerido 64 muros especiales en el primer nivel y 1 en el segundo.

Si se mantiene R y C_d , pero se limita la deriva a 0.005 (desplazamiento máximo 2.70 cm), la estructura se mantiene con desplazamientos aceptables, pero se tiene problema con la deriva en X . Si se considera la interacción suelo-estructura, el desplazamiento en X y las derivas ya exceden el límite.

Al evaluar la edificación con $R=3$, $C_d=2.5$ y $\Delta=0.01$ (desplazamiento máximo 8.64 cm), la estructura no tiene problemas con los desplazamientos y derivas. Se requieren 89 muros especiales en el primer nivel, 30 en el segundo y 2 en el tercero. Si se toma en cuenta la interacción suelo estructura, el número de muros especiales se eleva a 90 en el primer nivel, 13 en el segundo y 1 en el tercero. Existe una leve disminución en el total de muros especiales, aunque se mantiene muy similar el número en el primero.

Con $R=3$, $C_d=2.5$ y $\Delta=0.005$ (desplazamiento máximo 4.32 cm), la estructura continua sin problemas con los desplazamientos, pero la deriva en X ya excede el límite. Si se considera la interacción suelo-estructura, ya se tendría problema con el desplazamiento y la deriva en X .

Tabla 26.*Resumen resultados edificio de 8 niveles*

R	Des p X (cm)	De sp Y (c m)	Deriv a X	Deriva Y	T a en X	T a en Y	Elem ento s de bord e Nivel 1	Elem ento s de bord e Nivel 2	Elem entos de bord e Nivel 3
4	2.642	1.476	0.00605	0.00334	0.430	0.313	58	2	1
4 SE	3.338	2.585	0.00712	0.00526	0.541	0.473	64	1	0
3	3.523	1.968	0.00504	0.00278	0.430	0.313	89	30	2
3 SE	4.451	3.446	0.00594	0.00438	0.541	0.473	90	13	1

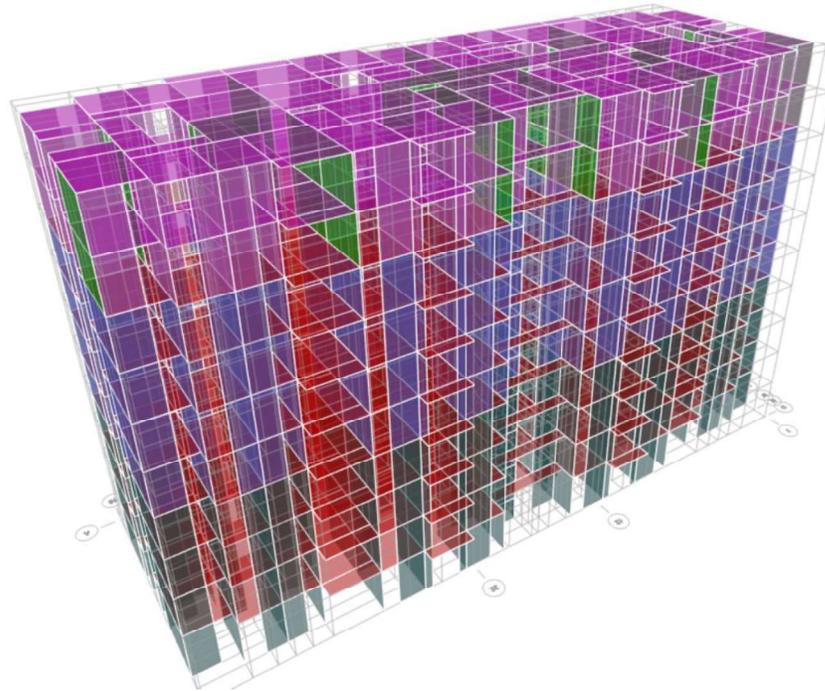
Nota. Desplazamientos, derivas, períodos y elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

3.6.4. Edificación de 10 niveles de altura

En la siguiente figura, se observa el modelo con 10 niveles de altura. El cual fue utilizado para obtener algunos datos importantes para este estudio.

Figura 42.

Modelo 3D con 10 niveles de altura



Nota. Modelo 3D con 10 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etabs.

En la primera fila de la tabla 27, se muestran los resultados de los desplazamientos, las derivas y el número de muros que requieren elementos de borde por nivel cuando $R=4$. En la segunda fila, se muestran los resultados cuando $R=4$ pero, considerando la interacción suelo-estructura. En la tercera fila los resultados cuando $R=3$ y en la cuarta fila los resultados cuando $R=3$ considerando la interacción suelo-estructura.

En la AGIES 7.9, $R=4$, $\Delta=0.01$ y $Cd=4$ a lo que corresponde un desplazamiento límite de 6.73 cm. Bajo estos criterios los desplazamientos y derivas no presentaron ningún problema. Se requirieron 83 muros con elementos de borde en el primer nivel, 28 en el segundo y 2 en el tercero. Si se hubiese considerado la interacción suelo estructura, se hubieran requerido 88 muros especiales en el primer nivel, 29 en el segundo y 1 en el tercero.

Si se mantiene R y Cd , pero se limita la deriva a 0.005 (desplazamiento máximo 3.36 cm), el desplazamiento y la deriva en X ya exceden los límites. Si se considera la interacción suelo-estructura, ambos desplazamientos y derivas sobrepasan los límites.

Al evaluar la edificación con $R=3$, $Cd=2.5$ y $\Delta=0.01$ (desplazamiento máximo 10.76 cm), la estructura no tiene problemas con los desplazamientos y derivas. Se requieren 109 muros especiales en el primer nivel, 69 en el segundo y 17 en el tercero. Si se toma en cuenta la interacción suelo estructura, el número de muros especiales se eleva a 110 en el primer nivel, 71 en el segundo y 18 en el tercero. Existe un leve incremento en el total de muros especiales, aunque se mantiene muy similar el número en el primero.

Con $R=3$, $Cd=2.5$ y $\Delta=0.005$ (desplazamiento máximo 5.38 cm), la estructura continua sin problemas con los desplazamientos, pero la deriva en X ya excede el límite. Si se considera la interacción suelo-estructura, ya se tendría problema con el desplazamiento en X y las derivas.

Tabla 27.*Resumen resultados edificio de 10 niveles*

R	D e s p X (c m)	D e s p Y (c m)	Deri va X	Deri va Y	T a n X	T a n Y	Ele men tos de bord e Nive l 1	Ele men tos de bord e Nive l 2	Ele men tos de bord e Nive l 3	Ele men tos de bord e Nive l 4
4	3.903	2.428	0.00732	0.00444	0.579	0.436	83	28	2	0
4 SE	4.724	3.936	0.00832	0.00650	0.716	0.641	88	29	1	0
3	5.204	3.238	0.00610	0.00370	0.579	0.436	109	69	17	2
3 SE	6.298	5.248	0.00693	0.00542	0.716	0.641	110	71	18	3

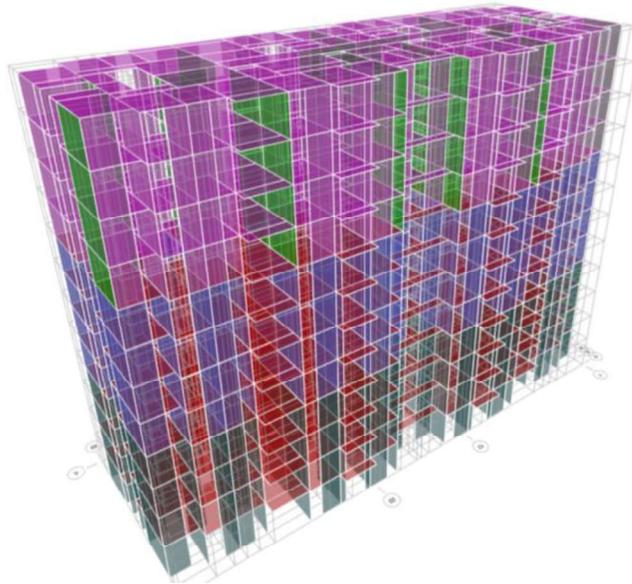
Nota. Desplazamientos, derivas, períodos y elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

3.6.5. Edificación de 12 niveles de altura

En la siguiente figura, se observa el modelo con 12 niveles de altura. El cual fue utilizado para obtener algunos datos importantes para este estudio.

Figura 43.

Modelo 3D con 12 niveles de altura



Nota. Modelo 3D con 12 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etbas.

En la primera fila de la tabla 28, se muestran los resultados de los desplazamientos, las derivas y el número de muros que requieren elementos de borde por nivel cuando $R=4$. En la segunda fila, se muestran los resultados cuando $R=4$ pero, considerando la interacción suelo-estructura. En la tercera fila los resultados cuando $R=3$ y en la cuarta fila los resultados cuando $R=3$ considerando la interacción suelo-estructura.

En la AGIES 7.9, $R=4$, $\Delta=0.01$ y $C_d=4$ a lo que corresponde un desplazamiento límite de 8.05 cm. Bajo estos criterios los desplazamientos y derivas no presentaron ningún problema. Se requirieron 97 muros con elementos de borde en el primer nivel, 52 en el segundo y 8 en el tercero. Si se hubiese considerado la interacción suelo estructura, se hubieran requerido 102 muros especiales en el primer nivel, 75 en el segundo y 4 en el tercero.

Si se mantiene R y Cd, pero se limita la deriva a 0.005 (desplazamiento máximo 4.03 cm), el desplazamiento en X y las derivas ya exceden los límites. Si se considera la interacción suelo-estructura, ambos desplazamientos y derivas sobrepasan los límites.

Al evaluar la edificación con R=3, Cd=2.5 y $\Delta=0.01$ (desplazamiento máximo 12.88 cm), la estructura no tiene problemas con los desplazamientos y derivas. Se requieren 111 muros especiales en el primer nivel, 99 en el segundo y 48 en el tercero. Si se toma en cuenta la interacción suelo estructura, el número de muros especiales se eleva a 115 en el primer nivel, 102 en el segundo y 44 en el tercero. Existe un leve incremento en el total de muros especiales, aunque se mantiene muy similar el número en el primero.

Con R=3, Cd=2.5 y $\Delta=0.005$ (desplazamiento máximo 6.44 cm), la estructura ya excede el límite para el desplazamiento y deriva en X. Si se considera la interacción suelo-estructura, ya se tendría problema con los desplazamientos y las derivas.

Tabla 28.

Resumen resultados edificio de 12 niveles

R	Desp X (cm)	Desp Y (cm)	Deriva X	Deriva Y	T a en X	T a en Y	Element os de borde Nivel 1	Element os de borde Nivel 2	Element os de borde Nivel 3	Elemento s de borde Nivel 4	Eleme ntos de borde Nivel 5
4	5.130	3.460	0.00816	0.00531	0.724	0.563	97	52	8	1	0
4 SE	6.239	5.436	0.00914	0.00754	0.898	0.820	102	75	4	2	0
3	6.841	4.613	0.00669	0.00441	0.724	0.563	111	99	48	6	3
3 SE	8.319	7.248	0.00762	0.00627	0.898	0.820	115	102	44	3	2

Nota. Desplazamientos, derivas, períodos y elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

En concordancia con los resultados obtenidos, la tipología con muros de ductilidad limitada podría ser utilizada en un 100 % hasta edificios con 4 niveles de altura. Por encima de este número de pisos, es muy probable que deba utilizarse un sistema mixto, constituido por muros de ductilidad especial en los primeros niveles del edificio y muros de ductilidad limitada en los niveles superiores.

Si debido a la incertidumbre en el comportamiento inelástico de la tipología de muros de baja ductilidad, la norma AGIES disminuye el R a 3, esta tipología ya podría requerir elementos de borde en edificios de 4 niveles inclusive. Sin embargo, en el tema de desplazamientos y derivas la tipología E2-BD sigue siendo manejable.

Si por el tema de ductilidad encontrada en los estudios experimentales hasta ahora realizados, se reduce el Δ a 0.005, el manejo de los desplazamientos y las derivas se convierte en un problema crítico, pues al menos en este caso de estudio, se tiene dificultad en las derivas a partir del modelo con 6 niveles y de los desplazamientos a partir del modelo con 8 niveles.

4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON AISLACIÓN BASAL

Ante la ausencia de una normativa nacional para el análisis y diseño de edificaciones aisladas, este capítulo se desarrolló sobre la base técnica del ASCE SEI 7-16 para el diseño del sistema de aislación basal y ASCE/SEI 7-10 para la estructura superior, esto para estar en congruencia con los criterios tomados en cuenta para el diseño sin aislación basal y la comparación de desplazamientos y derivas de AGIES.

4.1. Espectro de respuesta sísmica

La norma requiere que el espectro de respuesta sísmica, para el diseño del sistema de aislación, debe ser la del sismo extremo (2 % de ser excedido en 50 años), para el cual el factor de reducción k_d es igual a 1. ASCE/SEI identifica este espectro como MCE_R por sus siglas en inglés (*maximum considered earthquake spectral response*).

Además, también indica que los elementos de la estructura aislada deben ser diseñados considerando un R_I igual a tres octavos del R de la estructura sin aislación basal, siempre y cuando el resultado se encuentre entre 1 y 2. Para el caso de estudio se tuvo que:

$$R_I = 3/8 * R \quad (34)$$

$R_I = 3/8 * 4 = 1.5$, lo cual está dentro de los límites de 1 y 2

Tomando en consideración la misma metodología desarrollada en la sección 2.6.2., de este documento, los datos para el espectro fueron:

Tabla 29.

Datos para espectro de sismo extremo y sismo de diseño

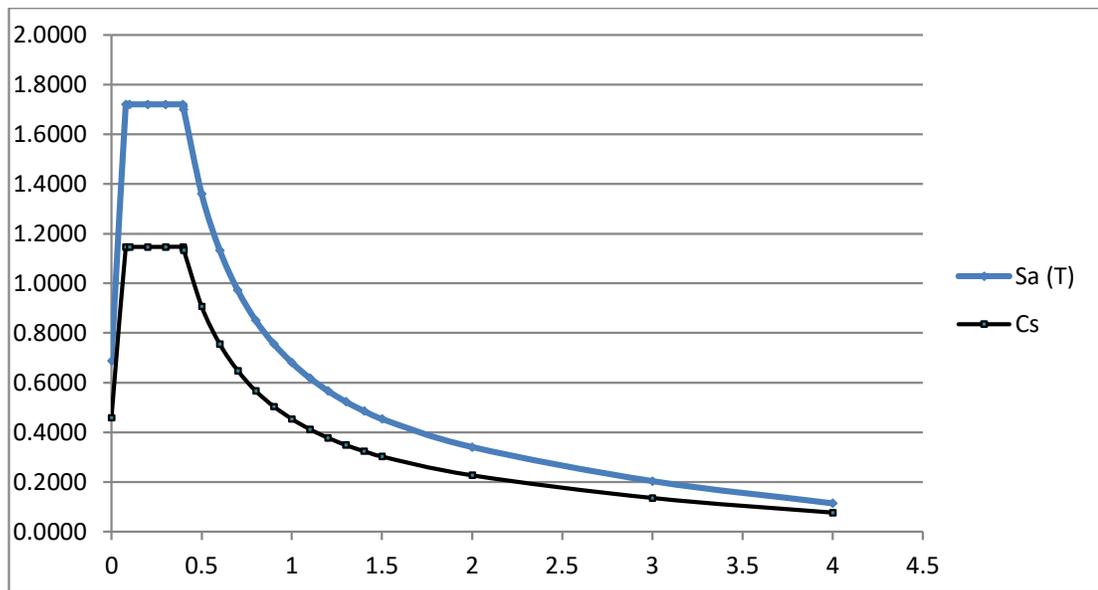
T (s)	S_a (T)	Cs para R=1.5
0	0.6880	0.4587
0.079	1.7200	1.1467
0.10	1.7200	1.1467
0.20	1.7200	1.1467
0.30	1.7200	1.1467
0.395	1.7200	1.1467
0.397	1.7128	1.1419
0.40	1.7000	1.1333
0.50	1.3600	0.9067
0.60	1.1333	0.7556
0.70	0.9714	0.6476
0.80	0.8500	0.5667
0.90	0.7556	0.5037
1.00	0.6800	0.4533
1.10	0.6182	0.4121
1.20	0.5667	0.3778
1.30	0.5231	0.3487
1.40	0.4857	0.3238
1.50	0.4533	0.3022
2.00	0.3400	0.2267
3.00	0.2032	0.1355
4.00	0.1143	0.0762

Nota. Datos para sismo extremo y sismo de diseño considerado. Elaboración propia, realizado con Word.

La gráfica del sismo extremo y el sismo de diseño fueron:

Figura 44.

Espectro de sismo extremo y sismo de diseño



Nota. Espectro de sismo extremo y sismo de diseño. Elaboración propia, realizado con Excel.

Es importante hacer notar que el factor S_{1s} y S_{cd} de la AGIES son los factores equivalentes a S_{1M} y S_{cM} de ASCE/SEI y tienen el valor de 0.68 y 1.72 respectivamente, lo cual implicó que el sismo vertical considerado S_{vd} se incrementará a 0.344 de la carga muerta.

4.2. Diseño del sistema de aislación

ASCE/SEI 7-16 establece dos formas para efectuar el diseño de la aislación basal. Por un lado, existe el método de la fuerza lateral equivalente y por el otro, el método dinámico. En este caso de estudio se realizaron ambas

opciones donde, de la misma manera que en el caso sin aislamiento, el primero sirvió de calibración para el segundo.

4.2.1. Método de la fuerza lateral equivalente

Para el diseño del sistema de aislación basal, se propuso utilizar aisladores elastoméricos con núcleo de plomo de *Dynamic Isolation Systems*, cuyas principales propiedades se observan en el brochure resumido de las figuras 45 y 46.

Figura 45.

Tamaño de los dispositivos de Dynamic Isolation Systems

Propiedades técnicas del Aislador

Propiedades del aislador: Unidades Americanas

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diámetro Aislador, D _i (in)	Altura Aislador, H(in)	Número de capas de caucho, N	Diámetro del plomo D _i (in)	L (in)	T (in)	Cantidad orificios	Orificio Ø (in)	A (in)	B (in)
12.0	5-11	4-14	0-4	14	1	4	1 1/16	2	-
14.0	6-12	5-16	0-4	16	1	4	1 1/16	2	-
16.0	7-13	6-20	0-5	18	1	4	1 1/16	2	-
18.0	7-14	6-20	0-5	20	1	4	1 1/16	2	-
20.5	8-15	8-24	0-7	22.5	1	8	1 1/16	2	2
22.5	8-15	8-24	0-7	24.5	1	8	1 1/16	2	2
25.5	8-15	8-24	0-8	27.5	1.25	8	1 1/16	2	2
27.5	8-17	8-30	0-8	29.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
29.5	9-18	8-30	0-9	31.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
31.5	9-20	8-33	0-9	33.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
33.5	9-21	8-35	0-10	35.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
35.5	10-22	9-37	0-10	37.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
37.5	10-23	10-40	0-11	39.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
39.5	11-25	11-40	0-11	41.5	1.5	12	1 9/16	3	4.5
41.5	12-26	12-45	0-12	43.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
45.5	13-30	14-45	0-13	47.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
49.5	14-30	16-45	0-14	52.5	1.75	16	1 9/16	3	4.5
53.5	16-30	18-45	0-15	56.5	2	16	1 9/16	3	4.5
57.1	17-30	20-45	0-16	60	2	20	1 9/16	3	4.5
61.0	18-30	22-45	0-16	64	2	20	1 9/16	3	4.5

(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 55 psi hasta 100 psi.

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice $K_s=10 \cdot K_d$.

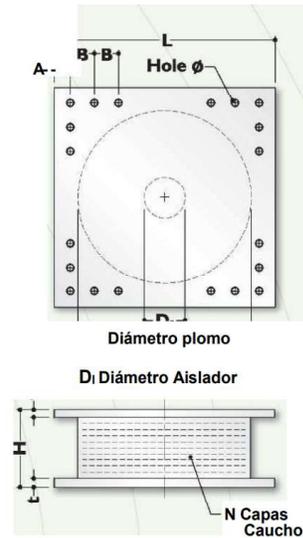
Nota. Dynamic Isolation Systems (2022). *Catálogo de aisladores sísmicos.* [Fotografía]. Dynamic Isolation Systems. (http://www.dynamic-isolation.com/pdf_files/DIS%20Seismic%20Isolation%20for%20Buildings%20and%20Bridges.pdf).

Derechos de autor de 2022 por Dynamic Isolation Systems.

Figura 46.

Propiedades para diseño

Diámetro Aislador, D _i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento 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



Nota. Dynamic Isolation Systems (2022). *Catálogo de aisladores sísmicos. Dynamic Isolation Systems.* (http://www.dynamic-isolation.com/pdf_files/DIS%20Seismic%20Isolation%20for%20Buildings%20and%20Bridges.pdf).

Derechos de autor de 2022 por Dynamic Isolation Systems.

La selección de los aisladores de este fabricante se debió al margen que tienen para su diseño y posterior producción. Se revisó que la capacidad a compresión estuviera por debajo de lo que soportaban estos dispositivos. (ver apéndice 15). Para ello se utilizaron los resultados del programa Etabs en las combinaciones que requiere ASCE SEI 7-16 en la sección 17.2.7.1., que fueron:

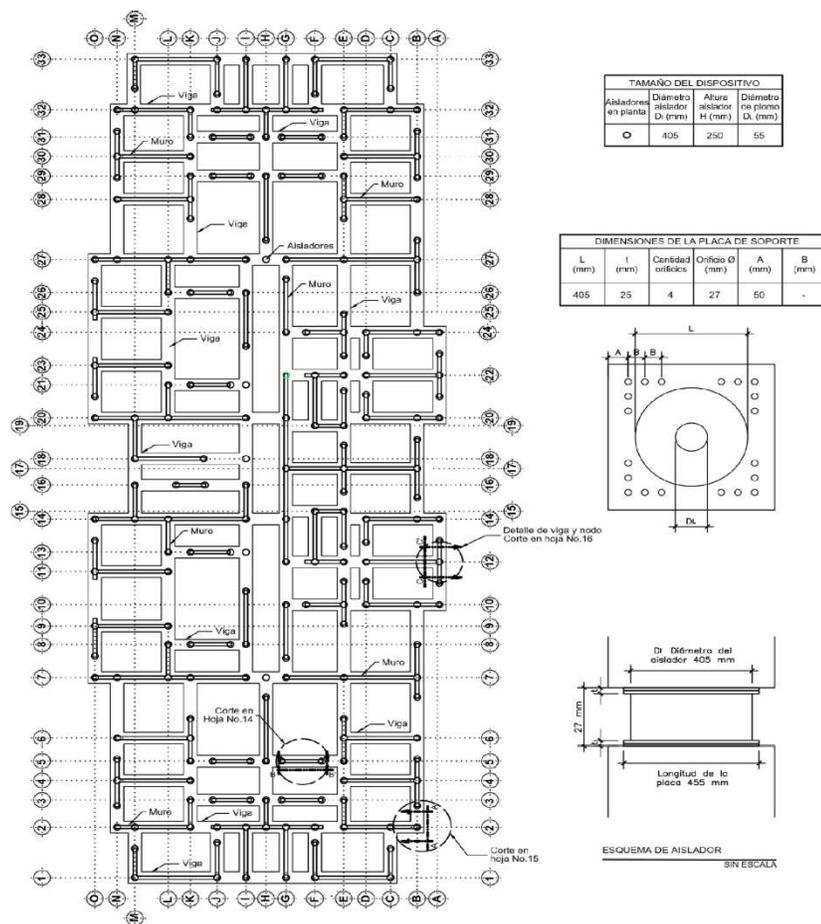
$$CR6: CM + 0.5*CV \quad (35)$$

$$CR7: S_{hd} \pm S_{vd} \quad (36)$$

Debido a la gran cantidad de aisladores que se utilizaron, las reacciones horizontales y verticales fueron relativamente pequeñas, resultando en que todos los dispositivos que se utilizaron fueran de 405 mm de diámetro. (esto de acuerdo con los parámetros establecidos para carga axial máxima P_{max} de dispositivos DIS, según figura 47).

Figura 47.

Distribución de los aisladores sísmicos seleccionados



Nota. Sistema de aislación basal. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Dado que Dynamic Isolation Systems ofrece la fabricación de estos dispositivos de acuerdo con requerimientos específicos del cliente (al menos dentro de ciertos límites), los aisladores tuvieron que ser diseñados de forma específica para adecuarse lo mejor posible a las fuerzas resultantes de la estructura aislada (Ver detalle en apéndice 18).

El criterio de diseño que influyó en la determinación de sus parámetros fue el de la rigidez, pues dadas las bajas cargas, se requirió de aisladores que se activaran con la menor carga Q_d posible para provocar el desplazamiento horizontal cíclico del sistema de aislación, y así lograr un periodo fundamental más largo.

Los módulos de rigidez requeridos para el plomo y el caucho fueron de 10 Mpa y 0.40 MPa, respectivamente. Las principales especificaciones calculadas de los aisladores fueron:

Tabla 30.

Dispositivos de aislación diseñados

Diámetro del dispositivo (mm)	Capacidad máxima del aislador (mm)	Altura del elemento (m)	Altura del aislador (m)	Diámetro del núcleo de plomo (mm)	Q_d (kN)	Rigidez plástica calculada, k_d (kN/mm)	Rigidez elástica calculada, k_e (kN/mm)	D_y (mm)	F_y (kN)	F máxima para DM (kN)	Rigidez efectiva K_{eff}	Amortiguamiento efectivo β_{eff}	Ceoff
405	200	220	270	55	23.76	0.23	2.3	11.48	26.4	69.76	0.35	3.28 %	0.009

Nota. Aisladores diseñados. Elaboración propia, realizado con Word.

A partir de estas características se realizó un proceso iterativo para determinar las propiedades del sistema de aislación propuesto.

4.2.1.1. Cálculo de la rigidez efectiva

Para determinar la rigidez efectiva k_M y el amortiguamiento efectivo β_M , se utilizaron las fórmulas:

$$k_M = (\Sigma|F^+| + \Sigma|F^-|) / 2D_M \quad (37)$$

$$\beta_M = \Sigma E_M / 2\pi k_M D_M^2 \quad (38)$$

Donde:

$\Sigma|F^+|$ = la suma, para cada aislador, del valor absoluto de la fuerza en el máximo desplazamiento positivo D_M .

$\Sigma|F^-|$ = la suma, para cada aislador, del valor absoluto de la fuerza en el máximo desplazamiento negativo D_M .

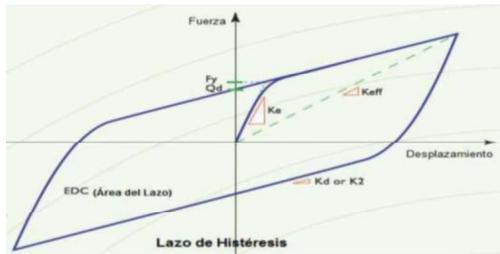
D_M = desplazamiento máximo

ΣE_M = total de la energía disipada del sistema de aislación en un ciclo completo para el desplazamiento D_M .

Al observar la curva histerética idealizada para un aislador sísmico (ver figura 48), es notable que la misma fuerza que se necesita para deformar el dispositivo hasta su máximo desplazamiento positivo, es igual a la fuerza para deformarlo hasta su máximo desplazamiento negativo. Por lo que la rigidez efectiva para cada aislador es igual al cociente entre la fuerza F y el máximo desplazamiento D_M . ($K_{eff} = F/D_M$).

Figura 48.

Curva histerética típica de un aislador sísmico



Nota. Dynamic Isolation Systems (2022). *Catálogo de aisladores sísmicos. Dynamic Isolation Systems.*

(http://www.dynamic-isolation.com/pdf_files/DIS%20Seismic%20Isolation%20for%20Buildings%20and%20Bridges.pdf).

Derechos de autor de 2022 por Dynamic Isolation Systems.

Sin embargo, ASCE/SEI 7-16 requiere que el cálculo se realice de forma separada, tanto para el límite superior como para el límite inferior, determinados por la aplicación de los factores de modificación de las propiedades del aislador. En este caso, se consideró al fabricante *Dynamic Isolation Systems* como un fabricante conocido, por lo que los factores seleccionados fueron:

Tabla 31.

Factores de modificación

$\lambda_{max} (k_d)$	$\lambda_{max} (F_y)$	$\lambda_{min} (K_d)$	$\lambda_{min} (F_y)$
1.3	1.5	0.8	0.8

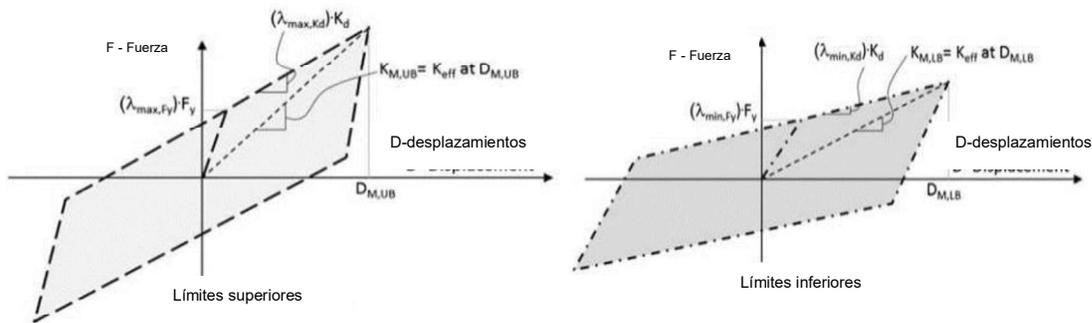
Nota. Factores de modificación utilizados Obtenido de American Society of Civil Engineers (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-16 [Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras, ASCE/SEI 7-16].

(https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/california_waterfi/x/exhibits/docs/dd_jardins/DDJ-148%20ASCE%207-10.pdf)

La aplicación de esos factores de modificación, cambian las propiedades esperadas del aislador, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 49.

Límites máximos y mínimos



Nota. Límites máximos y mínimos. Obtenido de American Society of Civil Engineers (2016). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-16 [Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras, ASCE/SEI 7-16].

(https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/california_waterfi/x/exhibits/docs/dd_jardins/DDJ-148%20ASCE%207-10.pdf)

Por lo tanto, para el diseño del sistema de aislación, se evaluaron ambos límites de forma separada, es decir, afectando las características determinadas en la tabla XXX, por los factores máximos y posteriormente por los factores mínimos. Este criterio permitió una variabilidad en los resultados de $K_d = (\Sigma|F^+| + \Sigma|F^-|) / 2D_M$.

Dado que el máximo desplazamiento horizontal que soportaban los aisladores de 405 mm de diámetro era de 200 mm, se verificó que, en ambos casos, los resultados para D_M se mantuvieran dentro de ese parámetro.

En la tabla XXXII se muestra, entre otros resultados, la fuerza F necesaria para desplazar la estructura 200 mm., la afección de las características del aislador al ser incrementadas por los factores máximos λ , la cantidad total de fuerzas (F^+ y F^-) y energía de disipación del sistema E .

Tabla 32.

Fuerzas y energía disipada para $D_M = 200$ mm

Diámetro del aislador	Carga horizontal	Característica del aislador	Rigidez	Desplazamiento	Carga	Energía disipada	Cantidad de fuerzas	Cantidad de energía	
(mm)	(kN)	(kN)	(kN/m)	(mm)	(kN)	(Joules)	F^+	F^-	E
405	23.76	63.76	0.23	11.48	26.40	17917.11	18408.32	15626.24	4013431.76

Nota. Fuerzas y energía disipada para desplazamiento máximo. Elaboración propia, realizado en Word

Entonces, la rigidez y amortiguamiento del sistema se calculó como:

$$k_M = (18408.32 + 15626.24) / (2 \cdot 200) = 85.09 \text{ kN, y}$$

$$\beta_M = 4013431.76 / (2 \cdot \pi \cdot 85.09 \cdot 200^2) = 18.77 \%$$

4.2.1.2. Cálculo del período efectivo para $D_M = 200$ mm

Para el cálculo del período efectivo se aplicó la siguiente fórmula:

$$T_M = 2 * \pi * \sqrt{W / (k_M / g)} \quad (39)$$

Donde:

W = peso sísmico efectivo de la estructura sobre la interfase de aislación, que para este caso es igual a la sumatoria del peso de la estructura del caso sin aislación (3,449.36 ton), más el peso de la estructura del nivel de base (631.87 ton), para un peso total W de 4,081.23 ton o 40,036.87 kN.

k_M = rigidez calculada en la sección 4.2.1.1

g = gravedad (en mm/seg²)

Por lo tanto:

$$T_M = 2 * \pi * (\sqrt{40036.87 / (85.09 * 9810)}) = 1.38 \text{ segundos}$$

4.2.1.3. Cálculo del desplazamiento máximo real D_M

Para el cálculo del desplazamiento máximo real D_M se aplicó la fórmula:

$$D_M = g * S_{M1} * T_M / (4 * \pi^2 * B_M) \quad (40)$$

Donde:

g = gravedad

S_{M1} = parámetro de aceleración espectral para período de 1-s del máximo sismo considerado, con el 5 % de amortiguamiento efectivo. Calculado en la sección 4.1 como $S_{1s} = 0.68 g$.

T_M = período efectivo calculado en 4.2.1.2

B_M = factor de amortiguamiento, que a su vez depende del resultado de $\beta_M = 18.77 \%$, según la siguiente tabla.

Tabla 33.

Factor de amortiguamiento B_M

Amortiguamiento efectivo, β_M	Factor de amortiguamiento B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	1.2

Nota. Factor de amortiguamiento según amortiguamiento efectivo. Elaboración propia, realizado con Word.

De acá se determinó que para un $\beta_M = 18.77 \%$, correspondió un valor interpolado para B_M de 1.48.

Por lo tanto, el desplazamiento máximo real fue:

$$D_M = 9810 \cdot 0.68 \cdot 1.38 / (4 \cdot \pi^2 \cdot 1.48) = 157.60 \text{ mm}$$

4.2.1.4. Cálculo del desplazamiento máximo total D_{MT}

Para el cálculo del desplazamiento máximo total se aplicó la fórmula:

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{p^2_T} \right) \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (41)$$

Donde:

e = la excentricidad en mm, entre el centro de masa de la estructura sobre la interfaz de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento sobre ambos ejes. Además, debe considerarse una excentricidad accidental del 5 %. Para este caso, e en sentido X = 779.14 mm, y en el sentido Y = 7991 mm. (Ver cálculo completo en apéndice 15).

b = lado corto de la edificación en mm = 16600.

d = lado largo de la edificación en mm = 42300.

y = la distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento y el aislador más lejano en la dirección perpendicular bajo análisis. Para este caso, y en la dirección X = 21,108 mm y en la dirección Y = 7991 (Ver cálculo completo en apéndice 15)

P^2_T = la razón del periodo efectivo de traslación al periodo de torsión efectivo del sistema de aislamiento, calculado como:

$$P_T = \frac{1}{r_1} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}} \quad (42)$$

Donde:

x_i y y_i = distancia en mm, del centro de masa de cada aislador en ambos ejes al centro del sistema de aislación (ver cálculo completo en apéndice 15)

N = cantidad de aisladores = 224, y

r_1 = radio de giro del sistema de aislación en mm, que es igual a:

$$r_1 = \sqrt{\frac{b^2+d^2}{12}} \quad (43)$$

Por lo que, $r_1 = 13,118$ mm

Y, por lo tanto, $PT = 1.02$, donde la norma indica que este valor no debe ser menor a 1.

Entonces, $D_{TM} = 172.08$ mm en el sentido X y 162.71 mm en el sentido Y.

Además, ASCE/SEI 7-16 prescribe que D_{TM} no debe ser tomado con un valor menor a 1.15 veces D_M calculado en la sección 4.4.1.3, por lo que para este caso se tuvo que:

$$D_{TM} = 1.15 \cdot 172.08 = 181.244 \text{ mm}$$

Como 181.244 mm., fue mayor a los valores obtenidos para D_{TM} en X (172.08 mm) y Y (162.71 mm), entonces se tomó a este último valor (181.244 mm), como el D_{TM} real calculado.

4.2.1.4.1. Proceso iterativo para D_{TM}

El resultado obtenido para D_M real en 4.2.1.3 (157.60 mm), partió de la suposición de un D_M asumido (considerado en 200 mm, por ser el máximo desplazamiento de diseño de los aisladores de 405 mm de diámetro).

Esta presunción inicial, produjo un valor de rigidez k_M , cuyo resultado es parte fundamental del proceso iterativo.

Se evidenció una brecha entre el dato supuesto para D_M y el dato obtenido para D_M real. Por lo tanto, se inició un proceso iterativo ajustando el valor asumido para D_M (disminuyéndolo en este caso), hasta coincidir con el D_M real calculado, sin que D_{TM} sobrepasara la capacidad de desplazamiento máxima del aislador.

Después de varios ajustes, se determinó que la brecha se redujo, cuando $D_{M \text{ asumido}} = 139.879$ mm. Para estos datos, $D_{MT} = 160.861$ mm (menor a la capacidad de deformación de 200 mm para los aisladores de 405). En este punto, se cerró el proceso iterativo.

Además, el período T_M para este desplazamiento se determinó en 1.29 segundos.

4.2.1.5. Cálculo de corte basal para el sistema de aislación

El corte basal se determinó utilizando la fórmula:

$$V_b = k_M * D_M \quad (44)$$

Entonces:

$$V_b = 96.52 \cdot 139.879 = 13,501.70 \text{ kN o } 1,376.32 \text{ ton.}$$

Además, ASCE/SEI 7-16 requiere que el diseño de los elementos de la estructura de aislación sea para un $R = 2/3$ del R utilizado para la estructura sin aislación, que para este caso fue $R = 2/3 \cdot 4 = 1.5$

4.2.1.6. Cálculo de corte basal para estructura aislada

Para el cálculo de la estructura aislada, se aplicó la fórmula:

$$V_s = V_{st}/R \quad (45)$$

Donde:

$R = 1.5$ para la estructura aislada, y

$$V_{st} = V_b \left(\frac{w_s}{w} \right)^{(1-2\beta m)} \quad (46)$$

Con:

W_s = peso sísmico efectivo de la estructura sobre el sistema de aislación, para este caso 3,449.36 ton.

Y entonces,

$$V_{st} = 11,422.38 \text{ kN o } 1,164.36 \text{ tons.}$$

Por lo tanto:

$$V_s = 7,614.92 \text{ kN o } 776.24 \text{ tons.}$$

4.2.1.7. Distribución vertical de fuerzas

Para la distribución vertical de las fuerzas se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$F_1 = (V_b - V_{st}) / R_1 \quad (47)$$

$$F_x = C_{vx} V_s \quad (48)$$

$$C_{vx} = W_x h_x^k / \sum (W_x h_x^k) \quad (49)$$

$$k = 14 \beta_M T_{fb} \quad (50)$$

Donde:

T_{fb} = periodo fundamental en segundos de la estructura sobre la interfase de aislación. Se determinó utilizando el análisis modal sin aislación, el cual fue de $T = 0.293$ segundos.

Por lo que:

$$k = 14 * 0.2304 * 0.293 = 0.94$$

Los cálculos para C_{vx} y F_x , se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 34.*Distribución de fuerzas verticales para límite superior*

Nivel	W _x (ton)	h _x (m)	W*h _x ^k	C _{vx} (ton)	F _x
6	538.94	2.65	1.35E+03	0.16	121.28
5	543.72	2.65	1.36E+03	0.16	122.36
4	572.46	2.65	1.43E+03	0.17	128.83
3	572.46	2.65	1.43E+03	0.17	128.83
2	610.89	2.65	1.53E+03	0.18	137.47
1	610.89	2.65	1.53E+03	0.18	137.47
W _x =	3449.36	Σh _x * W ^k =	8.62E+03	1.00	776.24

Nota. Distribución de cortante. Elaboración propia, realizado con Word.

Finalmente:

$$F_1 = (1376.32 - 1164.36) / 1.5 = 141.31 \text{ toneladas.}$$

4.2.1.8. Resultados para ambos límites

En cumplimiento a la norma, se realizó el mismo proceso iterativo de diseño para las condiciones del aislador con el límite inferior, resumiendo los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 35.*Resultados método de la fuerza lateral*

Resultado	Límite superior	Límite inferior
Desplazamiento máximo D_M (mm)	139.879	145.696
Desplazamiento máximo total D_{MT} (mm)	160.861	167.551
Amortiguamiento efectivo para D_M (%)	23.04	25.84
Factor de amortiguamiento B_M	1.56	1.62
Período T_M (segundos)	1.29	1.39
V_b (ton)	1376.32	1231.18
Coefficiente sísmico	0.225	0.201
V_s (ton)	776.24	694.47

Nota. Resultados método estático. Elaboración propia, realizado con Word.

Además, los cálculos de la distribución de las fuerzas para el límite menor fueron:

Tabla 36.*Distribución de fuerzas verticales para límite inferior*

Nivel	W_x (ton)	h_x (m)	$W \cdot h_x^k$	C_x (ton)	F_x
6	538.94	2.65	1.51E+03	0.16	108.51
5	543.72	2.65	1.53E+03	0.16	109.47
4	572.46	2.65	1.61E+03	0.17	115.25
3	572.46	2.65	1.61E+03	0.17	115.25
2	610.89	2.65	1.72E+03	0.18	122.99
1	610.89	2.65	1.72E+03	0.18	122.99
$W_x =$	3449.36	$\sum h_x \cdot W^k =$	9.69E+03	1.00	694.46

Nota. Distribución de cortes. Elaboración propia, realizado con Word.

Con:

$$F_1 = (1231.18 - 1041.70) / 1.5 = 126.32 \text{ toneladas.}$$

4.2.1.9. Evaluación del sistema de aislación con el incremento en el número de pisos

Con el fin de conocer el cambio en el periodo y en el coeficiente sísmico con el incremento del número de pisos sobre la estructura, a continuación, se incluyen los resultados del cálculo con el método estático considerando la misma edificación, pero con 4, 8, 10 y 12 niveles de altura, en los cuales, fue necesario incrementar el diámetro del núcleo del plomo para mantener el desplazamiento dentro de los parámetros de diseño del fabricante DIS.

4.2.1.9.1. Estimación para edificio de 4 niveles

En la tabla 37, se observan los resultados de aplicar la metodología estática equivalente al modelo propuesto, pero con 4 niveles de altura. Se observa un bajo amortiguamiento efectivo del sistema y un alto coeficiente sísmico, lo que pronostica un bajo aporte al desempeño de la estructura con respecto a la edificación sin aislación. Esto se confirmó con los resultados del método dinámico, que se presenta más adelante.

Tabla 37.*Resultados para edificación de 4 niveles*

Resultado	Límite superior	Límite inferior
Desplazamiento máximo D_M (mm)	136.513	144.666
Desplazamiento máximo total D_{MT} (mm)	156.99	166.366
Amortiguamiento efectivo para D_M (%)	17.48	19.78
Factor de amortiguamiento B_M	1.45	1.50
Período T_M (segundos)	1.17	1.28
V_b (ton)	1145.27	1015.33
Coefficiente sísmico	0.267	0.236
V_s (ton)	920.27	815.77

Nota. Resultados para edificación de 4 niveles y diámetro de plomo de 43mm. Elaboración propia, realizado con Word.

4.2.1.9.2. Estimación para edificio con 8 niveles

En la tabla 38, se observan los resultados de aplicar la metodología estática equivalente al modelo propuesto, pero con 8 niveles de altura. Se observa un aumento en el amortiguamiento efectivo del sistema y una disminución del coeficiente sísmico, lo que pronostica un mejor aporte al desempeño de la estructura con respecto a la edificación sin aislación. Esto se confirmó con los resultados del método dinámico, que se presenta más adelante.

Tabla 38.*Resultados para edificación de 8 niveles*

Resultado	Límite superior	Límite inferior
Desplazamiento máximo D_M (mm)	139.781	143.874
Desplazamiento máximo total D_{MT} (mm)	160.748	165.455
Amortiguamiento efectivo para D_M (%)	27.16	30.12
Factor de amortiguamiento B_M	1.64	1.70
Período T_M (segundos)	1.36	1.45
V_b (ton)	1614.34	1461.18
Coefficiente sísmico	0.204	0.184
V_s (ton)	702.08	635.67

Nota. Resultados para edificación de 8 niveles y diámetro de plomo de 66 mm. Elaboración propia, realizado con Word.

4.2.1.9.3. Estimación para edificio con 10 niveles

Se mejora un poco más el amortiguamiento efectivo. El periodo aumenta levemente y se mejora el coeficiente sísmico y el corte, según se muestra en la tabla 39.

Tabla 39.*Resultados para edificación de 10 niveles*

Resultado	Límite superior	Límite inferior
Desplazamiento máximo D_M (mm)	140.499	143.667
Desplazamiento máximo total D_{MT} (mm)	161.574	165.218
Amortiguamiento efectivo para D_M (%)	29.50	32.40
Factor de amortiguamiento B_M	1.69	1.75
Período T_M (segundos)	1.41	1.49
V_b (ton)	1846.28	1687.86
Coefficiente sísmico	0.192	0.175
V_s (ton)	661.50	601.05

Nota. Resultados para edificación de 10 niveles y diámetro de plomo de 75 mm. Elaboración propia, realizado con Word.

4.2.1.9.4. Estimación para edificio con 12 niveles

En ambos límites se supera la brecha óptima para el amortiguamiento efectivo. El periodo, el coeficiente sísmico y el corte tienden a estancarse, lo que indica que el sistema de aislación diseñado ha alcanzado su máximo desempeño, según se muestra en la tabla 40.

Tabla 40.*Resultados para edificación de 12 niveles*

Resultado	Límite superior	Límite inferior
Desplazamiento máximo D_M (mm)	138.99	141.283
Desplazamiento máximo total D_{MT} (mm)	159.839	162.475
Amortiguamiento efectivo para D_M (%)	31.36	33.99
Factor de amortiguamiento B_M	1.73	1.78
Período T_M (segundos)	1.42	1.49
V_b (ton)	2088.29	1934.57
Coefficiente sísmico	0.186	0.172
V_s (ton)	641.20	594.31

Nota. Resultados para edificación de 12 niveles y diámetro de plomo de 85 mm. Elaboración propia, realizado con Word.

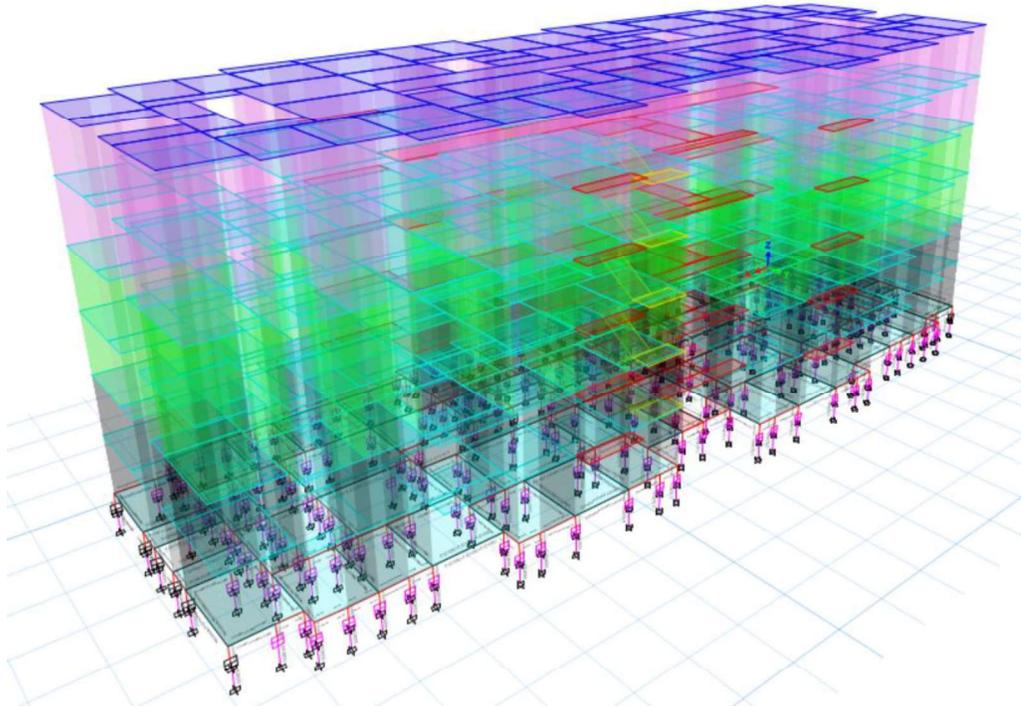
4.2.2. Método dinámico

En este método, ASCE/SEI requiere que la fuerza para el cálculo dinámico sea igual al 100 % del V_s calculado en el método de la fuerza lateral. Al igual que en el método anterior, se requiere que el análisis se realice para ambos límites (superior e inferior) y que para el diseño de los elementos se tome el valor que resulte más crítico. En el estudio únicamente se realizó el ejercicio con el mayor de los cortes basales, y como se indicó anteriormente, se utilizó $R = 3$ y 4 para el diseño de la estructura superior, con el espectro de un sismo básico.

En la siguiente figura se muestra el modelo aislado realizado.

Figura 50.

Modelo aislado del caso de estudio



Nota. Modelo 3D con 6 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Los resultados del análisis modal calibrado para $V_s = 776.24$ ton., se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 41.*Modos, períodos y masa de participación calibrado*

Modo	Periodo Seg	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	1.574	0.9351	0.0006	0	0.9351	0.0006	0
2	1.567	0.0007	0.9834	0	0.9358	0.9840	0
3	1.505	0.0483	0.0002	0	0.9842	0.9842	0
4	0.132	0.0001	0.0000	0	0.9843	0.9842	0
5	0.116	0.0000	0.0001	0	0.9843	0.9843	0
6	0.104	0.0000	0.0000	0	0.9843	0.9843	0
7	0.077	0.0000	0.0000	0	0.9843	0.9843	0
8	0.046	0.0000	0.0000	0	0.9843	0.9843	0
9	0.046	0.0000	0.0000	0	0.9843	0.9843	0

Nota. Modos, periodos y masa de participación calibrados. Elaboración propia, realizado con Word.

De acuerdo con los resultados del modelo analítico corrido en Etabs, el período en el sentido X fue de 1.574 segundos, y en el sentido Y fue de 1.567 segundos, lo cual constituye una mejora con respecto a la estructura sin aislación basal.

4.2.2.1. Chequeo de desplazamientos

En concordancia con ASCE/SEI, el desplazamiento máximo no debe ser menor al 80 % del desplazamiento obtenido por el método de la fuerza lateral. En las tablas 42 y 43, vemos el resultado obtenido para el modelo realizado.

Para estar en congruencia con $R_I = 4$, en estos resultados se tomó $C_d = 4$.

Tabla 42.*Revisión de desplazamientos en X*

Nivel	h_x (m)	$\Delta_p = 0.010h_p$ (cm)	δ_{total} (cm)	δ_{nivel} (cm)	δC_d (cm)	Chequeo
6	2.65	2.65	13.1795	0.0382	0.1528	Ok
5	2.65	2.65	13.1413	0.0432	0.1728	Ok
4	2.65	2.65	13.0981	0.0493	0.1972	Ok
3	2.65	2.65	13.0488	0.0583	0.2332	Ok
2	2.65	2.65	12.9905	0.0963	0.3852	Ok
1	2.65	2.65	12.8942	0.1028	0.4112	Ok
Nivel de base	0.00	0.00	12.7914	12.7914	19.1871	

Nota. Desplazamientos en X. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 43.*Revisión de desplazamientos en Y*

Nivel	h_x (m)	$\Delta_p = 0.010h_p$ (cm)	δ_{total} (cm)	δ_{nivel} (cm)	δC_d (cm)	Chequeo
6	2.65	2.65	12.9876	0.0274	0.1098	Ok
5	2.65	2.65	12.9602	0.0386	0.1544	Ok
4	2.65	2.65	12.9216	0.0406	0.1624	Ok
3	2.65	2.65	12.8810	0.0431	0.1724	Ok
2	2.65	2.65	12.8379	0.0619	0.2476	Ok
1	2.65	2.65	12.7760	0.0610	0.2440	Ok
Nivel de base	0.00	0.00	12.715	12.715	19.0725	

Nota. Desplazamientos en Y. Elaboración propia, realizado con Word.

Para ambos casos, el desplazamiento total D_{MT} del método dinámico resultó ser mayor a los valores de D_{MT} calculados con el método de la fuerza lateral, con lo cual quedan por arriba del 80 % mínimo que establece ASCE/SEI.

Al revisar la componente ortogonal (hipotenusa del desplazamiento en X y en Y) del D_{MT} dinámico 200.41 y 199.23 mm, resultó que la componente en X era ligeramente mayor al máximo desplazamiento para el que se diseñaron los aisladores (200 mm), lo cual se consideró aceptable debido a la holgura que los aisladores han mostrado en los ensayos de DIS.

4.2.2.2. Chequeo de derivas

ASCE/SEI también indica, que deberán realizarse estudios adicionales si la deriva de la estructura sobre el nivel de base supera la relación:

$$0.010 / R_i \quad (51)$$

Nota. ASCE/SEI 7-16. Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. Virginia. 2016.

Por lo que, el parámetro a evaluar es $0.010 / 4 = 0.0025$

En las tablas XLIV y XLV, se muestra esta revisión:

Tabla 44.*Revisión de derivas en X*

Nivel	Deriva del análisis		Deriva del análisis *	Revisión
	Deriva máxima		Cd	
6	0.0025	0.000147	0.000588	Ok
5	0.0025	0.000171	0.000256	Ok
4	0.0025	0.000196	0.000294	Ok
3	0.0025	0.000231	0.000346	Ok
2	0.0025	0.000366	0.000549	Ok
1	0.0025	0.000340	0.000510	Ok

Nota. Derivas en X. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 45.*Revisión de derivas en Y*

Nivel	Deriva del análisis		Deriva del análisis *	Revisión
	Deriva máxima		Cd	
6	0.0025	0.000999	0.003996	ok
5	0.0025	0.000154	0.000231	ok
4	0.0025	0.000162	0.000243	ok
3	0.0025	0.000174	0.000261	ok
2	0.0025	0.000247	0.000371	ok
1	0.0025	0.000222	0.000333	ok

Nota. Derivas en Y. Elaboración propia, realizado con Word.

Con estos resultados se observó que la estructura cumple el requisito establecido por ASCE/SEI.

4.3. Diseño estructural de la edificación

A continuación, se desarrolla la etapa de diseño estructural de todos los elementos sobre el nivel de base.

Para realizar la comparación de resultados con los obtenidos en el capítulo 3, el diseño estructural se realizó con el modelo aislado, sismo básico, corte basal calibrado a 776.24 ton y $R = 4$.

4.3.1. Diseño de muros

Nuevamente se utilizaron las herramientas que brinda Etabs 2019, para el diseño de los elementos. En el modelo aislado, aún fue necesario diseñar elementos de borde para 4 muros del primer nivel. Además, fue posible reducir el espesor de los muros y la resistencia del concreto en el siguiente orden:

Tabla 46.

Tipología de muros caso aislado

Tipo	Espesor (m)	Refuerzo	Resistencia del concreto $f'c$ (kg/cm ²)	Nivel
A	0.16	4 barras # 4 con estribos de 7.2 mm @ 0.075 m., en ambos extremos del muro + dos camaras de electromalla 6*6 3/3	315	1 y 2
B	0.16	2 barras # 3 con estribos de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camaras de electromalla 6*6 3/3	315	1 y 2

Continuación de la tabla 46.

Tipo	Espesor (m)	Refuerzo	Resistencia del concreto $f'c$ (kg/cm ²)	Nivel
C	0.14	2 barras # 3 con estribos de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 4/4	245	3 y 4
D	0.14	2 barras # 3 con estribos de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 4/4	210	5 y 6
D	0.12	2 barras # 3 con eslabones de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camadas de electromalla 6*6 4.5/4.5	210	5 y 6

Nota. Refuerzo para muros. Elaboración propia, realizado con Word.

El acero de refuerzo de la electromalla responde al área de acero requerida para soportar el corte en los muros. La misma resultó suficiente para cubrir los esfuerzos de flexo compresión y, por lo tanto, no se requirió otro refuerzo longitudinal. (Ver detalle en apéndices 23 al 26).

4.3.2. Diseño de losas

Nuevamente, apoyado en el análisis y diseño del programa Etabs, y siguiendo la metodología realizada para el diseño de losas de la sección 3 de este caso de estudio, se determinaron las áreas de acero requeridas para la propuesta del refuerzo, según tabla 47.

Tabla 47.*Determinación de refuerzo de losas por nivel*

Nivel	As max requerido (Momentos negativos)	As min en cada cama según ACI	Tipo de electromalla propuesta	As provisto por electromalla	Refuerzo adicional	As total/cama cm ²
6	7.94	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 7.2 mm @ 0.075	8.01
5	9.10	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @ 0.075	11.97
4	10.04	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @ 0.075	11.97
3	11.27	2.36	6*6 7.2 mm	2.67	Bastones de 9.5 mm @ 0.075	11.97
2	2.25	2.36	6*6 7.2 mm	2.67		2.67
1	2.08	2.36	6*6 7.2 mm	2.67		2.67
Base	1.43	2.36	6*6 7.2 mm	2.67		2.67

Nota. Refuerzo de losas. Elaboración propia, realizado con Word.

Por último, se unificaron algunas de las propuestas de refuerzo de acero para reducir la variabilidad entre ellas como sigue:

Tabla 48.*Acero de refuerzo a utilizar*

Losas	Resistencia del concreto (kg/cm ²)	Refuerzo
5 y 6	210	Electromalla 6*6 7.2 mm + bastones de 9.5 mm @ 0.075 m
3 y 4	245	Electromalla 6*6 7.2 mm + bastones de 9.5 mm @ 0.075 m
Nivel base, losa 1 y 2	315	Electromalla 6*6 7.2 mm + bastones de 9.5 mm @ 0.075 m

Nota. Refuerzo en losas. Elaboración propia, realizado con Word.

Ver detalles estructurales en apéndice 28.

4.3.3. Diseño del nivel de base

Para realizar el modelo aislado, se partió de un pre-dimensionamiento del sistema de vigas que fue necesario para transferir todas las cargas de la estructura superior hacia los aisladores. A este mismo sistema de vigas se le incluyó una losa de 0.15 m de espesor, constituyéndose así en la estructura del nivel de base.

Se tomó en cuenta que, para proveer un espacio adecuado para el mantenimiento de los dispositivos, fue necesario considerar una altura adecuada para el ingreso hacia la zona de interfaz. Para esto, se consideró la altura de los pedestales (0.80 m de alto), la altura de los aisladores (0.25 m) y la altura libre de las vigas del nivel de base (0.65 m); para un total de 1.70 metros.

Por practicidad académica, no se consideró la configuración por debajo del nivel de base que debería de tomarse en cuenta para el libre desplazamiento lateral de los elevadores (foso del elevador) para que no topen con los pedestales y aisladores, pero que en un caso real debe tenerse en cuenta.

El dimensionamiento de las vigas se hizo con el propósito de evitar la construcción de capiteles. Es decir, los aisladores se apoyaron directamente en la base de la viga, para lo cual se consideró utilizar dispositivos de aislación con placas de apoyo de 50 x 50 cm como dimensión máxima. También se consideró al menos 5 cm libres a ambos lados de las placas, siendo la dimensión mínima de la base de las vigas de 60 cm.

La altura de la viga se fijó en 80 cm.

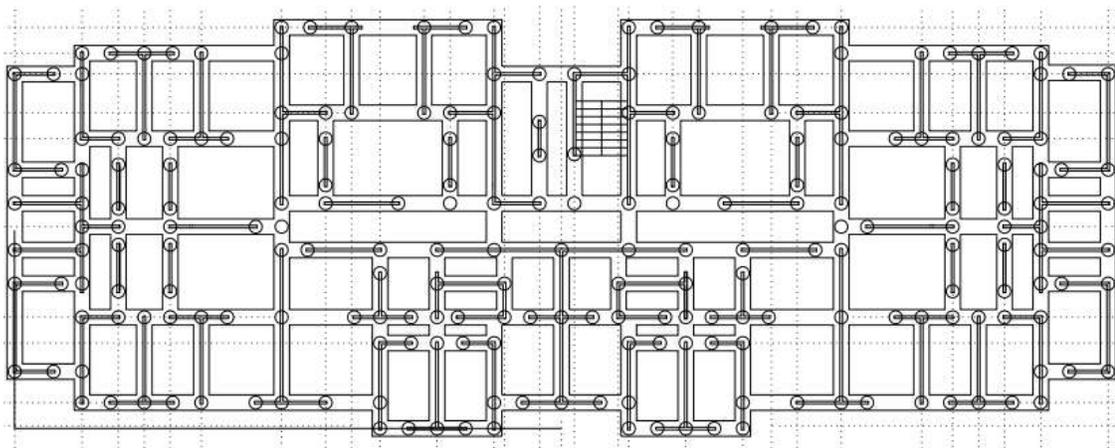
Para el análisis y diseño estructural del nivel de base (vigas y losa) se aplicaron las combinaciones de carga correspondientes a las ecuaciones 24, 25, 26 y 28 indicadas en la sección 2.6.3.1.

El corte basal para el sistema de aislación fue calibrado a 1,376.32 toneladas, valor que se obtuvo de la sección 4.2.1.5. y que corresponde a un coeficiente sísmico equivalente de 0.337.

El criterio para la configuración del sistema de aislación fue el de instalar un aislador bajo cada extremo de los muros, en los cruces entre muros y cruces entre vigas, contabilizando 224 dispositivos de aislación (ver figura 51).

Figura 51.

Configuración del sistema de aislación



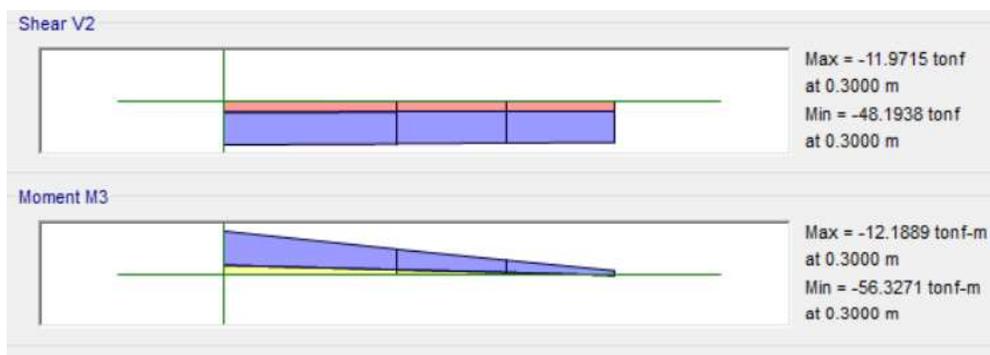
Nota. Sistema de aislación basal. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

De acuerdo con los resultados de Etabs, los mayores momentos se observaron sobre el eje I entre ejes 26 y 27 (-56.32 ton-m); los mayores cortes

resultantes se observaron sobre el eje 14 entre ejes G e I (66.69 ton). Ambos resultados corresponden a la envolvente de momentos y cortes (ver figuras 52 y 53).

Figura 52.

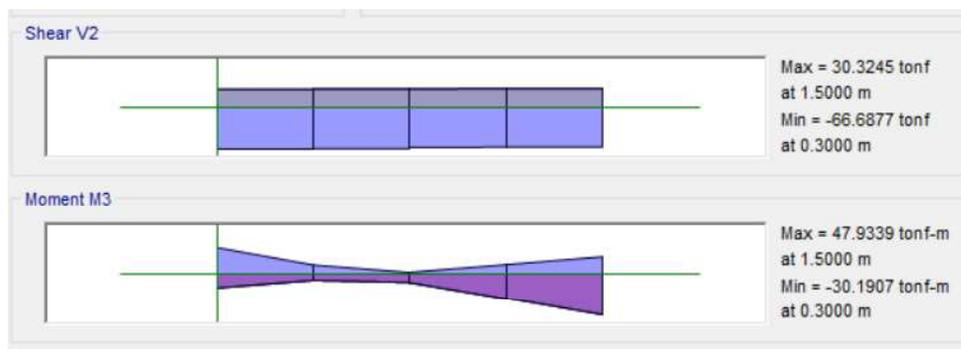
Cortes y momentos viga sobre eje I



Nota. Cortes y momentos, viga sobre eje I, entre ejes 26 y 27. Elaboración propia, realizado con Etab.

Figura 53.

Cortes y momentos viga sobre eje 14



Nota. Cortes y momentos viga sobre eje 14, entre ejes G e I. Elaboración propia, realizado con Etab.

4.3.3.1. Diseño del refuerzo longitudinal

Considerando las cortas distancias entre apoyos (aisladores), el refuerzo longitudinal requerido se aplicó desde un extremo hasta el otro, es decir, no se utilizaron bastones ni tensiones por lo impráctico que resulta su construcción debido a tanto tramo de luces cortas.

En todo caso, también se verificó que el acero requerido fuera mayor al acero mínimo requerido por el ACI 318-19 en su sección 9, donde establece que este debe ser mayor a:

$$a) \frac{0.80\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d = 0.80*(\sqrt{315})*60*75/4200 = 15.42 \text{ cm}^2 \quad (52)$$

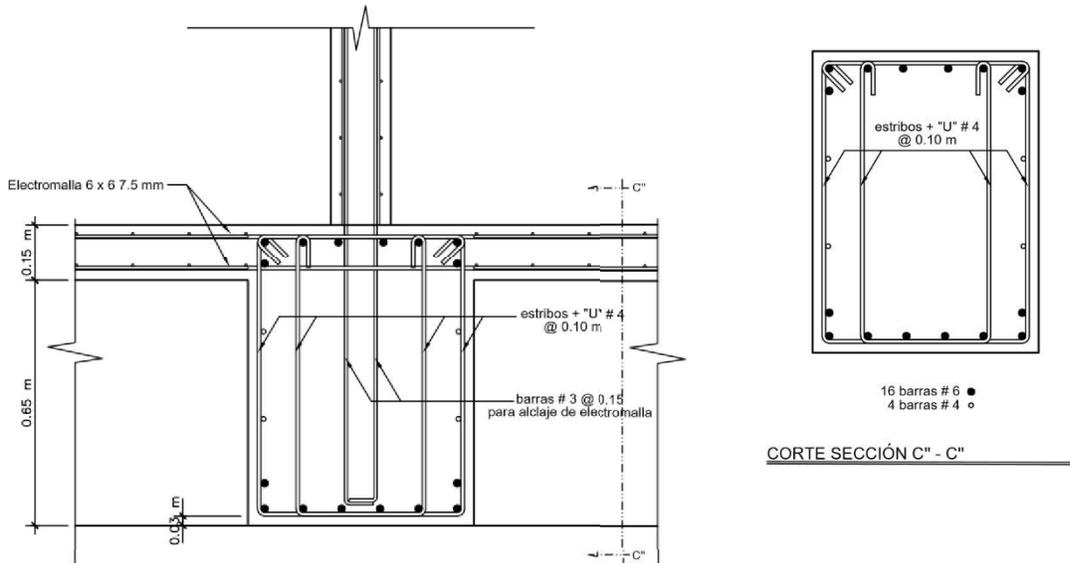
$$b) \frac{14}{f_y} b_w d = 14*60*75/4200 = 15 \text{ cm}^2 \quad (53)$$

El $f'c$ del concreto fue de 315 kg/cm² y el f_y del acero 4200 kg/cm².

Por otro lado, la mayor cuantía de acero de refuerzo longitudinal, calculada por Etabs para las vigas, fue de 20.22 cm² en cada cama. Por lo que se propuso como refuerzo para todo el sistema de vigas utilizar 8 barras # 6 (22.8 cm²) en la cama superior y 8 barras # 6 (22.8 cm²) en la cama inferior.

Figura 54.

Sección típica de vigas del nivel base



Nota. Corte transversal tipo vigas del sistema de aislación basal. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

4.3.3.2. Diseño del refuerzo por corte

La distribución del acero de refuerzo por corte resultaba poco práctica, pues siguiendo el criterio de confinar hasta una distancia de dos veces el peralte de la viga (1.2 m en ambos extremos, según sección 18.6.4.1 ACI 318-19), resultaba que esto valdría la pena hacerlo en vigas con luces mayores a 2.4 m (de lo contrario no habría una distancia, en el centro de las vigas donde el refuerzo por corte pudiera quedar más separado) y, para este caso de estudio, solo unas pocas vigas llegaban a los 3.70 m de longitud.

Por lo tanto, se optó por colocar el refuerzo por corte de forma uniforme en toda la longitud de las vigas, en todo el sistema del nivel de base. De acuerdo con los resultados del programa Etabs (ver tabla 49), el máximo refuerzo requerido en las vigas fue de 0.5144 cm²/cm (A_v/S).

Tabla 49.

Fuerza y refuerzo por corte, V_{u2}

Corte V _{u2} Ton	Corte φV _c Ton	Corte φV _s ton	Corte V _p Ton	Barra de refuerzo A _v /S cm ² /cm
123.6965	0	123.6965	107.7976	0.5144

Nota. Refuerzo por corte. Elaboración propia, realizado con Word.

Para la propuesta del espaciamiento mínimo se consideró la colocación de dos estribos con barra # 4 (5.08 cm²), tomando en cuenta la menor de las alternativas contenidas en la sección 18.6.4.4 y 18.6.5. del ACI 318-19:

$$a) S = A_s h \cdot f_y \cdot d \cdot 0.85 / V_e \quad (54)$$

$$b) S = d/4 \quad (55)$$

$$c) S = 6 \cdot d_b \text{ de barra longitudinal más pequeña} \quad (56)$$

$$d) S = 15 \text{ centímetros} \quad (57)$$

Los resultados fueron:

$$a) 5.08 \cdot 2810 \cdot 75 \cdot 0.85 / 20020.3 = 45.45 \text{ cm}$$

$$b) 72/4 = 18.00 \text{ cm}$$

c) $6 \cdot 1.91 = 11.43 \text{ cm}$

d) 15 cm

Por lo tanto, se propuso la colocación de los estribos a cada 10 cm, donde la relación $A_v/S = 5.08/10 = 0.66$, siendo el área colocada mayor a lo mínimo requerido (0.5144).

En cuanto al refuerzo por torsión, aún el tramo más crítico se chequeó (ver tabla 50).

Tabla 50.

Fuerza y refuerzo por torsión, T_u

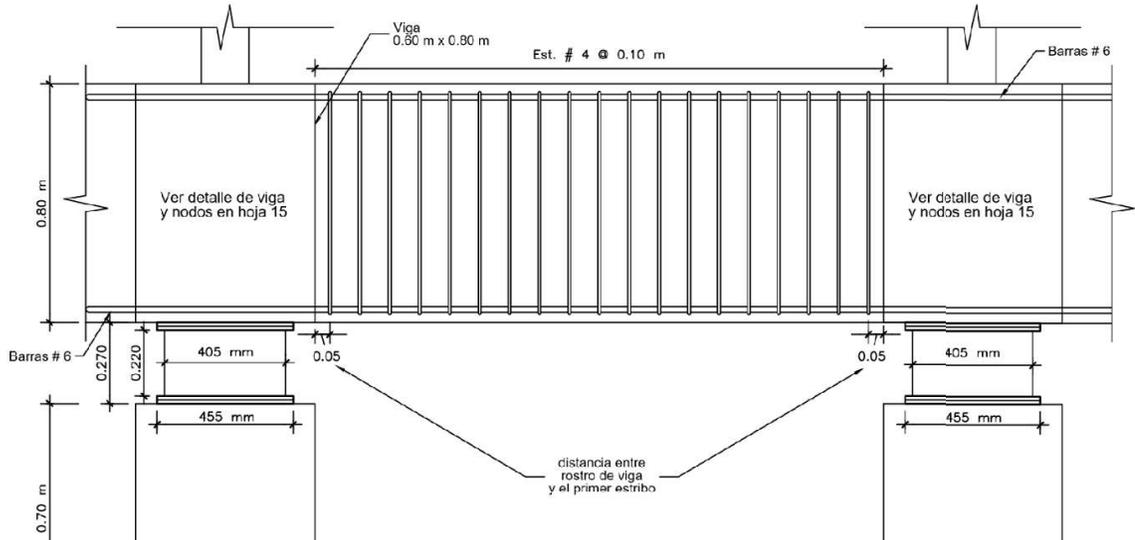
T_u ton-m	ϕT_{th} ton-m	ϕT_{cr} ton-m	Área A_o m^2	Perímetro, p_h M	Rebar A_t / s cm^2/cm	Rebar A_l cm^2
17.21	0.33	13.24	30.89	2.44	0.0881	21.53

Nota. Refuerzo por corte. Elaboración propia, realizado con Word.

En la siguiente figura puede observarse el armado típico por corte para todas las vigas del sistema de nivel de base. Ver más detalles en el apéndice 28.

Figura 55.

Armado típico para vigas del nivel de base



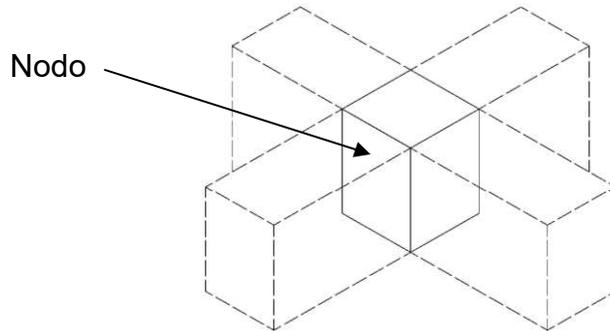
Nota. Refuerzo típico vigas del sistema de aislación basal. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

4.3.3.3. Diseño de nodos

Para el cálculo de todos los nodos, éstos se consideraron como una sección cúbica de 0.60 ancho x 0.60 de largo x 0.80 de altura, lo que constituye las dimensiones correspondientes al cruce entre vigas del nivel de base (Ver figura 56). El $f'c$ fue de 315 kg/cm² y el f_y de 4200 kg/cm² y el recubrimiento de 4 cm.

Figura 56.

Sección cúbica para diseño de nodos



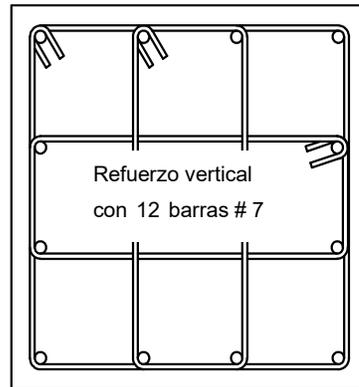
Nota. Sección cúbica de nodos. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Para diseñar con el mayor corte último probable que actuará sobre un nodo, se tomó como referencia el nodo de la intersección entre los ejes E y 7. Con ello se espera obtener el mayor aporte de acero de refuerzo de la sección compuesta (refuerzo de viga + refuerzo de losa). Posteriormente se comparará contra el corte nominal que resiste el nodo para evaluar el refuerzo a corte propuesto.

El refuerzo vertical propuesto para el nudo fue de 12 barras # 7 (46.56 cm²) equivalente al 1.29 % del área de la sección indicada anteriormente (0.60 x 0.60 m).

Figura 57.

Sección típica del nodo



Nota. Refuerzo vertical de nodos. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Dado que el mayor diámetro de las barras de las vigas que llegan al nodo es el # 6 (1.91 cm), se revisó que el lado menor del nodo fuera mayor a 20 veces este diámetro. Se determinó que el lado de la sección en cualquier sentido, que es de 60 cm., era mayor a los 38.2 cm., que se requiere. Esto en concordancia con la sección 4.5.5 de ACI 352R-02.

De la misma forma, se revisó que la altura de las vigas que llegan al nodo fuera mayor a 20 veces el mayor diámetro de la barra propuesta para el refuerzo vertical del nodo (que fue la barra # 7, 2.22 cm). Se determinó que la altura de 80 cm que tienen las vigas era mayor a los 44.4 cm, que se requieren. Esto también en concordancia con la sección 4.5.5 de ACI 352R-02.

De acuerdo con la sección 4.1 de ACI 352R-02, se revisó que la separación del refuerzo vertical del nodo (17.33 cm) fuera menor a 30 cm y también menor a $b/3 = 20$ cm, encontrando que en ambos casos se cumple.

Por lo tanto, la sección del nodo de 0.60x0.60x0.80 m y la separación del refuerzo vertical propuestos son adecuados para proceder con el resto de los cálculos estructurales.

Para los estribos se propuso utilizar barras # 4 a la menor separación entre lo indicado en (55), (56) y (57), donde: a) $\frac{1}{4}$ de la menor dimensión del nodo (15 cm), b) 6 veces el menor diámetro de refuerzo vertical (13.32 cm), y c) 15 cm., encontrando que la menor de ellas fue de 13.32 cm.

Posteriormente, también se revisó que la separación encontrada no fuera mayor a la separación determinada para refuerzos con barras # 4 según las siguientes fórmulas:

$$a) S = f_y * A_{sh} / (0.3 * b_c * f'_c * (A_g / A_c - 1)), y \quad (58)$$

$$b) S = f_y * A_{sh} / 0.9 * b_c * f'_c \quad (59)$$

Donde:

A_{sh} = área de las barras a corte de los estribos propuestos

b_c = base de la columna

A_g = área gruesa de la sección de la columna

A_c = área del núcleo de la columna

Entonces:

a) $S = 14.74$ cm y b) $= 16.28$ cm. Lo cual indica que la separación propuesta de 13.32 cm, es adecuada.

Para tomar en cuenta el aporte del acero de las losas en la sección compuesta, se evaluaron las siguientes alternativas para losas a ambos lados del nodo, según sección 6.3.2.1 de ACI:

a) 16 veces el espesor de la losa (+ ancho del nodo) (60)

b) $\frac{1}{2}$ de la distancia libre a la siguiente alma (a cada lado + ancho de nodo) (61)

c) $\frac{1}{8}$ de la luz entre apoyos de la viga (a cada lado + ancho de nodo) (62)

Donde:

a) $8 \cdot 0.15 = 1.2$; total ambos lados 3.0 m.

b) $\frac{1}{2} \cdot 3.3 = 1.65$ m; total ambos lados 3.9 m.

c) $\frac{1}{8} \cdot 3.3 = 0.4125$ m; total ambos lados 1.43 m.

Por lo tanto, se toma el menor de estos valores 1.43 m. La sección 3.3.2 de ACI 352R recomienda que el ancho efectivo de la sección compuesta no sea menor a 2 veces la base de la viga, es decir, $2 \cdot 0.60 = 1.20$ m., por lo que la sección evaluada es mayor al mínimo establecido.

Determinado lo anterior y con el armado de losa del nivel propuesto, se tendrá un aporte de acero de 34.23 cm^2 en cada cama, además de los 22.80 cm^2 que aporta el armado del acero de la cama superior de la viga.

La tensión última de este acero, considerando que el edificio se encuentra en zona sísmica y que consecuentemente le corresponden un $\alpha = 1.25$, fue:

$$T_u = \alpha \cdot f_y \cdot A_s \quad (63)$$

Donde

A_s es el área de acero aportada por la sección compuesta (34.23 + 22.8 = 57.03 cm²)

Entonces

$$T_u = 1.25 \cdot 4227.28 \cdot (57.03) = 301,405 \text{ kg}$$

Los momentos probables se calcularon con:

$$M_{pr} = \alpha \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad (64)$$

Donde

$$a = \alpha \cdot (A_s \text{ viga} + A_s \text{ losa}) \cdot f_y / (0.85 \cdot f'_c \cdot b), \text{ y}$$

d = peraltes efectivos.

Entonces:

$$M_{pr1} = 1.25 \cdot (57.03) \cdot 4227.28 \cdot (73.46 - 18.64/2) = 19332574 \text{ kg-cm, y}$$

$$M_{pr2} = 1.25 \cdot (57.03) \cdot 4227.28 \cdot (70.44 - 18.64/2) = 18422301 \text{ kg-cm}$$

El corte producto del M_{pr} en X es entonces:

$$M_{pr1} / \text{altura del nodo} = 19332574 / 80 = 241657.18 \text{ kg, y}$$

en el sentido Y es:

$$M_{pr2}/\text{altura del nodo} = 18422301/80 = 230278.77 \text{ kg.}$$

Los cortes finales son entonces:

$$V_u X = 310415 - 241657.18 = 59757.59 \text{ kg, y}$$

$$V_u Y = 310415 - 230278.77 = 71136.00 \text{ kg.}$$

Para calcular el corte nominal que soporta el nodo, primero se calculó el ancho efectivo b_j del nodo entre:

$$\text{a) } (b_c + b_b)/2 \quad (65)$$

$$\text{b) } b_b + \Sigma m \cdot h_c / 2 \quad (66)$$

$$\text{c) } b_c = \text{ancho del nodo} \quad (67)$$

Donde:

b_c = ancho del nodo

b_b = ancho de la viga

m = 1/extensión de la columna más allá del rostro de la viga

h_c = largo de la columna

Al mismo tiempo, debe cumplirse con que la relación $m \cdot h_c / 2$ debe ser menor o igual a la medida de la extensión de la columna más allá del rostro de la viga, de lo contrario se toma esta última como dato para el cálculo.

Entonces:

- a) $(60 + 60)/2 = 60$
- b) $60 + 0 = 60$
- c) 60

Por lo que el ancho a tomar en cuenta b_j es igual a 60 cm.

El corte nominal es entonces:

$$\phi V_n = 0.0085 * \gamma * \text{raíz}(f'c) * b_j * h_c \quad (68)$$

Donde

γ = valor determinado por ACI 352R de acuerdo con el número de columnas (1 para este caso) y al número de vigas que llegan al nodo. Para considerar la menor capacidad posible en cualquiera de los nodos dentro del sistema de aislación basal, se tomó este valor como 8, es decir, como si se tratara de una sola viga llegando al nodo.

Por lo que el corte nominal es:

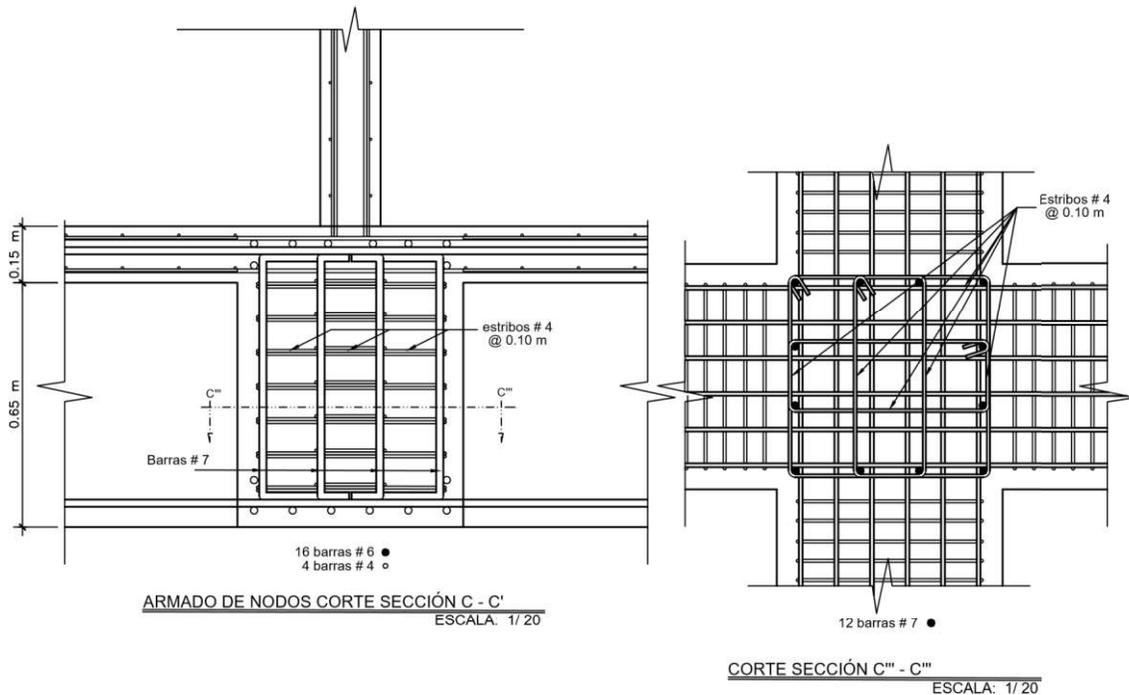
$$\phi V_n = 0.0085 * 8 * \text{raíz}(317) * 60 * 80 = 135,829.99 \text{ kg}$$

Como para este caso de estudio resultó que el corte nominal que resiste el nodo fue mayor al corte último, no fue necesario considerar el corte que aporte el acero de los estribos y, por lo tanto, no se requiere reducir más la separación vertical calculada de 13.34 cm entre estribo y estribo.

Ver detalle final de refuerzo del nodo en la siguiente figura:

Figura 58.

Detalle típico de nodos



Nota. Refuerzo típico de nodos. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

4.3.3.4. Diseño de pedestales y cimientos

Las dimensiones de los pedestales propuestos fueron 0.60 m x 0.60 m, y de acuerdo con los resultados del programa Etabs, el refuerzo en los pedestales únicamente fue del acero mínimo (36 cm^2), por lo que se propuso un armado con 4 barras # 7 y 8 barras # 6 en acero de 2100 kg/cm^2 y concreto con $f'c$ de 315 kg/cm^2 .

Para soportar el corte en pedestales, Etabs requiere un área mínima de 5 cm² por cada metro. El acero de refuerzo transversal consistió en tres estribos con barra # 3 ($A_{sh} = 2.84 \text{ cm}^2$), con un espacio libre entre barras de 10 centímetros ($A_{sh \text{ total}} = 19.8 \text{ cm}^2$), lo que está por encima de lo que indica Etabs.

Para determinar este espaciamiento, de lo establecido en la sección 18.7.5.3 de ACI 318-19 predominó el resultado mínimo correspondiente a los 6 diámetros del refuerzo longitudinal más pequeño (barra # 6; $1.91 \cdot 6 = 11.43 \text{ cm}$). De esa cuenta, se tomó el espaciamiento con un valor de 10 cm.

Además, ACI 318-19, requiere que esa longitud de confinamiento no sea menor a un sexto de la longitud de la columna ($1/6 \cdot 70 = 11.67 \text{ cm}$), la mayor dimensión de la sección (60 cm) y 45 cm. Puesto que los pedestales solo tienen una altura de 70 cm, se tomó la separación de los estribos en todo el pedestal.

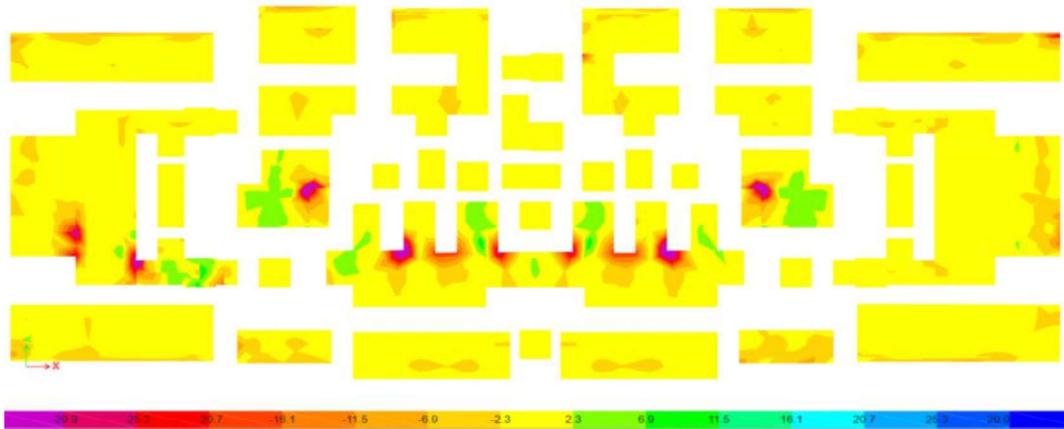
Debido a la configuración del sistema de aislamiento, algunos de estos pedestales se encontraban a tan solo 10 o 25 centímetros de separación uno del otro. En estos casos, ambos pedestales se unieron formando un solo pedestal manteniendo el refuerzo mínimo en la nueva sección.

Para el análisis y diseño de la cimentación se utilizó nuevamente el programa Etabs, siguiendo con la misma metodología desarrollada para el cimiento de la edificación sin aislación.

El acero de refuerzo requerido se distribuyó en dos camas con barras # 6 a cada 20 centímetros, exceptuando las áreas con los mayores esfuerzos (ver figura 59 y 60), donde para el refuerzo se utilizaron barras # 7 a cada 10 cm. Los límites colocados en Etabs para verificar el momento resistente fue de 29.93 ton-m para el primer tipo de refuerzo y de 53.66 ton-m, para el segundo.

Figura 59.

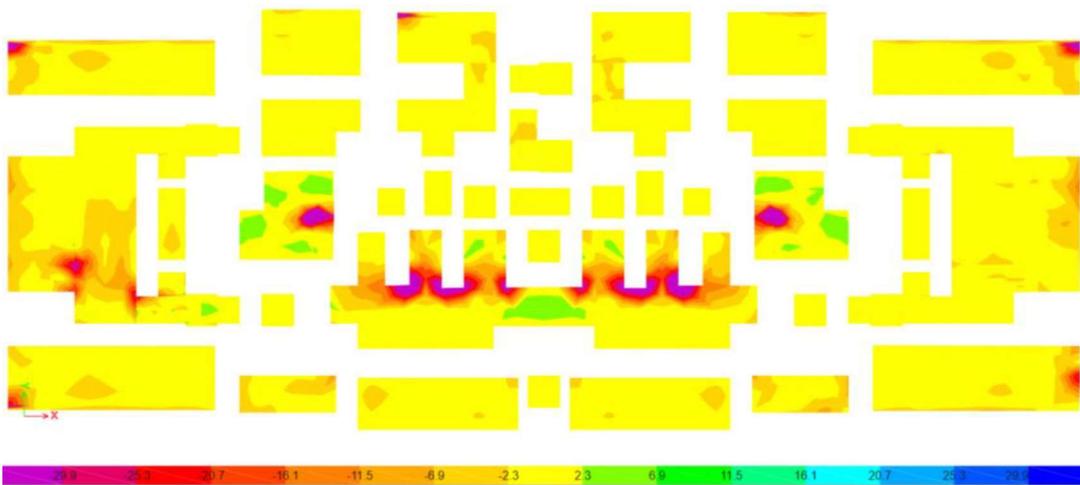
Distribución de esfuerzos en X-X de cimientos



Nota. Distribución de esfuerzos en X. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Figura 60.

Distribución de esfuerzos en Y-Y para refuerzo de acero



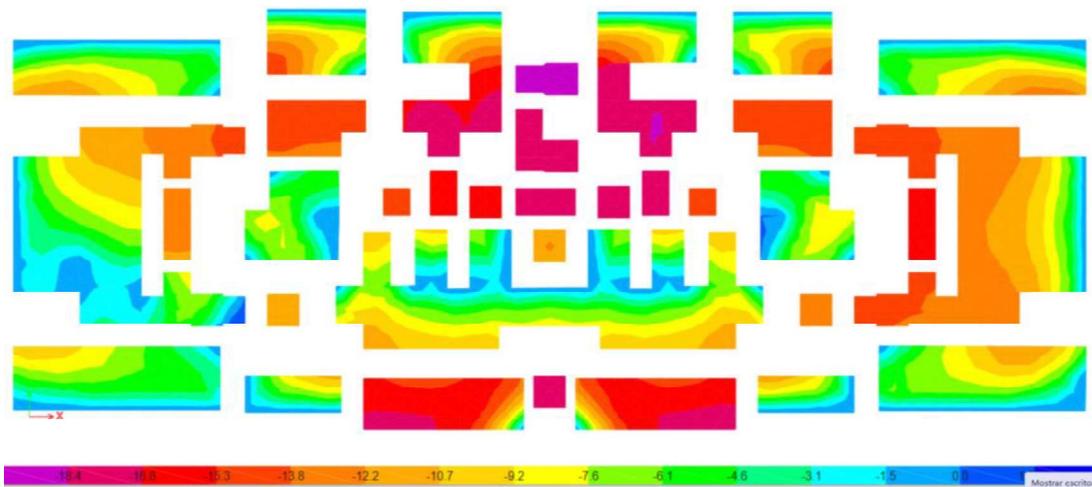
Nota. Distribución de esfuerzos en Y. Elaboración propia, realizado con Etabs.

El espesor del cimiento fue de 50 centímetros (espesor calculado según sección 3.5 de este caso de estudio) y el concreto utilizado fue de 350 kg/cm².

La distribución de esfuerzos sobre el suelo puede observarse en la figura X, con una presión máxima de 1.62 ton-m y una mínima de -19.68 ton-m.

Figura 61.

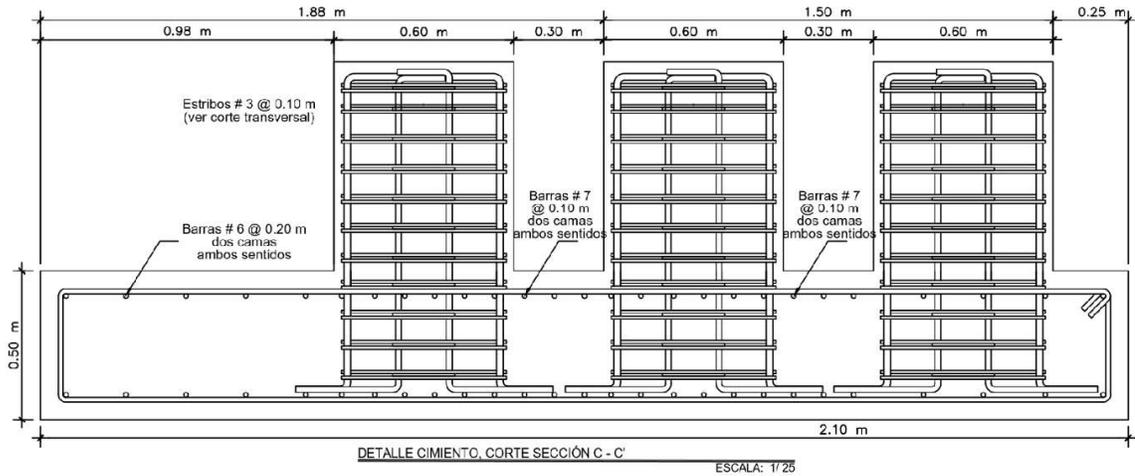
Distribución de presiones sobre el suelo estructura aislada



Nota. Distribución de presiones sobre el suelo. Elaboración propia, realizado con Etabs.

Figura 62.

Detalle típico de pedestales



Nota. Detalle típico de pedestales. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

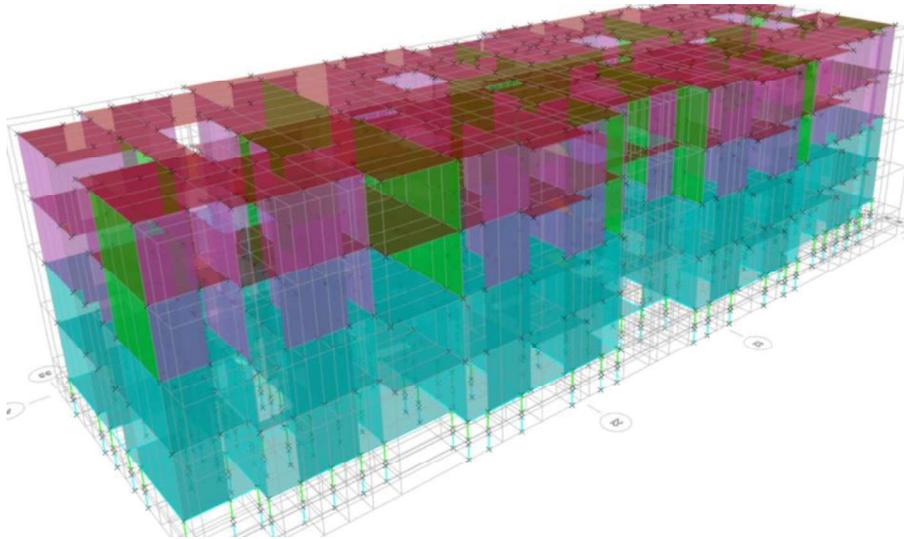
Esta cimentación estará conectada con vigas de amarre en algunos puntos. Ver más detalles estructurales en el apéndice 28.

4.3.3.5. Verificación método dinámico para edificio de 4 niveles

En la figura 63 se muestra el modelo aislado con 4 niveles de altura.

Figura 63.

Modelo 3D aislado con 4 niveles de altura



Nota. Modelo 3D aislado con 4 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etabs.

El problema identificado para el diseño del sistema de aislación del edificio de 6 niveles de altura se incrementó al considerar la edificación con tan solo 4 niveles. A pesar de la disminución del diámetro del aislador a 43 mm para proveer menor rigidez al sistema, no se logró que el sistema de aislación funcionara dentro de los parámetros del fabricante DIS, pues acá el desplazamiento de los aisladores fue mayor al permitido, es decir, los aisladores fallaban.

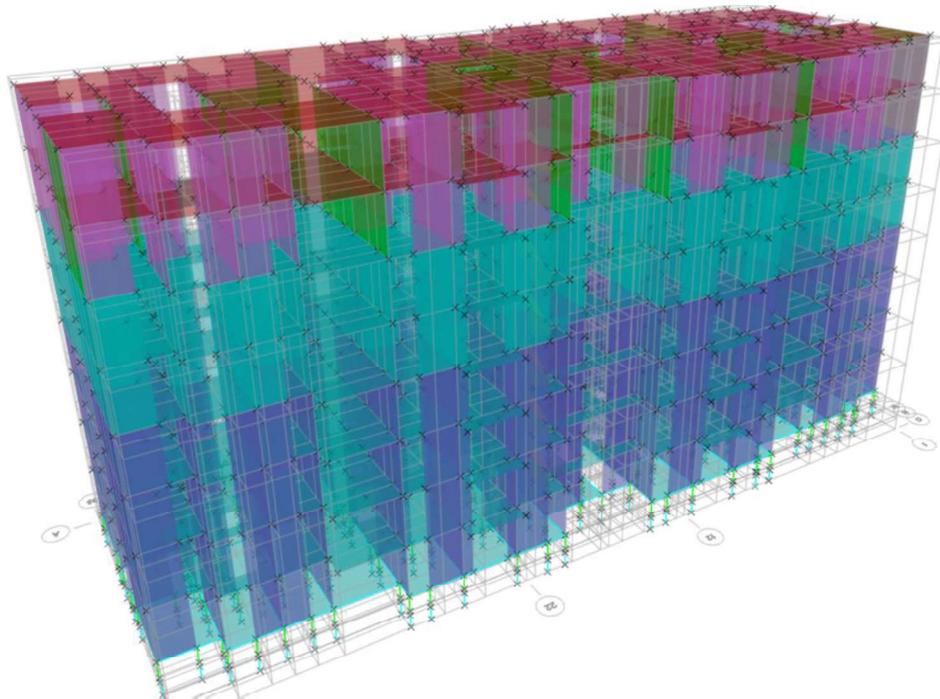
Si se incrementaba el diámetro del plomo, entonces se generaba una rigidez alta, tal que, el amortiguamiento era muy bajo y no se generaba ventaja alguna sobre la estructura aislada en comparación al modelo sin aislación.

4.3.3.6. Verificación método dinámico para edificio de 8 niveles

En la figura 64 se muestra el modelo aislado con 8 niveles de altura. Este se utilizó para determinar el número de muros que necesitan elementos de borde, los desplazamientos y las derivas resultantes, al variar R e incluir la interacción suelo-estructura.

Figura 64.

Modelo 3D aislado con 8 niveles de altura



Nota. Modelo 3D aislado con 8 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etabs.

En la tabla 51, se muestran los resultados obtenidos para el edificio con 8 niveles de altura. En condiciones aisladas se logró la optimización de secciones y, además, fue posible diseñar el edificio con el 100 % de los muros con la tipología de ductilidad limitada. Sin embargo, al considerar la interacción suelo-estructura el incremento en el periodo fue mínimo (C_s muy similar), lo que hizo que el aumento de los desplazamientos y las derivas demandaran la colocación de elementos de borde en 15 muros del primer nivel.

Como se pudo observar, el incremento del amortiguamiento efectivo del sistema de aislación hizo que el desempeño de la estructura fuera más sustancioso con respecto a la edificación de 6 niveles, donde ahora la cantidad de muros que requieren de elementos de borde es menor.

Un fenómeno parecido se observó al analizar la misma edificación para un $R=3$, donde el requerimiento de elementos de borde tampoco fue necesario en condiciones aisladas, pero al considerar la interacción suelo-estructura, al igual que con $R=4$, 15 muros en el primer nivel tendrían que reforzarse con elementos de borde.

Los desplazamientos y las derivas, para este caso, disminuyeron considerablemente con respecto a la misma edificación sin la aislación de la base.

Vale la pena mencionar que al considerar la interacción suelo-estructura, los desplazamientos del sistema basal se redujeron, aun así, se incrementó la magnitud de los desplazamientos y derivas en los muros de la estructura superior con respecto a su análisis con base rígida.

Tabla 51.*Resumen resultados edificio de 8 niveles*

R	Desp X (cm)	Desp Y (cm)	Deriva X	Deriva Y	T a en X	T a en Y	Elementos de borde Nivel 1
4	0.068	0.050	0.00022	0.00013	1.813	1.799	0
4 SE	0.078	0.073	0.00024	0.00018	1.866	1.858	15
3	0.091	0.067	0.00018	0.00011	1.813	1.799	0
3 SE	0.105	0.079	0.00020	0.00015	1.866	1.858	15

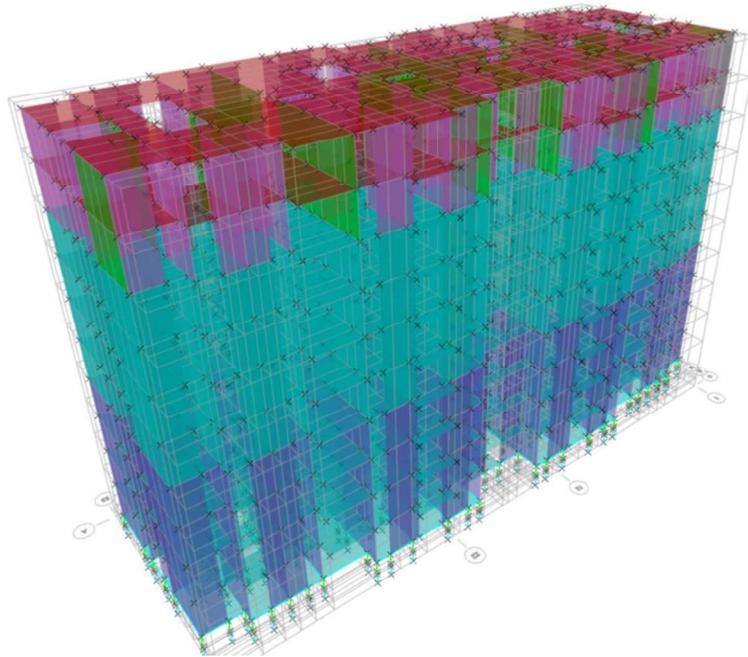
Nota. Desplazamientos, derivas, períodos y elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

4.3.3.7. Verificación método dinámico para edificio con 10 niveles de altura

En la figura 64 se muestra el modelo aislado con 8 niveles de altura. Este se utilizó para determinar el número de muros que necesitan elementos de borde, los desplazamientos y las derivas resultantes, al variar R e incluir la interacción suelo-estructura.

Figura 65.

Modelo 3D aislado con 10 niveles de altura



Nota. Modelo 3D aislado con 10 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etabs.

En la tabla 52, se muestran los resultados obtenidos para el edificio de 10 niveles de altura. Según estos resultados, se logró la optimización de secciones y, además, aún es posible diseñar la estructura sin elementos de borde. Con 10 niveles de altura, se logró alcanzar un periodo de 2 segundos, lo que, de acuerdo con la experiencia en diseño de sistemas de aislación, debería ser un periodo óptimo.

Al considerar la interacción suelo-estructura, el incremento en el periodo se mantiene en una magnitud muy similar al obtenido en condiciones rígidas, lo que resulta en que el coeficiente sísmico también sea muy similar. En el diseño se requieren 22 muros especiales en el primer nivel.

Un fenómeno parecido se observó al analizar la misma edificación para un $R=3$, donde el requerimiento de elementos de borde se da en 2 muros del primer nivel. En el análisis con interacción suelo-estructura, la demanda debido al incremento de los desplazamientos y derivas, requiere de 24 muros con elementos de borde en el primer nivel.

Los desplazamientos y las derivas, para este caso, continúan en magnitudes que no representan ningún problema de acuerdo con los límites establecidos con las normas AGIES. Si se disminuye el límite a $\Delta=0.005$, tampoco se tiene dificultad alguna.

Tabla 52.

Resumen resultados edificio de 10 niveles

R	Desp X (cm)	Desp Y (cm)	Deriva X	Deriva Y	T a en X	T a en Y	Elementos de borde Nivel 1
4	0.0766	0.0645	0.00022	0.00014	2.01	2.00	0
4 SE	0.0936	0.0101	0.00024	0.00019	2.08	2.07	22
3	0.1014	0.0854	0.00018	0.00011	2.01	2.00	2
3 SE	0.1248	0.1347	0.00020	0.00016	2.08	2.07	24

Nota. Desplazamientos, derivas, períodos y elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

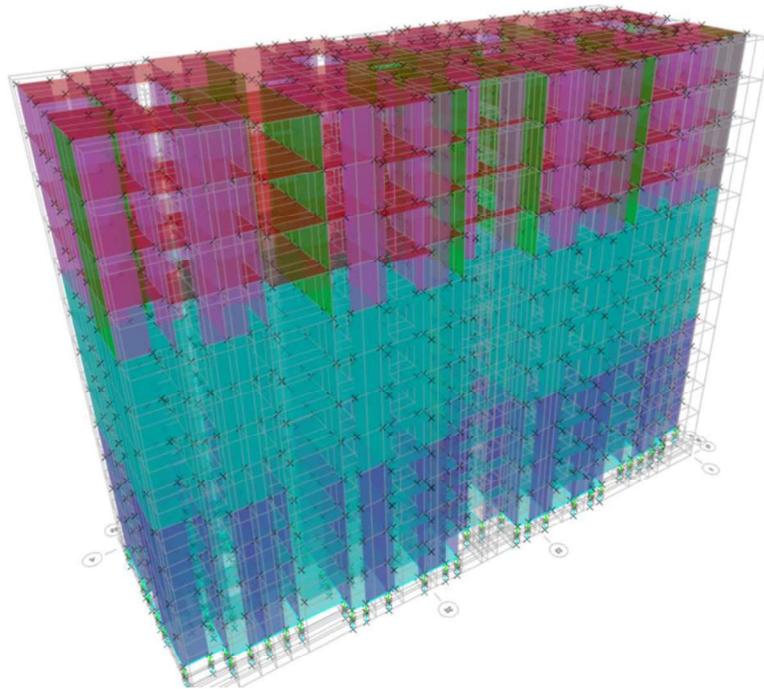
4.3.3.8. Verificación método dinámico para edificio con 12 niveles de altura

En la figura 66 se muestra el modelo aislado con 12 niveles de altura. Este se utilizó para determinar el número de muros que necesitan elementos de borde,

los desplazamientos y las derivas resultantes, al variar R e incluir la interacción suelo-estructura.

Figura 66.

Modelo 3D aislado con 12 niveles de altura



Nota. Modelo 3D aislado con 12 niveles de altura. Elaboración propia, realizado con Etabs.

En la tabla 53, se muestran los resultados obtenidos para el edificio de 12 niveles de altura. Según estos resultados, ya se necesita la colocación de elementos de borde en al menos 4 muros del primer nivel. A pesar de que al considerar la interacción suelo-estructura se logra un incremento en el periodo, la demanda de ductilidad requiere ahora de la colocación de elementos de borde en 36 muros del primer nivel.

Un fenómeno parecido se observó al analizar la misma edificación para un $R=3$, donde el requerimiento de elementos de borde es necesario en 6 muros del primer nivel. Al hacer el análisis con la interacción suelo-estructura, la demanda aumenta a 37 muros de la planta baja.

Los desplazamientos y las derivas nunca llegan a ser un problema en condiciones aisladas, aun considerando un Δ de 0.005.

Vale la pena mencionar que, con la edificación de 12 niveles, ya se sobrepasa la capacidad de desplazamiento de los aisladores, por lo que podría esperarse una falla en los mismos. Es necesario entonces, incrementar a aisladores mayores a los 405 mm que se utilizaron en el sistema de aislación.

Tabla 53.

Resumen resultados edificio de 12 niveles

R	Desp X (cm)	Desp Y (cm)	Deriva X	Deriva Y	T a en X	T a en Y	Elementos de borde Nivel 1
4	0.8580	0.8200	0.00022	0.00014	2.187	2.172	4
4 SE	0.1090	0.1331	0.00025	0.00021	2.263	2.263	36
3	0.1144	0.1093	0.00018	0.00012	2.187	2.172	6
3 SE	0.1453	0.1775	0.00021	0.00017	2.263	2.263	37

Nota. Desplazamientos, derivas, períodos y elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

En concordancia con los resultados obtenidos, la tipología con muros de ductilidad limitada podría ser utilizada en un 100 % hasta edificios con 10 niveles de altura para un $R=4$. Por encima de este número de pisos, debe cambiarse el sistema de aislación para utilizar dispositivos de mayor tamaño en los que se

logre mantener el amortiguamiento cercano al 30 %, donde utilizar E2-BD será más factible.

Si debido a la incertidumbre en el comportamiento inelástico de la tipología de muros de baja ductilidad, la norma AGIES disminuye el R a 3, esta tipología podría mantenerse si se optimiza el sistema de aislación.

Si se adopta una reducción de las derivas a 0.005, a diferencia del caso sin aislación, no tiene mayor impacto en los sistemas aislados, pues la reducción obtenida se aleja considerablemente de los límites que se tendrían.

5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Requerimiento de elementos de borde

Al aislar la estructura tal cual fue diseñada en la sección 3 (6 niveles), se observó que tanto en el sentido *X* como en *Y*, el 100 % de los muros dejan de requerir elementos de borde (Ver tabla 54). Por lo tanto, se hizo posible un proceso de disminución de los espesores de los muros y de la resistencia del concreto utilizado.

Tabla 54.

Requerimiento de elementos de borde

Nivel	Muros por eje		Espesor de muros (cm)	f'c (kg/cm ²)	Muros que requieren elementos de borde			
	Eje X	Eje Y			Caso sin aislación		Casó con aislación	
					Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
6	60	55	12 y 14	280	0	0	0	0
5	60	55	12 y 14	280	0	0	0	0
4	60	55	16	315	0	0	0	0
3	60	55	16	315	0	0	0	0
2	60	55	18	350	1	0	0	0
1	60	55	18	350	28	0	0	0
	360	330 (100 %)			29 (8.06 %)	0 (0.00 %)	0 (0.00 %)	0 (0.00 %)
Subtotal	(100 %)	(100 %)						
Total	690 (100 %)				29 (4.20 %)		0 (0.00 %)	

Nota. Comparación de requerimiento de elementos de borde en estructura con características diseñadas en el capítulo 3. Elaboración propia, realizado con Word.

Al reducir los espesores y la resistencia del concreto hasta las mismas características con que se inició en la sección 3.1.1, y analizar la estructura aislada, se encontró que la estructura ya requiere elementos de borde (ver comparación en tabla 55).

Tabla 55.

Requerimiento de elementos de borde

Nivel	Muros por eje		Espesor de muros (cm)	f'c (kg/cm ²)	Muros que requieren elementos de borde			
					Caso sin aislación		Casó con aislación	
	Eje X	Eje Y			Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y
6	60	55	12 y 14	210	0	0	0	0
5	60	55	12 y 14	210	0	0	0	0
4	60	55	12 y 14	280	0	0	0	0
3	60	55	12 y 14	280	17	11	0	0
2	60	55	12 y 14	350	58	38	2	0
1	60	55	12, 14 y 16	350	60	55	45	8
	360	330 (100 %)			135 (37.5 %)	104 (31.52 %)	47 (13.03 %)	8 (2.42 %)
Subtotal								
Total	690 (100 %)				239 (34.64 %)		55 (7.97 %)	

Nota. Comparación de requerimiento de elementos de borde en estructura con características iniciales del capítulo 3. Elaboración propia, realizado con Word.

Puesto que los 55 muros que requieren elementos de borde solamente tienen un espesor de 12 cm., y recordando que en ese espesor no es posible aún confinar, la estructura finalmente diseñada en la sección 4 (6 niveles), tuvo características intermedias entre el edificio inicial y el final de la sección 3.

Esta estructura intermedia, con aislación basal, pudo diseñarse con la tipología de muros de ductilidad limitada, con las siguientes características:

Tabla 56.*Requerimiento de elementos de borde*

Nivel	Muros por eje		Espesor de muros (cm)	f'c (kg/cm ²)	Muros que requieren elementos de borde	
	Eje X	Eje Y			Eje X	Eje Y
6	60	55	12 y 14	210	0	0
5	60	55	12 y 14	210	0	0
4	60	55	14	245	0	0
3	60	55	14	245	0	0
2	60	55	16	315	0	0
1	60	55	16	315	4	0
Subtotal	360 (100 %)	330 (100 %)			4 (1.11 %)	0 (0.00 %)
Total	690 (100 %)				4 (0.58 %)	

Nota. Requerimiento de elementos de borde en estructura aislada diseñada en el capítulo 4. Elaboración propia, realizado con Word.

Esto es un indicador de la reducción de esfuerzos de flexocompresión en los muros que, si bien cuantitativamente no puede generalizarse, evidencia que la aislación basal tiende a disminuirlos sustancialmente, permitiendo una optimización de las secciones de los muros y hasta una reducción en la resistencia del concreto.

En la tabla 52 se colocó el total de muros por nivel que requieren de elementos de borde. El ejercicio se realizó con R=4 y R=3, en condiciones de base rígida y en condiciones con interacción suelo-estructura. En resumen, la aislación sísmica logró una concentración en el primer nivel de muros que requirieron elementos de borde.

En condiciones sin aislación, el requerimiento fue mayor y con alguna dispersión hacia niveles superiores.

Además, es notorio que donde se logró un mejor amortiguamiento del sistema de aislación, la reducción de muros que requieren de elementos de borde también se optimizó, ocurriendo esto cuando el edificio cuenta con 10 niveles.

Tabla 57.

Requerimiento de elementos de borde

Niveles	R utilizado (S-E = interacción suelo estructura)	Número de muros que requieren de elementos de borde					Con aislación Nivel 1	Reducción
		Caso sin aislación						
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5		
4	4	0	0	0	0	-	0	0
4	4 S-E	16	0	0	0	-	16	0
4	3	18	0	0	0	-	18	0
4	3 S-E	45	0	0	0	-	45	0
6	4	28	1	0	0	0	4	86.21
6	4 S-E	41	1	0	0	0	0	100.00
6	3	65	2	1	0	0	23	66.18
6	3 S-E	65	2	1	0	0	20	70.59
8	4	58	2	1	0	0	0	100.00
8	4 S-E	64	1	0	0	0	15	76.92
8	3	89	30	2	0	0	0	100.00
8	3 S-E	90	13	1	0	0	15	85.58
10	4	83	28	2	0	0	0	100.00
10	4 S-E	88	29	1	0	0	22	81.36

Continuación de la tabla 57.

Niveles	R utilizado (S-E = interacción suelo estructura)	Número de muros que requieren de elementos de borde						Reducción
		Caso sin aislación					Con	
							aislación	
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 1	
10	3	109	69	17	2	0	2	98.98
10	3 S-E	110	71	18	3	0	24	88.12
12	4	97	52	8	1	0	4	97.47
12	4 S-E	102	75	4	2	0	36	80.33
12	3	111	99	48	6	3	6	97.75
12	3 S-E	115	102	44	3	2	37	86.09

Nota. Cantidad de muros que requieren de elementos de borde. Elaboración propia, realizado con Word.

Los esfuerzos resultantes, obtenidos en la edificación de 4 niveles, que fueron muy bajas dado el alto número de aisladores que se necesitan en el sistema de aislación, no hicieron viable que la aislación de la estructura brindara ventajas comparativas con respecto a su caso sin aislación.

No se tomaron en cuenta los resultados del nivel 12, pues como se indicó anteriormente, acá la estructura ya requiere un cambio en el tamaño de los aisladores.

La tendencia de optimización de secciones se generalizó en los modelos con 6, 8, 10 y 12 niveles.

5.2. Corte basal

Puesto que el corte basal corresponde a una fracción del peso de la estructura, a continuación, se resume el volumen de concreto de la estructura sin aislación basal y seguidamente, también el de la estructura aislada para el caso del modelo con 6 niveles de altura.

Tabla 58.

Comparación de volúmenes y peso de concreto

Nivel	Volúmen sin aislación (m ³)	Volúmen aislado (m ³)
6	243.24	224.55
5	245.23	226.55
4	277.70	238.53
3	277.70	238.53
2	270.55	254.54
1	296.27	254.54
Base		263.28
Sub total volumen	1610.69	1700.52
Peso (ton)	3865.65	4081.23

Nota. Comparación de volúmenes y peso de concreto. Elaboración propia, realizado con Word.

El corte basal de la estructura sin aislación fue de 1,108.28 toneladas, lo que corresponde a un coeficiente sísmico C_s de 0.2867. Para el caso aislado este corte (el menos favorable de los logrados) fue de 776.24 toneladas, lo que equivale a un C_s de 0.225.

Dicho de otra manera, en condiciones sin aislación, el corte basal se cuantificó como el 28.67 % del peso total de la edificación, mientras que en las

condiciones aisladas fue el correspondiente al 22.5 %. Es decir, hubo una mejora de un 21.52 % con respecto a la edificación sin aislación en términos del coeficiente sísmico y del 29.96 % en términos del corte basal.

Estas ventajas son más sustanciosas en la edificación con mayor cantidad de niveles, donde el sistema de aislación logra su mejor nivel de protección sísmica, tal como se resume en la siguiente tabla:

Tabla 59.

Corte basal con el incremento en alturas del modelo

Número de niveles	Corte sin aislación (ton)	Corte con aislación (ton)	Reducción
6	1108.28	776.24	29.96 %
8	1170.74	702.08	40.03 %
10	1234.37	661.50	46.41 %
12	1266.27	641.20	49.36 %

Nota. Reducción del corte basal con el incremento en alturas del modelo. Elaboración propia, realizado con Word.

5.2.1. Observación sobre el corte basal

Como se mencionó en la sección 4.4.1., la gran cantidad de dispositivos que se utilizó para aislar la edificación de muros de ductilidad limitada con 6 niveles de altura tuvo como resultado que el cociente entre la fuerza horizontal y la cantidad de aisladores fuera relativamente pequeña (calculada como $V_b/224$), que en promedio fue de 3.47 toneladas o 34 kN.

Como puede apreciarse en el brochure de Dynamic Isolator Systems, los aisladores más pequeños son los que, diseñados de forma personalizada, mejor

podieron adaptarse a los resultados del análisis. Otros fabricantes, cuentan con aisladores estándar, pero sus características quedan muy sobradas, al menos para lo encontrado en este caso de estudio con los 4 y 6 niveles de altura.

Por lo tanto, los dispositivos mostrados en la tabla 25 (ver extracto en tabla 60), tuvieron que diseñarse para lograr activarse con una baja carga de cedencia del núcleo de plomo F_y (F_y diseñado = 26.4 kN, para el caso con 6 niveles), o de lo contrario, la estructura superior tendría un periodo fundamental muy similar al de la subestructura y, por lo tanto, la aislación no tendría ningún sentido.

El segundo objetivo considerado, para el diseño de los dispositivos, fue lograr la menor de las rigideces posibles, pues esto permitió alcanzar el mayor desplazamiento (sin sobrepasar la capacidad de cada aislador, según el diámetro), que tenía como objetivo final ampliar el periodo fundamental para la estructura sobre el nivel de base.

Tabla 60.
Características de los aisladores diseñados

Diámetro del aislador D_i (mm)	Altura del elastómero h_r (mm)	Altura del aislador H (mm)	Diámetro del núcleo de plomo D_L (mm)	Q_d (kN)	Rigidez plástica calculada, k_d (kN/mm)	Rigidez elástica k_e (kN/mm)	D_y mm	F_y kN	Rigidez efectiva K_{eff}	Amortiguamiento efectivo β_{eff}	C_{eff}
405	220	270	55	23.76	0.23	2.3	11.48	26.4	0.35	3.28 %	0.009

Nota. Características de los aisladores diseñados. Elaboración propia, realizado con Word.

Los dispositivos de mayores dimensiones presentaron mayor rigidez y, por lo tanto, un incremento en el corte basal, mientras que en los de menor dimensión (305 y 355 mm), no fue posible manejar una baja rigidez con tan poco margen para el desplazamiento.

Esta limitante fue la causante de que, para el caso de la edificación con 4 niveles de altura, no se logrará diseñar un sistema de aislación que mejorará el desempeño de la estructura.

Lo importante de este caso es comprender que, para la aislación de estructuras compuestas por muros, debe existir una coordinación entre el ingeniero estructural y el fabricante, así como la flexibilidad para adaptar los dispositivos a la necesidad encontrada durante el análisis y así optimizar los resultados del diseño del sistema de aislación, de tal manera que permita lograr reducciones sustanciales del corte basal.

5.3. Revisión de los desplazamientos y derivas

En la comparación de los desplazamientos horizontales y las derivas para los distintos niveles y considerando variaciones entre $R=4$ y $R=3$, con y sin considerar la interacción suelo-estructura, se tuvo lo siguiente:

Tabla 61.*Comparación de desplazamientos*

Cantidad de niveles	R utilizado (S-E = interacción suelo estructura)	Sin aislación		Con aislación		Reducción en X (%)	Reducción en Y (%)
		Desp en X	Desp en Y	Desp en X	Desp en Y		
4	4	0.566	0.278	-	-	-	-
4	4 S-E	0.847	0.689	-	-	-	-
4	3	0.754	0.371	-	-	-	-
4	3 S-E	1.129	0.919	-	-	-	-
6	4	1.596	0.837	0.382	0.2745	76.07	67.20
6	4 S-E	2.136	1.545	0.5001	0.6396	76.59	58.60
6	3	2.107	1.105	0.5094	0.3659	75.82	66.89
6	3 S-E	2.848	2.061	0.6667	0.8527	76.59	58.63
8	4	2.642	1.476	0.068	0.050	97.43	96.61
8	4 S-E	3.338	2.585	0.078	0.073	97.66	97.18
8	3	3.523	1.968	0.091	0.067	97.42	96.60
8	3 S-E	4.451	3.446	0.105	0.979	97.64	71.59
10	4	3.903	2.428	0.0766	0.0645	98.04	97.34
10	4 S-E	4.724	3.936	0.0936	0.0101	98.02	99.74
10	3	5.204	3.238	0.1014	0.0854	98.05	97.36
10	3 S-E	6.298	5.248	0.1248	0.1347	98.02	97.43
12	4	5.130	3.460	0.8580	0.8200	83.27	76.30
12	4 S-E	6.239	5.436	0.1090	0.1331	98.25	97.55
12	3	6.841	4.613	0.1144	0.1093	98.33	97.63
12	3 S-E	8.319	7.248	0.1453	0.1775	98.25	97.55

Nota. Comparación de desplazamientos con y sin aislación. Elaboración propia, realizado con Word.

Con estos resultados se evidencia que las reducciones en los desplazamientos logrados alcanzan su máximo desempeño cuando el modelo cuenta con 10 niveles de altura y se encuentra aislado.

También se observa que al igual que para el caso sin aislación, la consideración de la interacción suelo-estructura, promueve mayores desplazamientos en los muros de la estructura sobre el sistema de aislación.

Es importante señalar que un patrón encontrado en el comportamiento estructural, cuando se consideró la interacción suelo-estructura, fue que los desplazamientos horizontales en los aisladores se redujeron con respecto al mismo modelo considerando una base rígida. Este fenómeno se debe a que con la consideración de la interacción suelo-estructura, se provee de un amortiguamiento adicional en el suelo que reduce la fuerza horizontal para la activación del sistema de aislación. Estos desplazamientos fueron:

Tabla 62.

Desplazamiento horizontal de los aisladores

Número de niveles	R aplicado	Desplazamiento del aislador (mm)		Reducción
		Con base rígida	Interacción suelo - estructura	
6	4	180.55	168.07	6.91 %
8	4	157.92	155.74	1.38 %
10	4	144.39	142.78	1.12 %
12	4	137.54	135.92	1.18 %

Nota. Comparación de desplazamiento horizontal de los aisladores. Elaboración propia, realizado con Word.

En este ejercicio hay que resaltar que, de aplicarse un $R=3$, hay que ajustar la capacidad de desplazamiento del sistema de aislación elevando su rigidez y, por lo tanto, reduciendo su amortiguamiento. Esto debe hacerse porque la capacidad de desplazamiento de los aisladores, que es solo de 200 mm, se vería sobrepasada para los modelos con 6 y 8 niveles.

En la comparación de las derivas para los distintos niveles y considerando variaciones entre R=4 y R=3, con y sin considerar la interacción suelo estructura, se tuvo lo siguiente:

Tabla 63.

Comparación de derivas

Cantidad de niveles	R utilizado (S-E = interacción suelo estructura)	Sin aislación		Con aislación		Reducción en X (%)	Reducción en Y (%)
		Deriva en X	Deriva en Y	Deriva en X	Deriva en Y		
4	4	0.00252	0.00122	-	-	-	-
4	4 S-E	0.00356	0.00267	-	-	-	-
4	3	0.00210	0.00102	-	-	-	-
4	3 S-E	0.00296	0.00222	-	-	-	-
6	4	0.00483	0.00250	0.00147	0.00099	69.57	60.40
6	4 S-E	0.00604	0.00413	0.00181	0.00195	70.03	52.78
6	3	0.00399	0.00206	0.00122	0.00082	69.42	60.19
6	3 S-E	0.00503	0.00344	0.00151	0.00163	69.98	52.62
8	4	0.00605	0.00334	0.00022	0.00013	96.36	96.11
8	4 S-E	0.00712	0.00526	0.00024	0.00018	96.63	96.58
8	3	0.00504	0.00278	0.00018	0.00011	96.43	96.04
8	3 S-E	0.00594	0.00438	0.00020	0.00015	96.63	96.58
10	4	0.00732	0.00444	0.00022	0.00014	96.99	96.85
10	4 S-E	0.00832	0.00650	0.00024	0.00019	97.12	97.08
10	3	0.00610	0.00370	0.00018	0.00011	97.05	97.03
10	3 S-E	0.00693	0.00542	0.00020	0.00016	97.11	97.05
12	4	0.00816	0.00531	0.00022	0.00014	97.30	97.36
12	4 S-E	0.00914	0.00754	0.00025	0.00021	97.26	97.21
12	3	0.00669	0.00441	0.00018	0.00012	97.31	97.28
12	3 S-E	0.00762	0.00627	0.00021	0.00017	97.24	97.29

Nota. Comparación de derivas con y sin aislación. Elaboración propia, realizado con Word.

Estos resultados evidencian que las reducciones en las derivas logradas alcanzan su máximo desempeño cuando el modelo cuenta con 10 niveles de altura y se encuentra aislado. No se tomó en cuenta el resultado del modelo con 12 niveles de altura, porque ya requiere un cambio en las dimensiones de los dispositivos.

5.4. Revisión del amortiguamiento efectivo del sistema basal

Lo ideal en un sistema de aislamiento es alcanzar un periodo fundamental de entre 2 y 3 segundos. Considerando la alta rigidez del sistema estructural de muros de ductilidad limitada, se tomó como objetivo alcanzar al menos 2 segundos para un D_M de 200 mm (D_M máximo del aislador comercial de 405 mm de DIS).

Despejando k_M de la fórmula 41 y considerando el modelo con 6 niveles, tenemos que se necesita una rigidez efectiva en el sistema de $K_M = 40.1$ kN/mm.

Tomando un ciclo histerético idealizado, $K_M = F/D_M$, entonces la fuerza para el D_M de 200 mm es 8,020 kN. Esto implica que cada aislador debe alcanzar el desplazamiento máximo con una fuerza F de $8,020/224 = 35.80$ kN.

Esta fuerza de desplazamiento, relativamente pequeña, imposibilita la capacidad de poder construirlo (esto dentro de las especificaciones de DIS). Eliminar completamente el núcleo de plomo (donde se alcanza la menor F), implica que la mayor rigidez del caucho (70 kN), no es capaz de limitar el desplazamiento del aislador.

Los aisladores de elastoméricos de alto rendimiento (sin núcleo de plomo), con el menor diámetro encontrado en los catálogos fue de 350 mm (fabricado por

TENSA), pero su rigidez horizontal K_{eff} es mayor (0.51 kN/mm) y su capacidad de desplazamiento de tan solo 125 mm, que comparados con el K_{eff} de 0.33 kN/mm y la capacidad de desplazamiento de 200 mm, del aislador con núcleo de plomo de 405 mm de diámetro diseñado de acuerdo a las especificaciones de Dynamic Isolator Systems, resultó ser la opción más favorable.

Para cada uno de los casos de amortiguamiento efectivo, corresponde un factor amortiguamiento del sistema B_M . Este amortiguamiento está dado por la ecuación 40, y sus valores fueron:

Tabla 64.
Amortiguamiento efectivo y factor de amortiguamiento

	Para D = 160.861 (kN*mm)	Para D = 167.55 (kN*mm)	Para D = 200.4 (kN*mm)	Para D = 199.25 (kN*mm)
β_M	23.04 %	25.84 %	17.96 %	18.11 %
B_M	1.56	1.62	1.44	1.44

Nota. Amortiguamiento efectivo y factor de amortiguamiento. Elaboración propia, realizado con Word.

Por lo que podemos decir que, en promedio el amortiguamiento efectivo del sistema de aislación fue de 21.23 %, al que correspondió un factor de amortiguamiento de 1.52.

De acuerdo con experiencia en el uso de aisladores con núcleo de plomo, el amortiguamiento alcanzado debería estar entre 25 y 30 %, por lo que, a pesar de haberse optimizado el diseño de los aisladores, no se logró alcanzar parámetros de amortiguamiento más efectivos. A diferencia del edificio de 6 niveles que se diseñó, los resultados para los casos con 8, 10 y 12 cm obtuvieron

mejores porcentajes de amortiguación, llegando cerca del 30 % para el caso con 10 niveles de altura.

Para el caso de 10 niveles, incluso, se alcanzó un periodo de 2 segundos, lo que concuerda con el diseño de sistemas óptimos de aislación basal.

5.5. Revisión del periodo fundamental

El periodo fundamental calculado en el método de la fuerza lateral fue de 1.29 y 1.39 segundos, mientras que los del análisis modal fueron 1.574 y 1.567 (ver tabla 65), por lo que, considerando el periodo fundamental para el caso sin aislamiento estático de 0.397 segundos y dinámicos de 0.293 y 0.207, se obtuvo un incremento entre 3.25 y 7.57 veces ese periodo. En la siguiente tabla se observa este detalle:

Tabla 65.

Incremento del periodo fundamental

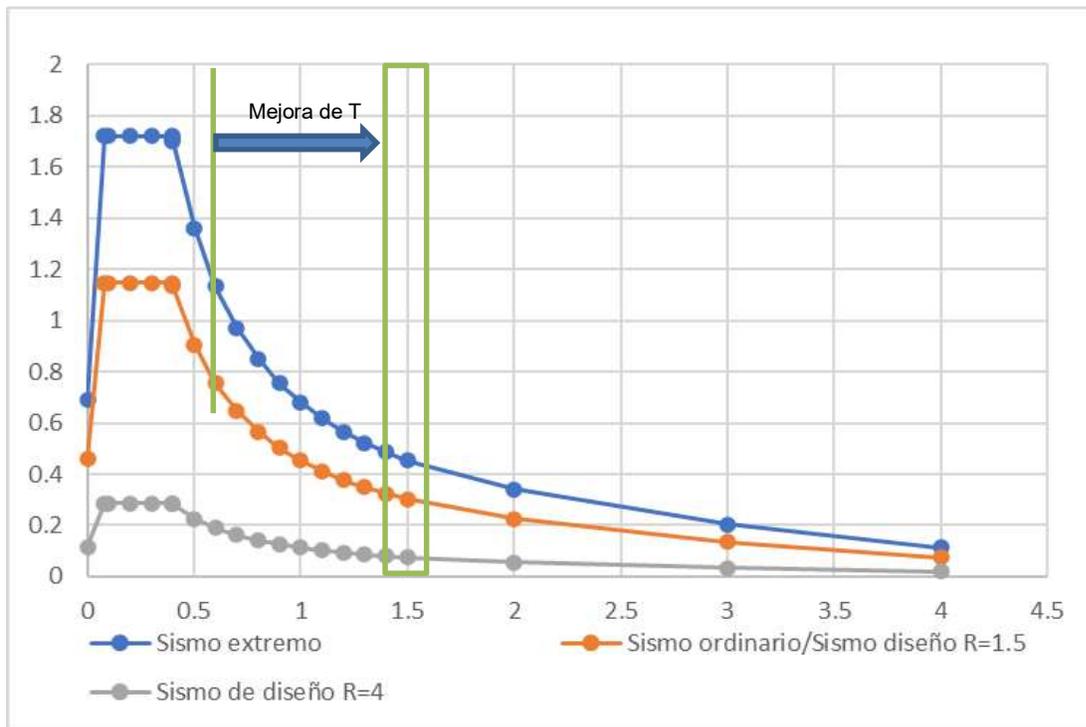
Sentido	T _{aislado} (seg)	T _{no aislado} (seg)	Incremento
X	1.290	0.397 seg	3.25
Y	1.390	0.397 seg	3.50
X	1.574	0.293 seg	5.37
Y	1.567	0.207 seg	7.57

Nota. Incremento del periodo fundamental. Elaboración propia, realizado con Word.

La figura 67, también muestra esta mejora en forma gráfica.

Figura 67.

Ampliación lograda del periodo fundamental



Nota. Ampliación del periodo fundamental. Elaboración propia, realizado con Excel.

Lo que los casos mostraron, fue que a medida que las fuerzas resultantes sobre los aisladores se incrementan, también es posible mejorar el desempeño que el sistema de aislación debe proveer a la estructura superior, pudiendo alcanzar como mínimo los 2 segundos en el periodo fundamental, lo cual se logró para el modelo con 10 niveles de altura.

Tabla 66.*Comparación de periodos dinámicos alcanzados*

Cantidad de niveles	R utilizado (S-E = interacción suelo estructura)	Sin aislación		Con aislación		Ampliación del periodo	
		T en X	T en Y	T en X	T en Y	T en X	T en Y
4	4	0.175	0.122	-	-	-	-
4	4 S-E	0.241	0.219	-	-	-	-
4	3	0.175	0.122	-	-	-	-
4	3 S-E	0.241	0.219	-	-	-	-
6	4	0.293	0.207	1.574	1.567	5.37	7.57
6	4 S-E	0.378	0.322	1.61	1.604	4.26	4.98
6	3	0.293	0.207	1.574	1.567	5.37	7.57
6	3 S-E	0.378	0.322	1.61	1.604	4.26	4.98
8	4	0.430	0.313	1.813	1.799	4.22	5.75
8	4 S-E	0.541	0.473	1.866	1.858	3.45	3.93
8	3	0.430	0.313	1.813	1.799	4.22	5.75
8	3 S-E	0.541	0.473	1.866	1.858	3.45	3.93
10	4	0.579	0.436	2.01	2.00	3.47	4.59
10	4 S-E	0.716	0.641	2.08	2.07	2.91	3.23
10	3	0.579	0.436	2.01	2.00	3.47	4.59
10	3 S-E	0.716	0.641	2.08	2.07	2.91	3.23
12	4	0.724	0.563	2.187	2.172	3.02	3.86
12	4 S-E	0.898	0.820	2.263	2.263	2.52	2.76
12	3	0.724	0.563	2.187	2.172	3.02	3.86
12	3 S-E	0.898	0.820	2.263	2.263	2.52	2.76

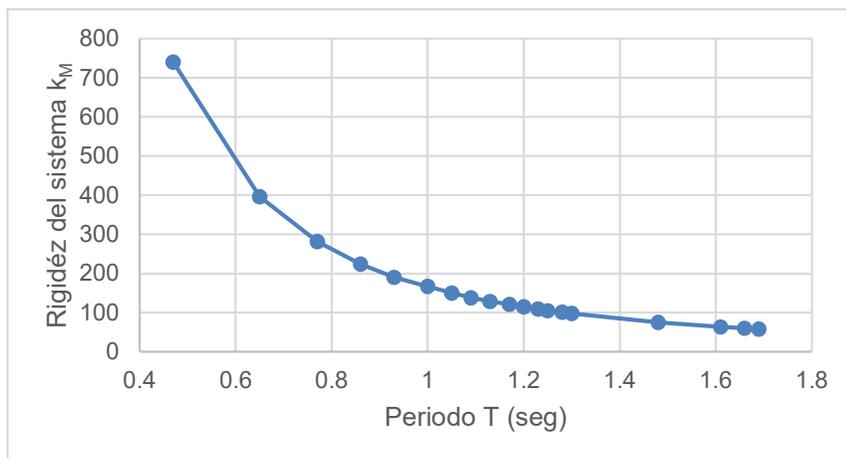
Nota. Comparación de periodos dinámicos alcanzados. Elaboración propia, realizado con Word.

5.5.1. Justificación para el periodo fundamental

La clave para ampliar los periodos de aceleración depende del manejo de una baja rigidez del sistema de aislación. En la siguiente figura se observa el comportamiento obtenido para el sistema de aislación diseñado en este caso de estudio.

Figura 68.

Periodo T vs rigidez del sistema k_M



Nota. Gráfico periodo vs rigidez del sistema. Elaboración propia, realizado con Excel.

Debido a la alta cantidad de dispositivos que el sistema de aislación posee, la fuerza horizontal sobre cada uno de ellos resultó ser baja y, por lo tanto, para lograr la mayor eficiencia de disipación de energía, se debía reducir al máximo la rigidez del sistema. A menor rigidez, se requiere una menor fuerza para lograr el desplazamiento deseado y, por lo tanto, una ampliación del periodo.

Para un aislador con núcleo de plomo, esa rigidez depende del factor de rigidez horizontal K_d y del valor de su resistencia característica Q_d . Sin embargo,

si se observa la curva de histéresis de un aislador, resalta el hecho de que Q_d notoriamente influye en la fuerza de fluencia F_y del núcleo de plomo.

Lo anterior permite que el diseñador determine a partir de qué fuerza horizontal desea que el dispositivo logre los mayores desplazamientos (pues se logra la fluencia del plomo).

Una vez alcanzada esa fuerza F_y , la capacidad de desplazamiento depende del factor de rigidez horizontal/plástica, la cual depende del área y del módulo de corte del caucho.

Para el caso de estudio con 6 niveles de altura, lograr una baja rigidez pasaba principalmente por el hecho de contar con aisladores pequeños, pero con una alta capacidad de desplazamientos, sin embargo, con los dispositivos disponibles en catálogos de Dynamic Isolator Systems esto no fue posible (los aisladores más pequeños de otros fabricantes como MAGEBA, Bridgestone, Tensa, Maurer son más rígidos a los que se utilizaron. Ver anexo).

De esa cuenta, se optimizó el diseño para lograr el k_d mínimo en los dispositivos de 405 mm de diámetro (prueba de esa optimización es el desplazamiento logrado y su baja rigidez).

El Q_d se calculó para una fuerza horizontal de 23.76 kN, que es la capacidad obtenida para un núcleo de plomo de 55 mm y un módulo de corte de 10 N/mm². Con este Q_d , el F_y de los dispositivos fue de 26.4 kN, que como se indicó en los párrafos anteriores, con el tamaño disponible en los catálogos de aisladores, ya no fue posible inducir menores rigideces para la ampliación del periodo.

Prueba de esa adaptación fue que, al considerar la misma edificación, pero con 4 niveles de altura, el sistema de aislación dejó de cumplir una función de protección y mejora en el desempeño estructural.

5.5.2. Revisión del Cs de diseño para determinar el Cs de activación

En términos de carga lateral, el sistema de aisladores para el modelo con 6 niveles de altura no se activará con eventos que presenten coeficiente sísmico menor o igual a 0.175. Esto puede ser muy significativo, ya que los muros de la estructura aislada han sido diseñados con un Cs de 0.225.

Se debe garantizar que el sistema de aislación proteja a la estructura superior de daños provocados por alcanzar su Cs de activación antes que el Cs de diseño.

Tabla 67.

Resumen de Cs de diseño

Número de niveles	Coeficiente sísmico
4	0.267
6	0.225
8	0.204
10	0.192
12	0.186

Nota. Resumen del coeficiente sísmico de diseño. Elaboración propia, realizado con Word.

Esta consideración debe tomarse en cuenta en cualquier sistema de aislación, para que efectivamente se constituya en el sistema de protección que se busca obtener para la estructura superior.

5.6. Comparación de concreto y acero de refuerzo entre modelos

A continuación, se presenta una aproximación del volumen de concreto que se utilizó en muros y losas para la estructura sin aislación con respecto al modelo aislado. Posteriormente, se estima el mismo ejercicio con las toneladas de acero requeridas para comparar resultados.

En la tabla 68 se observa que la optimización de secciones para el caso aislado de los modelos E2-BD, tiene una tendencia de ahorro del 10.21 % en volumen de concreto cuando se consideran los muros y losas, lo cual ya es significativo.

Tabla 68.

Comparación de volúmenes de concreto requeridos

Espesor de muros (cm)	Volumen sin aislación (m ³)				Volumen con aislación (m ³)			
	Niveles				Niveles			
	6	8	10	12	6	8	10	12
12 y 14	243.24	243.24	243.24	243.24	224.55	224.55	224.55	224.55
12 y 14	245.23	245.23	245.23	245.23	226.55	226.55	226.55	226.55
12 y 14				245.23				226.55
12 y 14				245.23				226.55
16	277.7	277.7	277.7	277.7	238.53	238.53	238.53	238.53
16	277.7	277.7	277.7	277.7	238.53	238.53	238.53	238.53
16			277.7	277.7			238.53	238.53
16			277.7	277.7			238.53	238.53
18	270.55	270.55	270.55	270.55	254.54	254.54	254.54	254.54
18		270.55	270.55	270.55		254.54	254.54	254.54

Continuación de la tabla 68.

Espesor de muros (cm)	Volumen sin aislación (m ³)				Volumen con aislación (m ³)			
	Niveles				Niveles			
	6	8	10	12	6	8	10	12
18		270.55	270.55	270.55		254.54	254.54	254.54
18	296.27	296.27	296.27	296.27	254.54	254.54	254.54	254.54
Suma	1610.69	2151.79	2707.19	3197.65	1437.24	1946.32	2423.38	2876.48
				Reducción	10.77 %	9.55 %	10.48 %	10.04 %
				Promedio		10.21 %		

Nota. Comparación de volúmenes de concreto requeridos. Elaboración propia, realizado con Word.

Por otro lado, si se considera el precio del metro cúbico de concreto considerando la disminución de resistencias que se necesita en la estructura aislada, se obtiene un ahorro de alrededor un 14.59 %, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 69.

Comparación de costos de concretos requeridos

Espesor de muros (cm)	Costo concreto modelos sin aislación (Q)				Costo concreto modelos con aislación (Q)			
	Niveles				Niveles			
	6	8	10	12	6	8	10	12
12 y 14	284104	284104	284104	284104	247454	247454	247454	247454
12 y 14	286429	286429	286429	286429	249658	249658	249658	249658
12 y 14	0	0	0	286429	0	0	0	249658
12 y 14	0	0	0	286429	0	0	0	249658
16	330463	330463	330463	330463	262860	262860	262860	262860
16	330463	330463	330463	330463	262860	262860	262860	262860
16	0	0	330463	330463	0	0	262860	262860
16	0	0	330463	330463	0	0	262860	262860
18	332777	332777	332777	332777	305193	305193	305193	305193
18	0	332777	332777	332777	0	305193	305193	305193

Continuación de la tabla 69.

Espesor de muros (cm)	Costo concreto modelos sin aislación (Q)				Costo concreto modelos con aislación (Q)			
	Niveles				Niveles			
	6	8	10	12	6	8	10	12
18	0	332777	332777	332777	0	305193	305193	305193
18	364412	364412	364412	364412	305193	305193	305193	305193
Suma	1928648	2594201	3255127	3827984	1633219	2243606	2769326	3268642
				Reducción	15.32 %	13.51 %	14.92 %	14.61 %
				Promedio		14.59 %		

Nota. Comparación de costos concretos requeridos. Elaboración propia, realizado con Word.

Este resultado implica que, a mayor cantidad de concreto entre uno y otro modelo, y a mayor optimización de resistencias se obtenga, mayor es el ahorro que se obtiene en la estructura aislada. Este ahorro implica un menor costo de inversión inicial para la aislación de la estructura.

En la tabla 70 se muestran las cantidades de acero requeridas para los muros y losas, en toneladas, para cada modelo con y sin aislación basal. La tendencia encontrada es que la aislación basal reduce el volumen de acero en aproximadamente un 3.75 %. Tomando en cuenta que el precio por peso del acero permanece constante, económicamente el ahorro también redondea ese 3.75 % determinado. La poca diferencia se debe a que el acero de refuerzo en muros y losas responden principalmente a una cuantía mínima, por lo que, aunque la aislación demande una cantidad de acero inferior, la sección de los muros y losas limitan esta reducción.

Tabla 70.*Comparación toneladas de acero requerido*

Espesor de muros (cm)	Acero en modelos sin aislación (ton)				Acero en modelos con aislación (ton)			
	Niveles				Niveles			
	6	8	10	12	6	8	10	12
12 y 14	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15
12 y 14	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
12 y 14				6.98				6.98
12 y 14				6.98				6.98
16	7.45	7.45	7.45	7.45	7.21	7.21	7.21	7.21
16	7.45	7.45	7.45	7.45	7.21	7.21	7.21	7.21
16			7.45	7.45			7.21	7.21
16			7.45	7.45			7.21	7.21
18	7.95	7.95	7.95	7.95	7.45	7.45	7.45	7.45
18		7.95	7.95	7.95		7.45	7.45	7.45
18		7.95	7.95	7.95		7.45	7.45	7.45
18	8.58	8.58	8.58	8.58	7.99	7.99	7.99	7.99
Suma	45.56	61.46	76.36	90.32	43.99	58.89	73.31	87.27
				Reducción	3.45 %	4.18 %	3.99 %	3.38 %
				Promedio		3.75 %		

Nota. Comparación toneladas de acero requerido. Elaboración propia, realizado con Word.

Por lo tanto, el ahorro en concreto y acero de refuerzo al aislar una estructura, no representa una ventaja económica para promover este tipo de mecanismos en estructuras E2-BD. Sin embargo, como se mostró en este caso de estudio, su implementación mitiga la incertidumbre por demanda de ductilidad de esta tipología ante un suceso sísmico. La diferencia entre implementar el mecanismo o no, por la inversión económica inicial, puede estar en el costo por reparaciones de los daños que sufra una de estas estructuras.

CONCLUSIONES

1. La ventaja comparativa más significativa de la aislación basal está en proveer de un mecanismo alternativo para la disipación de energía sísmica que, el sistema E2-BD, no es capaz de cubrir en términos de la deformación unitaria en la fibra extrema de compresión del muro, a que es sometido durante un evento sísmico y más si se toma en cuenta el límite de deriva de 0.005 que contempla ACI para edificios rígidos.
2. El factor determinante de diseño de un sistema de aislación basal para mejorar el comportamiento estructural está en disponer de dispositivos que permitan alcanzar amortiguamientos cercanos a 30 %, lo que implica ampliar la gama de aisladores de catálogo de los fabricantes para responder a bajas cargas de edificios con pocos niveles de altura.
3. En condiciones de amortiguamiento cercanos al 30 %, el corte basal puede reducirse hasta valores alrededor del 45 % en comparación a la estructura sin aislación. Esta reducción se debe a la disminución del coeficiente sísmico que se produce por el alargamiento del periodo y a la optimización de las secciones, las cuales implican reducción del peso de la estructura aislada.
4. Las compresiones en la fibra extrema de los muros, expresadas como la demanda de uso de elementos de borde, son necesarias desde edificaciones con 4 niveles de altura, con o sin aislamiento en la base, al menos en los niveles inferiores. Los desplazamientos y las derivas se tornan críticos desde los 6 niveles de altura cuando se adopta el límite de

0.005hp, lo que no sucede con la implementación del sistema de aislación basal, que es capaz de reducirlos en más del 95 %.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el uso de muros de ductilidad especial en los primeros niveles para viabilizar el diseño de edificaciones E2-BD en pisos superiores, esto ante la demanda por deformación unitaria en la fibra extrema de compresión del muro. De acuerdo con los resultados de este estudio de caso, los desplazamientos y las derivas se tornan manejables ante la condición de una aislación basal, más no se recomienda obviar el uso de elementos de borde.
2. Ampliar la gama de dispositivos de catálogo para casos con cargas pequeñas. Algunos fabricantes de aisladores sísmicos dejan margen para el diseño de los dispositivos, sin embargo, es probable que su enfoque está dirigido a estructuras de marcos dúctiles, donde las cargas son puntuales y de mayor magnitud.
3. Lograr que el diseño del sistema de aislación basal alcance el 30 % de amortiguamiento efectivo, que es donde al aislar una estructura E2-BD se logra una reducción del corte basal y las demandas estructurales inducidas.
4. Verificar los resultados de demanda de elementos de borde con la interacción suelo estructura. El incremento de los desplazamientos y derivas pueden demandar una mayor cantidad de muros especiales y, por tanto, no necesariamente la condición de base rígida será la opción más conservadora a la hora de determinar cuáles muros deben ser diseñados como muros especiales.

REFERENCIAS

- Alonzo, L. (2022). *Edificio de apartamentos Parque San Angel* [Fotografía]. Proviviendagt. https://es-la.facebook.com/Proviviendagt/posts/hermoso-apartamento-en-renta-parque-san-angel-zona-2precio-de-renta-q425000-mant/1242700756181817/?locale=es_LA
- American Society of Civil Engineers (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-16* [Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras, ASCE/SEI 7-16] https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/california_waterfix/exhibits/docs/dd_jardins/DDJ-148%20ASCE%207-10.pdf
- Anguelova, I. I. (2020). *Estudio comparado de los métodos y dispositivos actuales orientados a amortiguar los efectos del terremoto sobre la estructura de los edificios*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia] Archivo digital. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/134376/llieva%20-%20MES-F0147%20Estudio%20comparado%20de%20los%20m%C3%A9todos%20y%20dispositivos%20actuales%20orientados%20a%20amortigu>
- Arteta, C., Blandón, C., Bonett, R. y Carrillo, J. (2018). *Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado*. Colombian earthquake engineering research network. https://www.researchgate.net/publication/340816166_Estudio_del_compo

[rtamiento sismico de edificios de muros delgados de concreto reforzado](#)

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2015). *Conceptos de Diseño Estructural. AGIES 2015*. <https://www.agies.org/bibliotecas/>

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2018). *Guía técnica DSE 7.9 Edición 2.0*. <https://www.agies.org/bibliotecas/>

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2020). *Normas de Seguridad Estructural NSE 7.9*. <https://www.agies.org/bibliotecas/>

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2022). *Normas de Seguridad Estructural NSE 7.9*. <https://www.agies.org/bibliotecas/>

Bonett, R. (2021). *Comportamiento de los edificios de muros delgados, según su estructuración*.

Botero, C. A., & Marín, F. A. (2021). *Revisión de literatura acerca de las variables que inciden en el comportamiento sísmico de muros delgados de concreto reforzado*. [Tesis de especialización, Universidad de Antioquia]. Archivo digital. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20745/1/MarinFaber_BoteroCarlos_2021_MurosDelgadosConcreto.pdf

Carrillo, J. (2021). ¿Son las mallas electrosoldadas un material sismo resistente? evidencias experimentales.

Dávila, L. (2020). *Edificio con MDL utilizando aisladores elastoméricos para la mejora del desempeño sísmico del proyecto multifamiliar Ciudad del Sol de Retablo del distrito de Comas*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Archivo digital.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24347?show=full>.

Dynamic Isolation Systems (2022). *Catálogo de aisladores sísmicos*. [Fotografía].
Dynamic Isolation Systems. http://www.dis-inc.com/pdf_files/DIS%20Seismic%20Isolation%20for%20Buildings%20and%20Bridges.pdf

Elemento (2021). *Edificio Elemento zona 13*. [Fotografía]. Elemento.
<https://www.inversen.com/property/elemento-zona-13>

Elemento (2022). *Construcción edificio con aislación sísmica*. [Fotografía].
Elemento. <https://www.facebook.com/elemento.zona13/>

FORSA (2022). *Sistema industrializado de muros de ductilidad limitada* [Fotografía].
FORSA. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/construccion-con-sistemas-industrializados>

Gálvez, A. G. (2008). *El análisis no lineal dinámico y su aplicación en la simulación de respuestas estructurales*. <https://docplayer.es/79923022-El-analisis-no-lineal-dinamico-y-su-aplicacion-en-la-simulacion-de-respuestas-estructurales.html>

Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*.

<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1213/Uso%20de%20aisladores%20y%20disipadores%20en%20estructuras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lin, Y.-S., Tagawa, H., & Chan, R. W. (2019). *A smart mechatronic base isolation system using earthquake early warning*. [sistema de aislamiento basal mecánica usada como alerta temprana de terremoto]. <https://researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/doctoral/A-smart-mechatronic-base-isolation-system-using-earthquake-early-warning/9921861861701341>

López, A., Álvarez, C. I., & Villarreal, E. (2016). Migración de fuentes sísmicas a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico. *Revista de ciencias de la vida* 25(1), 5-15. <https://www.redalyc.org/journal/4760/476051824001/html/>

MAGEBA (2022). *Aislador de alto amortiguamiento*. [Fotografía]. LASTO HDRB. <https://www.mageba-group.com/global/data/docs/es/2573/PROSPECT-LASTO-HDRB-latam-es.pdf?v=1.2>

MAGEBA (2022). *Aisladores deslizantes*. [Fotografía]. Brochure Reston Pendulum Mono y Duplo. <https://www.mageba-group.com/latam/data/docs/esBR/2575/BROCHURE-RESTON-PENDULUM-latam-es.pdf?v=1.2>

Molina, E., Villagrán, M., & Ligorria, J. P. (1996.). (s.f.). *Amenaza sísmica en Guatemala*. https://www.geo.mtu.edu/volcanoes/06upgrade/Seismicity-Rudiger/molina_etal_1996.pdf

- Ortega, R. (2020). *Comportamiento de muros delgados y esbeltos de concreto reforzado representativos de la construcción en América Latina*. Hormigón y Acero. <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2864>
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. [Diseño sísmico de edificios de concreto y mampostería reforzada]. John Wiley & Sons, Inc.
- PlaceTech (2022). *Péndulo oscilante*. [Fotografía]. Worlds Smart Buildings. <https://placetech.net/es/strategy/worlds-smartest-buildings-taipei-101-taiwan/>
- Priestley, M.J., Calvi, G.M., & kowalsky, M.J. (2007). *Displacement - Based Seismic Desing of Structures*. [Desplazamiento - diseño sísmico basado en estructuras]. <https://pdfcoffee.com/qdownload/priestley-calvi-amp-kowalsky-displacement-based-seismic-design-of-structurespdf-pdf-free.html>
- Ramírez, P., & Schüler, Ú. (2010). *Estudio de edificio de Penta revela falla que se repite en modernas torres afectadas por el terremoto*. Centro de investigaciones periodísticas. <https://www.ciperchile.cl/2010/04/07/estudio-de-edificio-de-penta-revela-la-falla-estructural-que-se-repite-en-las-modernas-torres-afectadas-por-el-terremoto/>
- René Lagos Engineers. (2010). *Edificio Regina Pacis, Revisión Estructural*. http://www.defendamoslaciudad.cl/index.php/noticias/item/download/47_d221668534244b261427f98ed659f80d

- Stolz, L. (2022). *Construcción UMG con aislación sísmica en Jocotenango* [Fotografía]. Skyscrapercity.
<https://www.skyscrapercity.com/threads/campus-universidad-mariano-g%C3%81lvez-jocotenango-sacatepequez.2188506/>
- Tena, A. (14 de octubre de 2019). Normatividad propuesta para aislamiento sísmico en México en suelos firmes. Aspectos a considerar en suelos blandos. *III Congreso Sistemas de Control de Respuesta Sísmica*, San Salvador, El Salvador.
[https://www.researchgate.net/publication/343893647 Normatividad propuesta para aislamiento sismico en Mexico en suelos firmes Aspectos a considerar en suelos blandos](https://www.researchgate.net/publication/343893647_Normatividad_propuesta_para_aislamiento_sismico_en_Mexico_en_suelos_firmes_Aspectos_a_considerar_en_suelos_blandos)
- Vélez, J. C., Blandón, C. A., Bonett, R., Arteta, C., Carrillo, J., Almeida, J., & Beyer, K. (2017). *Ensayos cuasi-estáticos cíclicos de muros delgados de concreto*. <https://infoscience.epfl.ch/record/229196>

APÉNDICES

Apéndice 1.

Cálculo de espesores de muros en X. Diseño inicial caso sin aislación

Nomenclatura	Longitud	11.1.4-1	11.2.2-1	11.2.3-2	camas	11.1.5-1	Rotación	Factor de	11.2.3-1	Mayor T_w	espesor
del	del muro,	$T_w = 0.01 \cdot N + 0.05 \geq 0.10 \text{ m}$	$T_w \geq T_{pe} = H_p/25$	$L_{wp} = 1.6 \cdot H_p \leq L_w$	De	$A_s = H_p/L_w \leq 16$	plástica θ	agrietamiento	$T_{pp} = L_{wp} \cdot \sqrt{6/65G}$	calculado	T_w a utilizar
muro	L_w (m)	$T_{w \text{ min}}$ (m)	T_{pe} (m)	L_{wp} (m)	Refuerzo	A_s	según A_s	G	T_{pe} (m)	T_w (m)	(m)
A12	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
A22	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
B3	2.50	0.11	0.12	2.50	2	6.52	4.58	0.9	0.09	0.12	0.12
B7	2.80	0.11	0.12	2.80	2	5.82	4.36	0.9	0.10	0.12	0.12
B16	3.10	0.11	0.12	3.10	2	5.26	4.36	0.9	0.11	0.12	0.12
B26	2.80	0.11	0.12	2.80	2	5.82	4.36	0.9	0.10	0.12	0.12
B29	2.50	0.11	0.12	2.50	2	6.52	4.58	0.9	0.09	0.12	0.12
C1	1.60	0.11	0.12	1.60	2	10.19	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
C33	1.60	0.11	0.12	1.60	2	10.19	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
D10	1.30	0.11	0.12	1.30	2	12.54	5.34	0.9	0.05	0.12	0.12
D14	1.30	0.11	0.12	1.30	2	12.54	5.34	0.9	0.05	0.12	0.12
D20	1.30	0.11	0.12	1.30	2	12.54	5.34	0.9	0.05	0.12	0.12
D24	1.30	0.11	0.12	1.30	2	12.54	5.34	0.9	0.05	0.12	0.12
E2	1.50	0.11	0.12	1.50	2	10.87	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
E5	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
E9	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
E13	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
E16	2.50	0.11	0.12	2.50	2	6.52	4.58	0.9	0.09	0.12	0.12
E19	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
E23	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
E28	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
E32	1.50	0.11	0.12	1.50	2	10.87	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
F1	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
F12	2.70	0.11	0.12	2.70	2	6.04	4.58	0.9	0.10	0.12	0.12
F19	2.70	0.11	0.12	2.70	2	6.04	4.58	0.9	0.10	0.12	0.12
F33	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
G1	2.70	0.11	0.12	2.70	2	6.04	4.58	0.9	0.10	0.12	0.12
G8	2.90	0.11	0.12	2.90	2	5.62	4.36	0.9	0.10	0.12	0.12
G16	9.70	0.11	0.12	4.64	2	1.68	2.8	0.9	0.13	0.13	0.14
G24	2.90	0.11	0.12	2.90	2	5.62	4.36	0.9	0.10	0.12	0.12
G32	2.70	0.11	0.12	2.70	2	6.04	4.58	0.9	0.10	0.12	0.12
H2	1.50	0.11	0.12	1.50	2	10.87	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
H15	3.90	0.11	0.12	3.90	2	4.18	4.11	0.9	0.14	0.14	0.14
H28	3.90	0.11	0.12	3.90	2	4.18	4.11	0.9	0.14	0.14	0.14
H31	1.50	0.11	0.12	1.50	2	10.87	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
I1	2.70	0.11	0.12	2.70	2	6.04	4.58	0.9	0.10	0.12	0.12
I9	2.90	0.11	0.12	2.90	2	5.62	4.36	0.9	0.10	0.12	0.12
I15	1.85	0.11	0.12	1.85	2	8.81	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
I24	2.90	0.11	0.12	2.90	2	5.62	4.36	0.9	0.10	0.12	0.12

Continuación del apéndice 1.

Nomenclatura	Longitud	11.1.4-1	11.2.2-1	11.2.3-2	camas	11.1.5-1	Rotación	Factor de	11.2.3-1	Mayor T_w	espesor
del	del muro,	$T_w = 0.01 \cdot N + 0.05 \geq 0.10 \text{ m}$	$T_w \geq T_{pe} = Hp/25$	$L_{wp} = 1.8 \cdot Hp \leq L_w$	De	$A_r = H_w/L_w \leq 16$	plástica θ	agrietamiento	$T_{pp} = L_{wp} \cdot \sqrt{0.65G}$	calculado	T_w a utilizar
muro	L_w (m)	$T_{w \text{ min}}$ (m)	T_{pe} (m)	L_{wp} (m)	Refuerzo	A_r	según A_r	G	T_{pp} (m)	T_w (m)	(m)
I32	2.70	0.11	0.12	2.70	2	6.04	4.58	0.9	0.10	0.12	0.12
J1	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
J33	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
K2	1.50	0.11	0.12	1.50	2	10.87	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
K5	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
K28	2.30	0.11	0.12	2.30	2	7.09	4.75	0.9	0.09	0.12	0.12
K32	1.50	0.11	0.12	1.50	2	10.87	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
L7	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
L13	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
L20	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
L26	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
M1	1.60	0.11	0.12	1.60	2	10.19	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
M14	1.85	0.11	0.12	1.85	2	8.81	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
M28	2.20	0.11	0.12	2.20	2	7.41	4.75	0.9	0.08	0.12	0.12
M33	1.60	0.11	0.12	1.60	2	10.19	5.15	0.9	0.06	0.12	0.12
N3	2.50	0.11	0.12	2.50	2	6.52	4.58	0.9	0.09	0.12	0.12
N29	2.50	0.11	0.12	2.50	2	6.52	4.58	0.9	0.09	0.12	0.12
O8	2.05	0.11	0.12	2.05	2	7.95	4.75	0.9	0.08	0.12	0.12
O11	2.05	0.11	0.12	2.05	2	7.95	4.75	0.9	0.08	0.12	0.12
O21	2.05	0.11	0.12	2.05	2	7.95	4.75	0.9	0.08	0.12	0.12
O25	2.05	0.11	0.12	2.05	2	7.95	4.75	0.9	0.08	0.12	0.12

Nota. Cálculo de espesores de muros. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 2.

Cálculo de espesores de muros en Y. Diseño inicial caso sin aislación

Nomenclatura	Longitud	11.1.4-1	11.2.2-1	11.2.3-2	camas	11.1.5-1	Rotación	Factor de	11.2.3-1	Mayor T_w	espesor
del	del muro,	$T_w = 0.01 \cdot N + 0.05 \geq 0.10 \text{ m}$	$T_w \geq T_{pe} = Hp/25$	$L_{wp} = 1.8 \cdot Hp \leq L_w$	de	$A_r = H_w/L_w \leq 16$	plástica θ	agrietamiento	$T_{pp} = L_{wp} \cdot \sqrt{0.65G}$	calculado	T_w a utilizar
muro	L_w (m)	$T_{w \text{ min}}$ (m)	T_{pe} (m)	L_{wp} (m)	refuerzo	A_r	según A_r	G	T_{pp} (m)	T_w (m)	(m)
1C	3.50	0.11	0.12	3.50	2	4.66	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
1L	3.80	0.11	0.12	3.80	2	4.29	4.11	0.9	0.13	0.13	0.14
2B	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
2F	5.00	0.11	0.12	4.64	2	3.26	3.79	0.9	0.15	0.15	0.16
2N	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
3F	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
3K	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
4B	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
4N	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
5F	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
5J	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
6B	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
6N	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
7B	6.00	0.11	0.12	4.64	2	2.72	3.39	0.9	0.15	0.15	0.16

Continuación del apéndice 2.

Nomenclatura del muro	Longitud del muro, L_w (m)	11.1.4-1 $T_w = 0.01 \cdot N + 0.05 \geq 0.10$ m T_w min (m)	11.2.2-1 $T_w \geq T_{pe} = H_p/25$ T_w (m)	11.2.3-2 $L_{wp} = 1.8 \cdot H_p \leq L_w$ L_{wp} (m)	camas de refuerzo	11.1.5-1 $A_r = H_w/L_w \leq 16$ A_r	Rotación plástica θ según A_r	Factor de agrietamiento G	11.2.3-1 $T_{pp} = L_{wp} \cdot \sqrt{0.65G}$ T_{pp} (m)	Mayor T_w calculado	espesor T_w a utilizar (m)
7J	6.90	0.11	0.12	4.64	2	2.36	3.39	0.9	0.15	0.15	0.16
8K	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
9O	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
10A	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
10E	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
11O	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
12A	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
12E	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
13K	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
14A	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
14J	6.90	0.11	0.12	4.64	2	2.36	3.39	0.9	0.15	0.15	0.16
15E	1.40	0.11	0.12	1.40	2	11.64	5.25	0.9	0.05	0.12	0.12
16N	1.40	0.11	0.12	1.40	2	11.64	5.25	0.9	0.05	0.12	0.12
17B	6.00	0.11	0.12	4.64	2	2.72	3.39	0.9	0.15	0.15	0.16
18N	3.20	0.11	0.12	3.20	2	5.09	4.36	0.9	0.11	0.12	0.12
19E	1.40	0.11	0.12	1.40	2	11.64	5.25	0.9	0.05	0.12	0.12
20A	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
20J	6.90	0.11	0.12	4.64	2	2.36	3.39	0.9	0.15	0.15	0.16
21K	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
22A	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
22E	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
23O	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
24A	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
24E	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
25O	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
26K	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
27B	6.00	0.11	0.12	4.64	2	2.72	3.39	0.9	0.15	0.15	0.16
27M	6.90	0.11	0.12	4.64	2	2.36	3.39	0.9	0.15	0.15	0.16
28B	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
28N	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
29F	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
29K	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
30B	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
30N	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
31F	1.90	0.11	0.12	1.90	2	8.58	4.9	0.9	0.07	0.12	0.12
31K	1.80	0.11	0.12	1.80	2	9.06	5.04	0.9	0.07	0.12	0.12
32B	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
32F	5.00	0.11	0.12	4.64	2	3.26	3.79	0.9	0.15	0.15	0.16
32N	3.40	0.11	0.12	3.40	2	4.79	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
33C	3.50	0.11	0.12	3.50	2	4.66	4.11	0.9	0.12	0.12	0.12
33L	3.80	0.11	0.12	3.80	2	4.29	4.11	0.9	0.13	0.13	0.14

Nota. Cálculo de espesores de muros. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 3.

Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en X

Nomenclatura del Muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	4.5.1-1 (b)	Estimación del corte	
					Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	$T_w * L_w^2$	$\frac{T_w * L_w^2}{\Sigma T_w * L_w^2}$
A12	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
A22	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
B3	2.50	0.12	intermedio	0.30	0.30	0.750	1.51 %
B7	2.80	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.941	1.89 %
B16	3.10	0.12	intermedio	0.37	0.37	1.153	2.32 %
B26	2.80	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.941	1.89 %
B29	2.50	0.12	intermedio	0.30	0.30	0.750	1.51 %
C1	1.60	0.12	esbelto	0.19	0.19	0.307	0.62 %
C33	1.60	0.12	esbelto	0.19	0.19	0.307	0.62 %
D10	1.30	0.12	esbelto	0.16	0.16	0.203	0.41 %
D14	1.30	0.12	esbelto	0.16	0.16	0.203	0.41 %
D20	1.30	0.12	esbelto	0.16	0.16	0.203	0.41 %
D24	1.30	0.12	esbelto	0.16	0.16	0.203	0.41 %
E2	1.50	0.12	esbelto	0.18	0.18	0.270	0.54 %
E5	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
E9	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
E13	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.87 %
E16	2.50	0.12	intermedio	0.30	0.30	0.750	1.51 %
E19	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.87 %
E23	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
E28	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
E32	1.50	0.12	esbelto	0.18	0.18	0.270	0.54 %
F1	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.87 %
F12	2.70	0.12	intermedio	0.32	0.32	0.875	1.76 %
F19	2.70	0.12	intermedio	0.32	0.32	0.875	1.76 %
F33	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.87 %
G1	2.70	0.12	intermedio	0.32	0.32	0.875	1.76 %
G8	2.90	0.12	intermedio	0.35	0.35	1.009	2.03 %
G16	9.70	0.14	muy corto	1.36	1.36	13.173	26.44 %
G24	2.90	0.12	intermedio	0.35	0.35	1.009	2.03 %
G32	2.70	0.12	intermedio	0.32	0.32	0.875	1.76 %
H2	1.50	0.12	esbelto	0.18	0.18	0.270	0.54 %
H15	3.90	0.14	intermedio	0.55	0.55	2.129	4.27 %
H28	3.90	0.14	intermedio	0.55	0.55	2.129	4.27 %
H31	1.50	0.12	esbelto	0.18	0.18	0.270	0.54 %
I1	2.70	0.12	intermedio	0.32	0.32	0.875	1.76 %
I9	2.90	0.12	intermedio	0.35	0.35	1.009	2.03 %
I15	1.85	0.12	intermedio	0.22	0.22	0.411	0.82 %
I24	2.90	0.12	intermedio	0.35	0.35	1.009	2.03 %
I32	2.70	0.12	intermedio	0.32	0.32	0.875	1.76 %
J1	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.87 %
J33	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.87 %
K2	1.50	0.12	esbelto	0.18	0.18	0.270	0.54 %
K5	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
K28	2.30	0.12	intermedio	0.28	0.28	0.635	1.27 %
K32	1.50	0.12	esbelto	0.18	0.18	0.270	0.54 %
L7	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.78 %

Continuación del apéndice 3.

Nomenclatura del Muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	4.5.1-1 (b)		Estimación del corte	
				Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	$T_w * L_w^2$	$\frac{T_w * L_w^2}{\Sigma T_w * L_w^2}$
L13	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.78 %
L20	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.78 %
L26	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.78 %
M1	1.60	0.12	esbelto	0.19	0.19	0.307	0.62 %
M14	1.85	0.12	intermedio	0.22	0.22	0.411	0.82 %
M28	2.20	0.12	intermedio	0.26	0.26	0.581	1.17 %
M33	1.60	0.12	esbelto	0.19	0.19	0.307	0.62 %
N3	2.50	0.12	intermedio	0.30	0.30	0.750	1.51 %
N29	2.50	0.12	intermedio	0.30	0.30	0.750	1.51 %
O8	2.05	0.12	intermedio	0.25	0.25	0.504	1.01 %
O11	2.05	0.12	intermedio	0.25	0.25	0.504	1.01 %
O21	2.05	0.12	intermedio	0.25	0.25	0.504	1.01 %
O25	2.05	0.12	intermedio	0.25	0.25	0.504	1.01 %

Nota. Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en X. Diseño inicial caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 4.

Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en Y

Nomenclatura del muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	4.5.1-1 (b)		Estimación del corte	
				Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	$T_w * L_w^2$	$\frac{T_w * L_w^2}{\Sigma T_w * L_w^2}$
1C	3.50	0.12	intermedio	0.42	0.42	1.470	1.44 %
1L	3.80	0.14	intermedio	0.53	0.53	2.022	1.99 %
2B	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
2F	5.00	0.16	corto	0.80	0.80	4.000	3.93 %
2N	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
3F	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
3K	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %
4B	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
4N	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
5F	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
5J	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %
6B	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
6N	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
7B	6.00	0.16	corto	0.96	0.96	5.760	5.66 %
7J	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	7.49 %
8K	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
9O	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
10A	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
10E	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %

Continuación del apéndice 4.

Nomenclatura del muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	4.5.1-1 (b)	Estimación del corte	
					Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	$T_w * L_w^2$	$\frac{T_w * L_w^2}{\Sigma T_w * L_w^2}$
11O	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
12A	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
12E	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %
13K	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
14A	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
14J	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	7.49 %
15E	1.40	0.12	esbelto	0.17	0.17	0.235	0.23 %
16N	1.40	0.12	esbelto	0.17	0.17	0.235	0.23 %
17B	6.00	0.16	corto	0.96	0.96	5.760	5.66 %
18N	3.20	0.12	intermedio	0.38	0.38	1.229	1.21 %
19E	1.40	0.12	esbelto	0.17	0.17	0.235	0.23 %
20A	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
20J	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	7.49 %
21K	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
22A	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
22E	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %
23O	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
24A	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
24E	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %
25O	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
26K	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
27B	6.00	0.16	corto	0.96	0.96	5.760	5.66 %
27M	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	7.49 %
28B	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
28N	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
29F	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
29K	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %
30B	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
30N	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
31F	1.90	0.12	intermedio	0.23	0.23	0.433	0.43 %
31K	1.80	0.12	esbelto	0.22	0.22	0.389	0.38 %
32B	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
32F	5.00	0.16	corto	0.80	0.80	4.000	3.93 %
32N	3.40	0.12	intermedio	0.41	0.41	1.387	1.36 %
33C	3.50	0.12	intermedio	0.42	0.42	1.470	1.44 %
33L	3.80	0.14	intermedio	0.53	0.53	2.022	1.99 %

Nota. Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en Y. Diseño inicial caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 5.

Clasificación y cálculo de área de muros, según A_r en la dirección X

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
18	esbelto $9 < A_r \leq 16$	3.34	0.20
41	intermedio $4 < A_r \leq 9$	12.24	0.72
0	corto $2 < A_r \leq 4$	0.00	0.00
1	muy corto $A_r \leq 2$	1.36	0.08

Nota. Clasificación y cálculo de área de muros según A_r , en la dirección X. Diseño inicial, caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 6.

Clasificación y cálculo de área de muros, según A_r en la dirección Y

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
11	esbelto $9 < A_r \leq 16$	2.23	0.09
35	intermedio $4 < A_r \leq 9$	13.09	0.54
9	corto $2 < A_r \leq 4$	8.90	0.37
0	muy corto $A_r \leq 2$	0.00	0.00

Área mínima de muros A_{pTxy} , según 4.5.1-1

ΣA_{vx} (m ²)	$A_{pTxy} = 1.50 \cdot N_A / f'c$	$\Sigma T_w \cdot L_w^2$ en x
16.93	24.02	49.81
ΣA_{vy} (m ²)	$0.40 \cdot A_{pTxy}$	$\Sigma T_w \cdot L_w^2$ en y
24.22	9.61	101.76
	$0.03 \cdot N_{01A}$	
	17.25	

Continuación del apéndice 6.

$$\text{Chequeo } \sum A_{v_x} (16.93) \geq 0.40 \cdot A_{pTxy} (9.61) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \sum A_{v_x} (16.93) \geq 0.03 \cdot N01_A (17.25) = \text{Revisar}$$

$$\text{Chequeo } \sum A_{v_y} (24.22) \geq 0.40 \cdot A_{pTxy} (9.61) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \sum A_{v_y} (24.22) \geq 0.03 \cdot N01_A (17.25) = \text{Ok}$$

Nota. Clasificación y cálculo de área de muros según A_r , en la dirección Y. Diseño inicial, caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 7.

Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en X

Nomenclatura del Muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	Área $A_{v_{x,y}}$ (m ²)	4.5.1-1 (b)	Estimación del corte	
					Área $A_{v_{x,y}}$ (m ²)	$T_w \cdot L_w^2$	$\frac{T_w \cdot L_w^2}{\sum T_w \cdot L_w^2}$
A12	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
A22	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
B3	2.50	0.12	intermedio	0.45	0.45	1.125	1.58 %
B7	2.80	0.12	intermedio	0.50	0.50	1.411	1.99 %
B16	3.10	0.12	intermedio	0.56	0.56	1.730	2.44 %
B26	2.80	0.12	intermedio	0.50	0.50	1.411	1.99 %
B29	2.50	0.12	intermedio	0.45	0.45	1.125	1.58 %
C1	1.60	0.12	esbelto	0.29	0.29	0.461	0.65 %
C33	1.60	0.12	esbelto	0.29	0.29	0.461	0.65 %
D10	1.30	0.12	esbelto	0.23	0.23	0.304	0.43 %
D14	1.30	0.12	esbelto	0.23	0.23	0.304	0.43 %
D20	1.30	0.12	esbelto	0.23	0.23	0.304	0.43 %
D24	1.30	0.12	esbelto	0.23	0.23	0.304	0.43 %
E2	1.50	0.12	esbelto	0.27	0.27	0.405	0.57 %
E5	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
E9	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
E13	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.92 %
E16	2.50	0.12	intermedio	0.45	0.45	1.125	1.58 %
E19	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.92 %
E23	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
E28	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
E32	1.50	0.12	esbelto	0.27	0.27	0.405	0.57 %
F1	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.92 %
F12	2.70	0.12	intermedio	0.49	0.49	1.312	1.85 %
F19	2.70	0.12	intermedio	0.49	0.49	1.312	1.85 %

Continuación del apéndice 7.

Nomenclatura del Muro	Longitud del muro, L _w (m)	espesor T _w a utilizar (m)	Clasificación según A _r	4.5.1-1 (b)		Estimación del corte	
				Área A _{v x,y} (m ²)	Área A _{v x,y} (m ²)	T _w *L _w ²	$\frac{T_w \cdot L_w^2}{\sum T_w \cdot L_w^2}$
F33	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.92 %
G1	2.70	0.12	intermedio	0.49	0.49	1.312	1.85 %
G8	2.90	0.12	intermedio	0.52	0.52	1.514	2.13 %
G16	9.70	0.14	muy corto	1.75	1.75	16.936	23.86 %
G24	2.90	0.12	intermedio	0.52	0.52	1.514	2.13 %
G32	2.70	0.12	intermedio	0.49	0.49	1.312	1.85 %
H2	1.50	0.12	esbelto	0.27	0.27	0.405	0.57 %
H15	3.90	0.14	intermedio	0.70	0.70	2.738	3.86 %
H28	3.90	0.14	intermedio	0.70	0.70	2.738	3.86 %
H31	1.50	0.12	esbelto	0.27	0.27	0.405	0.57 %
I1	2.70	0.12	intermedio	0.49	0.49	1.312	1.85 %
I9	2.90	0.12	intermedio	0.52	0.52	1.514	2.13 %
I15	1.85	0.12	intermedio	0.33	0.33	0.616	0.87 %
I24	2.90	0.12	intermedio	0.52	0.52	1.514	2.13 %
I32	2.70	0.12	intermedio	0.49	0.49	1.312	1.85 %
J1	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.92 %
J33	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.92 %
K2	1.50	0.12	esbelto	0.27	0.27	0.405	0.57 %
K5	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
K28	2.30	0.12	intermedio	0.41	0.41	0.952	1.34 %
K32	1.50	0.12	esbelto	0.27	0.27	0.405	0.57 %
L7	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.82 %
L13	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.82 %
L20	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.82 %
L26	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.82 %
M1	1.60	0.12	esbelto	0.29	0.29	0.461	0.65 %
M14	1.85	0.12	intermedio	0.33	0.33	0.616	0.87 %
M28	2.20	0.12	intermedio	0.40	0.40	0.871	1.23 %
M33	1.60	0.12	esbelto	0.29	0.29	0.461	0.65 %
N3	2.50	0.12	intermedio	0.45	0.45	1.125	1.58 %
N29	2.50	0.12	intermedio	0.45	0.45	1.125	1.58 %
O8	2.05	0.12	intermedio	0.37	0.37	0.756	1.07 %
O11	2.05	0.12	intermedio	0.37	0.37	0.756	1.07 %
O21	2.05	0.12	intermedio	0.37	0.37	0.756	1.07 %
O25	2.05	0.12	intermedio	0.37	0.37	0.756	1.07 %

Nota. Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en X. Diseño final caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 8.

Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en Y

Nomenclatura del muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	Área $A_{v \ x,y}$ (m ²)	4.5.1-1 (b)	Estimación del corte	
					Área $A_{v \ x,y}$ (m ²)	$T_w * L_w^2$	$\frac{T_w * L_w^2}{\Sigma T_w * L_w^2}$
1C	3.50	0.12	intermedio	0.63	0.63	2.205	1.68%
1L	3.80	0.14	intermedio	0.68	0.68	2.599	1.99%
2B	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
2F	5.00	0.16	corto	0.90	0.90	4.500	3.44%
2N	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
3F	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
3K	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
4B	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
4N	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
5F	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
5J	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
6B	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
6N	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
7B	6.00	0.16	corto	1.08	1.08	6.480	4.95%
7J	6.90	0.16	corto	1.24	1.24	8.570	6.55%
8K	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
9O	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
10A	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
10E	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
11O	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
12A	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
12E	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
13K	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
14A	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
14J	6.90	0.16	corto	1.24	1.24	8.570	6.55%
15E	1.40	0.12	esbelto	0.25	0.25	0.353	0.27%
16N	1.40	0.12	esbelto	0.25	0.25	0.353	0.27%
17B	6.00	0.16	corto	1.08	1.08	6.480	4.95%
18N	3.20	0.12	intermedio	0.58	0.58	1.843	1.41%
19E	1.40	0.12	esbelto	0.25	0.25	0.353	0.27%
20A	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
20J	6.90	0.16	corto	1.24	1.24	8.570	6.55%
21K	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
22A	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
22E	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
23O	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
24A	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
24E	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
25O	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
26K	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
27B	6.00	0.16	corto	1.08	1.08	6.480	4.95%
27M	6.90	0.16	corto	1.24	1.24	8.570	6.55%
28B	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
28N	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
29F	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
29K	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
30B	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%

Continuación del apéndice 8.

Nomenclatura del muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	4.5.1-1 (b)		Estimación del corte	
				Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	$T_w \cdot L_w^2$	$\frac{T_w \cdot L_w^2}{\sum T_w \cdot L_w^2}$
30N	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
31F	1.90	0.12	intermedio	0.34	0.34	0.650	0.50%
31K	1.80	0.12	esbelto	0.32	0.32	0.583	0.45%
32B	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
32F	5.00	0.16	corto	0.90	0.90	4.500	3.44%
32N	3.40	0.12	intermedio	0.61	0.61	2.081	1.59%
33C	3.50	0.12	intermedio	0.63	0.63	2.205	1.68%
33L	3.80	0.14	intermedio	0.68	0.68	2.599	1.99%

Nota. Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en Y. Diseño final caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 9.

Clasificación y cálculo de área de muros según A_r en la dirección X

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
18	esbelto $9 < A_r \leq 16$	5.00	0.20
41	intermedio $4 < A_r \leq 9$	18.13	0.73
0	corto $2 < A_r \leq 4$	0.00	0.00
1	muy corto $A_r \leq 2$	1.75	0.07

Nota. Clasificación y cálculo de área de muros según A_r , en la dirección X. Diseño final, caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 10.

Clasificación y cálculo de área de muros, según A_r en la dirección Y

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
11	esbelto $9 < A_r \leq 16$	3.35	0.10
35	intermedio $4 < A_r \leq 9$	19.40	0.59
9	corto $2 < A_r \leq 4$	10.01	0.31
0	muy corto $A_r \leq 2$	0.00	0.00

Área mínima de muros A_{pTxy} , según 4.5.1-1

ΣA_{vx} (m ²)	$A_{pTxy} = 1.50 \cdot N_A / f_c$	$\Sigma T_w \cdot L_w^2$ en x
24.88	24.02	70.99
ΣA_{vy} (m ²)	$0.40 \cdot A_{pTxy}$	$\Sigma T_w \cdot L_w^2$ en y
32.76	9.61	130.87
	$0.03 \cdot N_{01A}$	
	17.25	

$$\text{Chequeo } \Sigma A_{vx} (24.88) \geq 0.40 \cdot A_{pTxy} (9.61) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \Sigma A_{vx} (24.88) \geq 0.03 \cdot N_{01A} (17.25) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \Sigma A_{vy} (32.76) \geq 0.40 \cdot A_{pTxy} (9.61) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \Sigma A_{vy} (32.76) \geq 0.03 \cdot N_{01A} (17.25) = \text{Ok}$$

Nota. Clasificación y cálculo de área de muros según A_r , en la dirección Y. Diseño final, caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 11.

Revisión de corte por muro en la dirección X. Diseño final caso sin aislación

Nomenclatura de muros	Corte en toneladas	Porcentaje de corte %
A12	11.92	1.11
A22	12.02	1.12
B3	13.00	1.21
B7	21.86	2.04
B16	24.00	2.24
B26	22.03	2.06
B29	13.08	1.22
C1	8.26	0.77
C33	8.41	0.78
D10	6.15	0.57
D14	6.10	0.57
D20	6.09	0.57
D24	6.16	0.57
E2	8.10	0.76
E5	12.42	1.16
E9	13.51	1.26
E13	8.40	0.78
E16	18.28	1.71
E19	8.42	0.79
E23	13.58	1.27
E28	12.50	1.17
E32	8.05	0.75
F1	9.54	0.89
F12	33.76	3.15
F19	33.92	3.16
F33	9.41	0.88
G1	24.17	2.25
G8	22.03	2.05
G16	182.31	17.01
G24	22.18	2.07
G32	24.08	2.25
H2	9.80	0.91
H15	27.75	2.59
H28	27.91	2.60
H31	9.77	0.91
I1	24.05	2.24
I9	23.03	2.15
I15	13.40	1.25
I24	23.29	2.17
I32	24.24	2.26
J1	9.30	0.87
J33	9.48	0.88
K2	7.99	0.75
K5	12.76	1.19
K28	12.84	1.20
K32	8.09	0.75
L7	12.99	1.21
L13	13.58	1.27
L20	14.86	1.39

Continuación del apéndice 11.

Nomenclatura de muros	Corte en toneladas	Porcentaje de corte %
L26	13.02	1.21
M1	8.88	0.83
M14	13.83	1.29
M28	37.32	3.48
M33	8.81	0.82
N3	13.40	1.25
N29	13.48	1.26
O8	13.72	1.28
O11	13.39	1.25
O21	13.02	1.21
O25	13.86	1.29

Nota. Corte de muros en la dirección X. Diseño final caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 12.

Revisión de corte por muro en la dirección Y. Diseño final caso sin aislación

Nomenclatura de muros	Corte en toneladas	Porcentaje de corte %
1C	25.60	2.26
1L	28.23	2.49
2B	19.39	1.71
2F	36.16	3.19
2N	19.11	1.69
3F	3.41	0.30
3K	3.01	0.27
4B	20.29	1.79
4N	19.88	1.76
5F	3.43	0.30
5J	3.09	0.27
6B	19.40	1.71
6N	18.24	1.61
7B	53.86	4.76
7J	51.27	4.53
8K	5.15	0.46
9O	21.16	1.87
10A	18.10	1.60
10E	5.58	0.49
11O	21.14	1.87
12A	21.37	1.89
12E	5.98	0.53
13K	4.90	0.43
14A	19.54	1.73
14J	64.22	5.67
15E	6.56	0.58
16N	2.10	0.19

Continuación del apéndice 12.

Nomenclatura de muros	Corte en toneladas	Porcentaje de corte %
17B	74.51	6.58
18N	23.67	2.09
19E	6.46	0.57
20A	19.35	1.71
20J	55.20	4.88
21K	4.70	0.42
22A	21.27	1.88
22E	6.02	0.53
23O	20.82	1.84
24A	18.08	1.60
24E	5.59	0.49
25O	21.04	1.86
26K	5.06	0.45
27B	54.21	4.79
27M	51.72	4.57
28B	19.65	1.74
28N	18.51	1.64
29F	3.52	0.31
29K	3.15	0.28
30B	20.65	1.82
30N	20.23	1.79
31F	3.48	0.31
31K	3.08	0.27
32B	19.87	1.75
32F	37.08	3.28
32N	19.47	1.72
33C	26.40	2.33
33L	29.01	2.56

Nota. Corte de muros en la dirección Y. Diseño final caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 13.

Refuerzo de muros en la dirección X. Diseño final caso sin aislación

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo				Acero de refuerzo en extremo derecho				As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002	As total (in ²)				
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	As _{asignado} (in ²)	f _y (KSI)				Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{der} (in ²)	f _y (KSI)
A12	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	15	1.614	70	3	3	0.33	70	2.05	1.28	4.33
A22	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	15	1.614	70	3	3	0.33	70	2.12	1.28	4.33
B3	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	16	1.721	70	3	3	0.33	70	2.09	1.4	4.54
B7	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	18	1.936	70	4	4	0.8	60	3.05	1.56	7.07
B16	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	20	2.151	70	4	4	0.8	60	4.24	1.73	7.50
B26	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	18	1.936	70	4	4	0.8	60	3.12	1.56	7.07
B29	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	16	1.721	70	2	3	0.22	70	2.09	1.4	4.32
C1	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	10	1.076	70	2	3	0.22	70	1.74	0.89	3.03
C33	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	10	1.076	70	2	3	0.22	70	1.79	0.89	3.03
D10	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	8	0.861	70	2	3	0.22	70	1.12	0.73	2.60
D14	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	8	0.861	70	2	3	0.22	70	1.38	0.73	2.60
D20	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	8	0.861	70	2	3	0.22	70	1.38	0.73	2.60
D24	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	8	0.861	70	2	3	0.22	70	1.12	0.73	2.60
E2	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	2	3	0.22	70	1.72	0.84	2.82
E5	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	15	1.614	70	2	3	0.22	70	1.6	1.28	4.11
E9	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	15	1.614	70	2	3	0.22	70	1.6	1.28	4.11
E13	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
E16	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	16	1.721	70	2	3	0.22	70	1.74	1.4	4.32
E19	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
E23	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	15	1.614	70	2	3	0.22	70	1.6	1.28	4.11
E28	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	15	1.614	70	2	3	0.22	70	1.6	1.28	4.11
E32	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	2	3	0.22	70	1.72	0.84	2.82
F1	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.54	1.06	3.46
F12	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	17	1.829	70	2	3	0.22	70	2.49	1.51	4.54
F19	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	17	1.829	70	2	3	0.22	70	2.56	1.51	4.54
F33	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.48	1.06	3.46
G1	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	17	1.829	70	4	4	0.8	70	4.67	1.51	6.86
G8	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	19	2.044	70	4	4	0.8	70	2.35	1.62	7.29
G16	8	4	1.6	70	6 x 6 2/2	63	6.777	70	8	4	1.6	70	13.8	5.41	19.95
G24	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	19	2.044	70	4	4	0.8	70	2.35	1.62	7.29
G32	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	17	1.829	70	4	4	0.8	70	4.6	1.51	6.86
H2	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	4	4	0.8	70	3.1	0.84	5.14
H15	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	25	2.689	70	4	4	0.8	70	2.72	2.18	8.58
H28	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	25	2.689	70	4	4	0.8	70	2.72	2.18	8.58
H31	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	4	4	0.8	70	3.1	0.84	5.14
I1	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	17	1.829	70	4	4	0.8	70	4.6	1.51	6.86
I9	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	19	2.044	70	4	4	0.8	70	2.83	1.62	7.29
I15	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	4	4	0.8	70	2.58	1.03	5.78
I24	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	19	2.044	70	4	4	0.8	70	2.91	1.62	7.29
I32	4	4	0.8	70	6 x 6 2/2	17	1.829	70	4	4	0.8	70	4.67	1.51	6.86
J1	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.48	1.06	3.46
J33	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.54	1.06	3.46
K2	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	2	3	0.22	70	1.72	0.84	2.82

Continuación del apéndice 13.

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo					Acero de refuerzo en extremo derecho					As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002	As total (in ²)		
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	As _{distribuido} (in ²)	f _y (KSI)	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla				As _{der} (in ²)	f _y (KSI)
K5	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	15	1.614	60	4	4	0.8	60	1.6	1.28	6.43
K28	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	15	1.614	60	4	4	0.8	60	1.6	1.28	6.43
K32	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	2	3	0.22	70	1.72	0.84	2.82
L7	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	11	1.183	60	4	4	0.8	60	2.31	1	5.57
L13	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	11	1.183	60	4	4	0.8	60	3.11	1	5.57
L20	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	11	1.183	60	4	4	0.8	60	3.72	1	5.57
L26	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	11	1.183	60	4	4	0.8	60	2.31	1	5.57
M1	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	10	1.076	70	2	3	0.22	70	1.83	0.89	3.03
M14	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	12	1.291	60	4	4	0.8	60	3.05	1.03	5.78
M28	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	14	1.506	70	2	3	0.22	70	2.33	1.23	3.89
M33	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	10	1.076	70	2	3	0.22	70	1.92	0.89	3.03
N3	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	16	1.721	70	2	3	0.22	70	2.16	1.4	4.32
N29	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	16	1.721	70	2	3	0.22	70	2.23	1.4	4.32
O8	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	13	1.398	60	4	4	0.8	60	1.94	1.14	6.00
O11	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	13	1.398	60	4	4	0.8	60	1.94	1.14	6.00
O21	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	13	1.398	60	4	4	0.8	60	1.77	1.14	6.00
O25	4	4	0.8	60	6 x 6 2/2	13	1.398	60	4	4	0.8	60	2	1.14	6.00

Nota. Refuerzo de muros en la dirección X. Diseño final caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 14.

Refuerzo de muros en la dirección Y. Diseño final caso sin aislación

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo					Acero de refuerzo en extremo derecho					As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002	As total (in ²)		
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	As _{distribuido} (in ²)	f _y (KSI)	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla				As _{der} (in ²)	f _y (KSI)
1C	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	3.03	1.95	5.61
1L	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	24	2.582	70	2	3	0.22	70	3.07	2.12	6.04
2B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.56	1.9	5.61
2F	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	32	3.442	70	2	3	0.22	70	3.49	2.79	7.76
2N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.47	1.9	5.61
3F	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
3K	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	1.26	1	3.25
4B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
4N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
5F	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
5J	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	1.26	1	3.25
6B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
6N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61

Continuación del apéndice 14.

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo				Acero de refuerzo en extremo derecho				As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002	As total (in ²)				
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	As _{distribuido} (in ²)	f _y (KSI)				Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{der} (in ²)	f _y (KSI)
7B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	39	4.195	70	2	3	0.22	70	4.19	3.35	9.27
7J	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	45	4.841	70	2	3	0.22	70	4.81	3.85	10.56
8K	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
9O	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
10A	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
10E	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	1.26	1	3.25
11O	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
12A	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
12E	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	3.67	1	3.25
13K	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
14A	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
14J	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	45	4.841	70	2	3	0.22	70	4.81	3.85	10.56
15E	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	2	3	0.22	70	1.87	0.78	2.82
16N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	2	3	0.22	70	0.98	0.78	2.82
17B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	39	4.195	70	2	3	0.22	70	4.19	3.35	9.27
18N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	20	2.151	70	2	3	0.22	70	4.55	1.79	5.18
19E	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	9	0.968	70	2	3	0.22	70	1.87	0.78	2.82
20A	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
20J	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	45	4.841	70	2	3	0.22	70	4.81	3.85	10.56
21K	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
22A	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
22E	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	3.67	1	3.25
23O	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
24A	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
24E	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	1.26	1	3.25
25O	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
26K	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
27B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	39	4.195	70	2	3	0.22	70	4.19	3.35	9.27
27M	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	45	4.841	70	2	3	0.22	70	4.81	3.85	10.56
28B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
28N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
29F	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
29K	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	1.26	1	3.25
30B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
30N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.37	1.9	5.61
31F	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	12	1.291	70	2	3	0.22	70	1.33	1.06	3.46
31K	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	11	1.183	70	2	3	0.22	70	1.26	1	3.25
32B	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.75	1.9	5.61
32F	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	32	3.442	70	2	3	0.22	70	3.49	2.79	7.76
32N	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	2.66	1.9	5.61
33C	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	22	2.367	70	2	3	0.22	70	3.03	1.95	5.61
33L	2	3	0.22	70	6 x 6 2/2	24	2.582	70	2	3	0.22	70	3.07	2.12	6.04

Nota. Refuerzo de muros en la dirección Y. Diseño final, caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 15.

Diseño de muros en el sentido X, caso sin aislación

Deformación											
Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	Elástica		Variables A _n en función fy					
				δ (in)		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	
A12	217.39	418.48	26.28	0.63	0.075	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
A22	218.08	416.63	26.06	0.63	0.076	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
B3	217.77	469.73	28.66	0.63	0.069	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
B7	244.96	909.59	48.20	0.63	0.070	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
B16	201.66	977.50	52.80	0.63	0.052	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
B26	241.90	901.37	46.60	0.63	0.069	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
B29	220.65	462.04	27.72	0.63	0.070	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
C1	161.56	158.50	18.19	0.63	0.067	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
C33	164.76	152.15	17.79	0.63	0.068	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
D10	107.08	86.04	13.19	0.63	0.053	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
D14	100.17	85.63	13.32	0.63	0.049	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
D20	100.18	86.50	13.43	0.63	0.049	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
D24	107.75	85.26	13.58	0.63	0.053	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E2	97.59	117.07	17.85	0.63	0.037	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E5	190.07	380.58	27.38	0.63	0.066	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E9	116.32	443.58	26.20	0.63	0.040	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E13	94.51	178.53	18.53	0.63	0.030	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E16	112.72	487.96	40.30	0.63	0.036	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E19	94.51	177.26	18.16	0.63	0.030	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E23	116.39	445.81	29.95	0.63	0.040	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E28	191.17	368.29	23.35	0.63	0.066	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
E32	98.61	112.37	16.27	0.63	0.037	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
F1	124.09	160.09	20.72	0.63	0.039	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
F12	185.47	506.45	74.42	0.63	0.044	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
F19	185.90	504.18	72.14	0.63	0.045	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
F33	126.40	152.27	17.62	0.63	0.040	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
G1	161.24	525.07	53.28	0.63	0.039	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
G8	209.39	780.44	48.56	0.63	0.058	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
G16	88.51	13488.28	401.91	0.63	0.007	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
G24	210.61	770.13	47.72	0.63	0.058	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
G32	163.29	506.38	48.50	0.63	0.039	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
H2	88.38	112.41	21.14	0.63	0.033	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
H15	175.85	1073.61	61.17	0.63	0.036	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
H28	175.94	1051.38	54.22	0.63	0.036	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
H31	87.97	113.04	21.55	0.63	0.033	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
I1	161.87	527.13	53.03	0.63	0.039	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
I9	215.75	785.36	50.77	0.63	0.059	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
I15	87.89	217.95	29.26	0.63	0.028	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
I24	215.61	775.05	45.38	0.63	0.059	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
I32	162.33	508.66	49.20	0.63	0.039	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
J1	132.14	161.36	20.23	0.63	0.042	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
J33	134.18	153.46	18.30	0.63	0.042	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537

Continuación del apéndice 15.

Deformación											
Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	Elástica			Variables A _n en función fy				
				δ (in)			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K2	100.95	118.43	17.61	0.63	0.038	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
K5	139.22	385.16	28.13	0.63	0.048	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
K28	137.76	370.88	23.53	0.63	0.048	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
K32	101.24	113.28	16.64	0.63	0.038	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
L7	105.19	190.31	27.90	0.63	0.035	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
L13	107.19	191.65	29.08	0.63	0.035	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
L20	124.05	190.78	32.76	0.63	0.041	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
L26	105.21	191.21	28.70	0.63	0.035	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
M1	164.14	160.75	19.58	0.63	0.059	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
M14	154.46	208.97	30.49	0.63	0.050	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
M28	200.86	279.78	46.56	0.63	0.057	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
M33	167.85	153.30	17.98	0.63	0.060	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
N3	213.98	477.25	29.55	0.63	0.068	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
N29	216.70	466.36	28.43	0.63	0.069	0.00588	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
O8	132.03	373.95	30.24	0.63	0.051	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
O11	129.71	375.37	27.75	0.63	0.050	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
O21	130.50	362.59	28.69	0.63	0.051	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
O25	131.43	365.65	26.26	0.63	0.051	0.00588	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343

Deriva equivalente de la metodología de

Muros	Priestley	Chequeo			
		K _u ≤ K _{u-MAX}			
A12	0.01129	0.51183	0.18526	0.19395	ok
A22	0.01129	0.51183	0.18552	0.19403	ok
B3	0.01064	0.48688	0.17653	0.19556	ok
B7	0.00969	0.45614	0.18882	0.20084	ok
B16	0.00917	0.43135	0.16669	0.20037	ok
B26	0.00970	0.45614	0.18790	0.20055	ok
B29	0.01063	0.48688	0.17438	0.19586	ok
C1	0.01569	0.64825	0.16514	0.17765	ok
C33	0.01565	0.64825	0.16664	0.17809	ok
D10	0.01942	0.75169	0.14997	0.16673	ok
D14	0.01954	0.75169	0.14615	0.16569	ok
D20	0.01954	0.75169	0.14615	0.16569	ok
D24	0.01941	0.75169	0.15034	0.16684	ok
E2	0.01755	0.67813	0.11982	0.16620	ok
E5	0.01148	0.51183	0.17149	0.19080	ok
E9	0.01196	0.51183	0.14331	0.18310	ok
E13	0.01436	0.57747	0.11401	0.17250	ok
E16	0.01121	0.48688	0.13620	0.18558	ok
E19	0.01436	0.57747	0.11401	0.17250	ok
E23	0.01196	0.51183	0.14334	0.18311	ok
E28	0.01147	0.51183	0.17191	0.19092	ok
E32	0.01754	0.67813	0.12026	0.16631	ok

Continuación del apéndice 15.

Muros	Deriva equivalente de la metodología de Priestley				Chequeo
					$k_u \leq k_{u-MAX}$
F1	0.01415	0.57747	0.12480	0.17509	ok
F12	0.01038	0.46563	0.13065	0.19150	ok
F19	0.01038	0.46563	0.13076	0.19152	ok
F33	0.01413	0.57747	0.12564	0.17530	ok
G1	0.01047	0.46563	0.15212	0.18990	ok
G8	0.00960	0.44731	0.18748	0.19872	ok
G16	0.00415	0.27394	0.11835	0.14895	ok
G24	0.00959	0.44731	0.18783	0.19882	ok
G32	0.01046	0.46563	0.15264	0.19003	ok
H2	0.01765	0.67813	0.15921	0.16523	ok
H15	0.00779	0.38390	0.15433	0.20873	ok
H28	0.00779	0.38390	0.15435	0.20874	ok
H31	0.01766	0.67813	0.15905	0.16518	ok
I1	0.01046	0.46563	0.15228	0.18994	ok
I9	0.00957	0.44731	0.18927	0.19925	ok
I15	0.01474	0.58768	0.15130	0.17109	ok
I24	0.00957	0.44731	0.18923	0.19924	ok
I32	0.01046	0.46563	0.15240	0.18997	ok
J1	0.01409	0.57747	0.12774	0.17582	ok
J33	0.01408	0.57747	0.12848	0.17600	ok
K2	0.01751	0.67813	0.12128	0.16656	ok
K5	0.01075	0.51183	0.17406	0.20370	ok
K28	0.01076	0.51183	0.17354	0.20356	ok
K32	0.01751	0.67813	0.12141	0.16659	ok
L7	0.01356	0.59844	0.14413	0.18949	ok
L13	0.01355	0.59844	0.14483	0.18966	ok
L20	0.01344	0.59844	0.15082	0.19113	ok
L26	0.01356	0.59844	0.14413	0.18949	ok
M1	0.01593	0.64825	0.14713	0.17496	ok
M14	0.01296	0.58768	0.16179	0.19467	ok
M28	0.01211	0.52600	0.14530	0.18604	ok
M33	0.01589	0.64825	0.14866	0.17538	ok
N3	0.01066	0.48688	0.17202	0.19516	ok
N29	0.01065	0.48688	0.17298	0.19545	ok
O8	0.01182	0.54985	0.18096	0.19939	ok
O11	0.01184	0.54985	0.18004	0.19914	ok
O21	0.01183	0.54985	0.18035	0.19922	ok
O25	0.01182	0.54985	0.18072	0.19932	ok

Nota. Diseño de muros en el sentido X, caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 16.

Diseño de muros en el sentido Y, caso sin aislación

Deformación											
Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	Elástica			Variables A _i en función fy				
				δ (in)			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
1C	311.63	470.16	56.45	0.33	0.060	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
1L	329.45	567.80	59.13	0.33	0.059	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
2B	209.26	501.80	42.75	0.33	0.041	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
2F	362.53	1312.76	79.71	0.33	0.058	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
2N	200.06	488.23	38.02	0.33	0.040	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
3F	114.04	84.96	7.52	0.33	0.048	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
3K	109.74	71.11	6.64	0.33	0.049	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
4B	142.07	477.37	43.86	0.33	0.028	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
4N	143.79	479.14	39.22	0.33	0.028	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
5F	118.05	84.71	7.53	0.33	0.037	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
5J	114.73	71.66	6.82	0.33	0.038	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
6B	203.41	497.44	42.78	0.33	0.040	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
6N	224.53	472.98	39.52	0.33	0.044	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
7B	365.89	1923.26	115.74	0.33	0.044	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
7J	497.06	3175.30	109.24	0.33	0.057	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
8K	113.79	118.87	10.92	0.33	0.036	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
9O	265.10	495.66	37.11	0.33	0.052	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
10A	242.56	518.71	39.90	0.33	0.048	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
10E	86.10	76.17	11.50	0.33	0.028	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
11O	271.42	499.20	37.44	0.33	0.054	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
12A	139.92	491.76	46.08	0.33	0.028	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
12E	162.00	81.16	9.94	0.33	0.072	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
13K	144.04	116.35	9.18	0.33	0.045	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
14A	198.47	530.36	43.07	0.33	0.039	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
14J	336.10	2835.97	133.13	0.33	0.036	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
15E	157.66	53.56	14.46	0.33	0.062	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
16N	82.99	52.58	3.60	0.33	0.047	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
17B	261.64	1489.28	162.36	0.33	0.031	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
18N	435.84	416.72	5.65	0.33	0.091	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
19E	157.02	53.27	14.24	0.33	0.062	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
20A	200.55	530.59	42.66	0.33	0.040	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
20J	497.82	3304.51	92.86	0.33	0.057	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
21K	153.61	112.25	8.45	0.33	0.048	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
22A	140.52	492.77	45.86	0.33	0.028	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
22E	162.67	80.60	9.92	0.33	0.072	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
23O	280.99	491.65	35.37	0.33	0.056	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
24A	240.39	520.96	39.86	0.33	0.048	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
24E	87.37	76.21	11.40	0.33	0.029	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
25O	265.34	498.33	36.31	0.33	0.053	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
26K	114.76	118.94	10.77	0.33	0.036	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
27B	369.15	1949.20	116.47	0.33	0.044	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
27M	498.84	3218.49	110.02	0.33	0.058	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537

Continuación del apéndice 16.

Deformación											
Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	Elástica			Variables A _n en función fy				
				δ (in)							
						A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	
28B	206.37	506.04	43.33	0.33	0.041	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
28N	222.23	481.41	40.17	0.33	0.044	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
29F	119.41	86.55	7.73	0.33	0.038	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
29K	114.15	73.16	6.95	0.33	0.038	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
30B	142.22	487.77	44.64	0.33	0.028	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
30N	144.02	490.09	40.12	0.33	0.029	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
31F	113.77	86.89	7.68	0.33	0.048	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
31K	109.58	72.79	6.79	0.33	0.049	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
32B	206.20	514.35	43.80	0.33	0.041	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
32F	361.94	1348.01	81.76	0.33	0.058	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
32N	203.76	502.33	38.93	0.33	0.040	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
33C	310.81	484.60	58.17	0.33	0.060	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
33L	331.31	586.10	61.20	0.33	0.060	0.00308	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537

Deriva equivalente de la metodología de Priestley					
Muros					Chequeo K _u ≤ K _{u-MAX}
1C	0.00822	0.40491	0.14871	0.20914	ok
1L	0.00772	0.38874	0.14791	0.21338	ok
2B	0.00863	0.41094	0.12845	0.20238	ok
2F	0.00630	0.34344	0.15366	0.19261	ok
2N	0.00865	0.41094	0.12635	0.20191	ok
3F	0.01395	0.57747	0.15300	0.17762	ok
3K	0.01461	0.59844	0.15313	0.17586	ok
4B	0.00877	0.41094	0.11311	0.19906	ok
4N	0.00877	0.41094	0.11351	0.19914	ok
5F	0.01419	0.57747	0.12260	0.17455	ok
5J	0.01488	0.59844	0.12170	0.17268	ok
6B	0.00864	0.41094	0.12711	0.20208	ok
6N	0.00860	0.41094	0.13193	0.20317	ok
7B	0.00562	0.31953	0.13163	0.17804	ok
7J	0.00505	0.30394	0.15235	0.16836	ok
8K	0.01423	0.57747	0.12104	0.17417	ok
9O	0.00850	0.41094	0.14119	0.20537	ok
10A	0.00855	0.41094	0.13605	0.20414	ok
10E	0.01511	0.59844	0.11079	0.17008	ok
11O	0.00849	0.41094	0.14263	0.20572	ok
12A	0.00878	0.41094	0.11262	0.19895	ok
12E	0.01402	0.59844	0.17860	0.18324	ok
13K	0.01401	0.57747	0.13208	0.17691	ok
14A	0.00865	0.41094	0.12598	0.20182	ok
14J	0.00513	0.30394	0.12212	0.16836	ok
15E	0.01784	0.71229	0.15203	0.17184	ok

Continuación del apéndice 16.

Muros	Deriva equivalente de la metodología de Priestley				Chequeo
					$K_U \leq K_{U-MAX}$
16N	0.01833	0.71229	0.15948	0.16721	ok
17B	0.00567	0.31953	0.11719	0.17804	ok
18N	0.00841	0.42413	0.18390	0.21456	ok
19E	0.01785	0.71229	0.15174	0.17176	ok
20A	0.00865	0.41094	0.12646	0.20193	ok
20J	0.00505	0.30394	0.15245	0.16836	ok
21K	0.01393	0.57747	0.13557	0.17781	ok
22A	0.00878	0.41094	0.11276	0.19898	ok
22E	0.01401	0.59844	0.17892	0.18334	ok
23O	0.00847	0.41094	0.14482	0.20626	ok
24A	0.00856	0.41094	0.13555	0.20402	ok
24E	0.01510	0.59844	0.11127	0.17019	ok
25O	0.00850	0.41094	0.14125	0.20538	ok
26K	0.01422	0.57747	0.12140	0.17426	ok
27B	0.00561	0.31953	0.13208	0.17804	ok
27M	0.00505	0.30394	0.15259	0.16836	ok
28B	0.00864	0.41094	0.12779	0.20223	ok
28N	0.00860	0.41094	0.13141	0.20305	ok
29F	0.01418	0.57747	0.12309	0.17467	ok
29K	0.01488	0.59844	0.12148	0.17263	ok
30B	0.00877	0.41094	0.11315	0.19906	ok
30N	0.00877	0.41094	0.11356	0.19915	ok
31F	0.01395	0.57747	0.15288	0.17758	ok
31K	0.01461	0.59844	0.15306	0.17584	ok
32B	0.00864	0.41094	0.12775	0.20222	ok
32F	0.00630	0.34344	0.15355	0.19261	ok
32N	0.00864	0.41094	0.12719	0.20210	ok
33C	0.00822	0.40491	0.14853	0.20909	ok
33L	0.00772	0.38874	0.14829	0.21348	ok
1C	0.00822	0.40491	0.14871	0.20914	ok
1L	0.00772	0.38874	0.14791	0.21338	ok
2B	0.00863	0.41094	0.12845	0.20238	ok
2F	0.00630	0.34344	0.15366	0.19261	ok
2N	0.00865	0.41094	0.12635	0.20191	ok

Nota. Diseño de muros en el sentido Y, caso sin aislación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 17.

Configuración y determinación de aisladores

Aislador	Posición global XY al centro		Distancias al centro del aislador		$x^2 + y^2$ (mm ⁴)	Combinaciones CR6 y CR7			Diametro del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Capacidad del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Relación demanda/capacidad
	distancia x (mm)	distancia y (mm)	distancia x (mm)	distancia y (mm)		P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)			
K1	0.00	2200.00	21091.88	5309.15	473054284	-411.49	-44.02	-13.46	405	585.57	-0.70
K2	0.00	5600.00	21091.88	1909.15	448512052	-357.11	-44.19	-13.46	405	585.57	-0.61
K3	0.00	6900.00	21091.88	609.15	445238257	-335.18	-44.29	-13.46	405	585.57	-0.57
K4	0.00	8700.00	21091.88	1190.85	446285310	-328.98	-44.37	-13.46	405	585.57	-0.56
K5	0.00	10000.00	21091.88	2490.85	451071516	-340.25	-44.41	-13.46	405	585.57	-0.58
K6	0.00	13700.00	21091.88	6190.85	483193793	-232.97	-44.59	-13.46	405	585.57	-0.40
K7	1600.00	2200.00	19491.88	5309.15	408120284	-200.77	-44.05	-13.43	405	585.57	-0.34
K8	1600.00	5600.00	19491.88	1909.15	383578052	-140.34	-44.21	-13.43	405	585.57	-0.24
K9	1600.00	10000.00	19491.88	2490.85	386137516	-110.91	-44.43	-13.43	405	585.57	-0.19
K10	1600.00	13700.00	19491.88	6190.85	418259793	-113.30	-44.62	-13.43	405	585.57	-0.19
K11	2600.00	1000.00	18491.88	6509.15	384318498	-239.40	-44.02	-13.42	405	585.57	-0.41
K12	2600.00	2200.00	18491.88	5309.15	370136534	-161.92	-44.06	-13.42	405	585.57	-0.28
K13	2600.00	4300.00	18491.88	3209.15	352248096	-125.14	-44.15	-13.42	405	585.57	-0.21
K14	2600.00	5300.00	18491.88	2209.15	346829793	-74.88	-44.19	-13.42	405	585.57	-0.13
K15	2600.00	6900.00	18491.88	609.15	342320507	-80.67	-44.27	-13.42	405	585.57	-0.14
K16	2600.00	7800.00	18491.88	290.85	342034034	-71.59	-44.32	-13.42	405	585.57	-0.12
K17	2600.00	8700.00	18491.88	1190.85	343367560	-80.86	-44.36	-13.42	405	585.57	-0.14
K18	2600.00	10200.00	18491.88	2690.85	349190105	-75.77	-44.43	-13.42	405	585.57	-0.13
K19	2600.00	11200.00	18491.88	3690.85	355571802	-94.64	-44.49	-13.42	405	585.57	-0.16
K20	2600.00	13700.00	18491.88	6190.85	380276043	-97.58	-44.63	-13.43	405	585.57	-0.17
K21	2600.00	14500.00	18491.88	6990.85	390821400	-97.74	-44.68	-13.42	405	585.57	-0.17
K22	3800.00	1000.00	17291.88	6509.15	341377998	-197.55	-44.02	-13.40	405	585.57	-0.34
K23	3800.00	14500.00	17291.88	6990.85	347880900	-113.35	-44.68	-13.40	405	585.57	-0.19
K24	4000.00	4300.00	17091.88	3209.15	302430846	-71.96	-44.18	-13.41	405	585.57	-0.12
K25	4000.00	5300.00	17091.88	2209.15	297012543	-72.57	-44.20	-13.40	405	585.57	-0.12
K26	4000.00	6900.00	17091.88	609.15	292503257	-84.99	-44.28	-13.40	405	585.57	-0.15
K27	4000.00	7800.00	17091.88	290.85	292216784	-93.14	-44.36	-13.40	405	585.57	-0.16
K28	4000.00	8700.00	17091.88	1190.85	293550310	-83.67	-44.37	-13.40	405	585.57	-0.14
K29	4000.00	10200.00	17091.88	2690.85	299372855	-72.18	-44.43	-13.40	405	585.57	-0.12
K30	4000.00	11200.00	17091.88	3690.85	305754552	-72.94	-44.51	-13.40	405	585.57	-0.12
K31	5000.00	1000.00	16091.88	6509.15	301317498	-180.64	-44.00	-13.39	405	585.57	-0.31
K32	5000.00	4300.00	16091.88	3209.15	269247096	-62.28	-44.20	-13.40	405	585.57	-0.11
K33	5000.00	11200.00	16091.88	3690.85	272570802	-58.31	-44.53	-13.39	405	585.57	-0.10
K34	5000.00	14500.00	16091.88	6990.85	307820400	-110.00	-44.66	-13.39	405	585.57	-0.19
K35	6000.00	4300.00	15091.88	3209.15	238063346	-97.29	-44.18	-13.38	405	585.57	-0.17
K36	6000.00	5300.00	15091.88	2209.15	232645043	-99.33	-44.21	-13.38	405	585.57	-0.17
K37	6000.00	6900.00	15091.88	609.15	228135757	-126.99	-44.30	-13.38	405	585.57	-0.22
K38	6000.00	7800.00	15091.88	290.85	227849284	-150.02	-44.38	-13.38	405	585.57	-0.26
K39	6000.00	8700.00	15091.88	1190.85	229182810	-140.00	-44.39	-13.38	405	585.57	-0.24
K40	6000.00	10200.00	15091.88	2690.85	235005355	-106.49	-44.45	-13.38	405	585.57	-0.18
K41	6000.00	11200.00	15091.88	3690.85	241387052	-85.90	-44.52	-13.38	405	585.57	-0.15

Continuación del apéndice 17.

Aislador	Posición global XY al centro		Distancias al centro del aislador		$x^2 + y^2$ (mm ⁴)	Combinaciones CR6 y CR7			Diametro del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Capacidad del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Relación demanda/capacidad
	distanci a x (mm)	distanci a y (mm)	distancia x (mm)	distancia y (mm)		P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)			
K42	6200.00	1000.00	14891.88	6509.15	264136998	-149.27	-44.02	-13.38	405	585.57	-0.25
K43	6200.00	14500.00	14891.88	6990.85	270639900	-128.48	-44.68	-13.38	405	585.57	-0.22
K44	7200.00	1000.00	13891.88	6509.15	235353248	-173.32	-44.05	-13.38	405	585.57	-0.30
K45	7200.00	4300.00	13891.88	3209.15	203282846	-93.47	-44.17	-13.37	405	585.57	-0.16
K46	7200.00	11200.00	13891.88	3690.85	206606552	-101.18	-44.50	-13.36	405	585.57	-0.17
K47	7200.00	14500.00	13891.88	6990.85	241856150	-127.26	-44.69	-13.38	405	585.57	-0.22
K48	8200.00	4300.00	12891.88	3209.15	176499096	-121.64	-44.19	-13.36	405	585.57	-0.21
K49	8200.00	11200.00	12891.88	3690.85	179822802	-117.66	-44.53	-13.35	405	585.57	-0.20
K50	9300.00	1000.00	11791.88	6509.15	181417373	-282.78	-44.02	-13.35	405	585.57	-0.48
K51	9300.00	7800.00	11791.88	290.85	139132909	-101.72	-44.39	-13.36	405	585.57	-0.17
K52	10300.00	1000.00	10791.88	6509.15	158833623	-221.22	-44.00	-13.35	405	585.57	-0.38
K53	10300.00	4300.00	10791.88	3209.15	126763221	-159.60	-44.21	-13.34	405	585.57	-0.27
K54	10300.00	6900.00	10791.88	609.15	116835632	-100.32	-44.34	-13.36	405	585.57	-0.17
K55	10300.00	7800.00	10791.88	290.85	116549159	-70.24	-44.39	-13.36	405	585.57	-0.12
K56	10300.00	8700.00	10791.88	1190.85	117882685	-130.25	-44.42	-13.36	405	585.57	-0.22
K57	10300.00	11200.00	10791.88	3690.85	130086927	-141.65	-44.52	-13.34	405	585.57	-0.24
K58	10300.00	12200.00	10791.88	4690.85	138468623	-127.76	-44.56	-13.34	405	585.57	-0.22
K59	10300.00	14500.00	10791.88	6990.85	165336525	-134.13	-44.68	-13.36	405	585.57	-0.23
K60	10300.00	15500.00	10791.88	7990.85	180318221	-126.69	-44.74	-13.35	405	585.57	-0.22
K61	11200.00	6900.00	9891.88	609.15	98220257	-126.72	-44.34	-13.35	405	585.57	-0.22
K62	11300.00	15500.00	9791.88	7990.85	159734471	-130.67	-44.74	-13.34	405	585.57	-0.22
K63	12000.00	1000.00	9091.88	6509.15	125031248	-137.75	-44.04	-13.33	405	585.57	-0.24
K64	12000.00	8700.00	9091.88	1190.85	84080310	-142.72	-44.40	-13.33	405	585.57	-0.24
K65	12000.00	9400.00	9091.88	1890.85	86237498	-118.68	-44.41	-13.33	405	585.57	-0.20
K66	12000.00	11200.00	9091.88	3690.85	96284552	-78.77	-44.49	-13.33	405	585.57	-0.13
K67	12000.00	12200.00	9091.88	4690.85	104666248	-115.28	-44.56	-13.33	405	585.57	-0.20
K68	13000.00	4300.00	8091.88	3209.15	75777096	-204.01	-44.19	-13.32	405	585.57	-0.35
K69	13000.00	12200.00	8091.88	4690.85	87482498	-124.04	-44.59	-13.33	405	585.57	-0.21
K70	13000.00	15500.00	8091.88	7990.85	129332096	-163.70	-44.74	-13.33	405	585.57	-0.28
K71	14100.00	0.00	6991.88	7509.15	105273677	-200.24	-43.98	-13.32	405	585.57	-0.34
K72	14100.00	1000.00	6991.88	6509.15	91255373	-195.83	-44.03	-13.32	405	585.57	-0.33
K73	14100.00	3300.00	6991.88	4209.15	66603275	-172.04	-44.12	-13.32	405	585.57	-0.29
K74	14100.00	4300.00	6991.88	3209.15	59184971	-141.25	-44.17	-13.32	405	585.57	-0.24
K75	14100.00	5850.00	6991.88	1659.15	51639101	-90.09	-44.26	-13.32	405	585.57	-0.15
K76	14100.00	6900.00	6991.88	609.15	49257382	-95.69	-44.36	-13.32	405	585.57	-0.16
K77	14900.00	8700.00	6191.88	1190.85	39757435	-154.75	-44.44	-13.31	405	585.57	-0.26
K78	15150.00	0.00	5941.88	7509.15	91693239	-223.14	-43.97	-13.31	405	585.57	-0.38
K79	15350.00	3300.00	5741.88	4209.15	50686087	-97.34	-44.14	-13.31	405	585.57	-0.17
K80	15350.00	4300.00	5741.88	3209.15	43267784	-100.87	-44.21	-13.31	405	585.57	-0.17
K81	15800.00	12200.00	5291.88	4690.85	50007998	-202.53	-44.60	-13.32	405	585.57	-0.35
K82	15800.00	15500.00	5291.88	7990.85	91857596	-186.26	-44.75	-13.32	405	585.57	-0.32
K83	16300.00	0.00	4791.88	7509.15	79349427	-182.53	-43.94	-13.31	405	585.57	-0.31

Continuación del apéndice 17.

Aislador	Posición global XY al centro		Distancias al centro del aislador		$x^2 + y^2$ (mm ⁴)	Combinaciones CR6 y CR7			Diámetro del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Capacidad del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Relación demanda/capacidad
	distancia a x (mm)	distancia a y (mm)	distancia x (mm)	distancia y (mm)		P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)			
K84	16300.00	3300.00	4791.88	4209.15	40679025	-114.57	-44.15	-13.32	405	585.57	-0.20
K85	16300.00	4300.00	4791.88	3209.15	33260721	-158.61	-44.21	-13.31	405	585.57	-0.27
K86	16300.00	5600.00	4791.88	1909.15	26606927	-274.92	-44.28	-13.31	405	585.57	-0.47
K87	16300.00	6900.00	4791.88	609.15	23333132	-332.67	-44.38	-13.32	405	585.57	-0.57
K88	16800.00	8700.00	4291.88	1190.85	19838310	-97.92	-44.44	-13.31	405	585.57	-0.17
K89	16800.00	9400.00	4291.88	1890.85	21995498	-121.91	-44.45	-13.32	405	585.57	-0.21
K90	16800.00	11200.00	4291.88	3690.85	32042552	-168.39	-44.51	-13.31	405	585.57	-0.29
K91	16800.00	12200.00	4291.88	4690.85	40424248	-211.07	-44.58	-13.31	405	585.57	-0.36
K92	17250.00	3300	3841.88	4209.15	32476962	-128.38	-44.14	-13.31	405	585.57	-0.22
K93	17250.00	4300	3841.88	3209.15	25058659	-159.01	-44.19	-13.31	405	585.57	-0.27
K94	17450.00	0	3641.88	7509.15	69650614	-155.25	-43.96	-13.31	405	585.57	-0.27
K95	17500.00	15500	3591.88	7990.85	76755221	-117.90	-44.75	-13.31	405	585.57	-0.20
K96	18500.00	0	2591.88	7509.15	63105177	-187.17	-43.97	-13.31	405	585.57	-0.32
K97	18500.00	1000	2591.88	6509.15	49086873	-137.04	-44.03	-13.31	405	585.57	-0.23
K98	18500.00	3300	2591.88	4209.15	24434775	-95.24	-44.13	-13.31	405	585.57	-0.16
K99	18500.00	6900	2591.88	609.15	7088882	-246.78	-44.31	-13.32	405	585.57	-0.42
K100	18500.00	8700	2591.88	1190.85	8135935	-202.78	-44.41	-13.32	405	585.57	-0.35
K101	18500.00	12200	2591.88	4690.85	28721873	-126.03	-44.55	-13.31	405	585.57	-0.22
K102	18500.00	13700	2591.88	6190.85	45044418	-127.74	-44.64	-13.31	405	585.57	-0.22
K103	18500.00	15500	2591.88	7990.85	70571471	-111.66	-44.74	-13.32	405	585.57	-0.19
K104	18900.00	4300	2191.88	3209.15	15102971	-81.46	-44.19	-13.31	405	585.57	-0.14
K105	18900.00	5600	2191.88	1909.15	8449177	-100.02	-44.25	-13.31	405	585.57	-0.17
K106	19500.00	1000	1591.88	6509.15	44903123	-209.90	-44.04	-13.31	405	585.57	-0.36
K107	19900.00	4300	1191.88	3209.15	11719221	-110.53	-44.21	-13.30	405	585.57	-0.19
K108	20270.00	8700	821.88	1190.85	2093598	-97.49	-44.42	-13.31	405	585.57	-0.17
K109	20270.00	10500	821.88	2990.85	9620652	-95.17	-44.45	-13.31	405	585.57	-0.16
K110	20270.00	11900	821.88	4390.85	19955027	-79.27	-44.53	-13.31	405	585.57	-0.14
K111	20270.00	13700	821.88	6190.85	39002080	-104.66	-44.68	-13.30	405	585.57	-0.18
K112	21100.00	1000	8.13	6509.15	42369123	-250.33	-44.00	-13.32	405	585.57	-0.43
K113	21100.00	4300	8.13	3209.15	10298721	-96.08	-44.19	-13.30	405	585.57	-0.16
K114	21100.00	6900	8.13	609.15	371132	-127.70	-44.33	-13.31	405	585.57	-0.22
K115	21600.00	8700	508.13	1190.85	1676310	-90.53	-44.42	-13.32	405	585.57	-0.15
K116	21600.00	10550	508.13	3040.85	9504949	-221.16	-44.48	-13.32	405	585.57	-0.38
K117	21600.00	13700	508.13	6190.85	38584793	-164.01	-44.69	-13.31	405	585.57	-0.28
K118	22300.00	4300	1208.13	3209.15	11758221	-149.42	-44.04	-13.31	405	585.57	-0.26
K119	22700.00	1000	1608.13	6509.15	44955123	-94.38	-44.21	-13.30	405	585.57	-0.16
K120	23300.00	4300	2208.13	3209.15	15174471	-74.12	-44.19	-13.31	405	585.57	-0.13
K121	23300	5600	2208.13	1909.15	8520677	-103.52	-44.25	-13.32	405	585.57	-0.18
K122	23700	0	2608.13	7509.15	63189677	-195.18	-43.97	-13.32	405	585.57	-0.33
K123	23700	1000	2608.13	6509.15	49171373	-98.67	-44.03	-13.32	405	585.57	-0.17
K124	23700	3300	2608.13	4209.15	24519275	-75.62	-44.13	-13.31	405	585.57	-0.13
K125	23700	6900	2608.13	609.15	7173382	-203.13	-44.32	-13.32	405	585.57	-0.35

Continuación del apéndice 17.

Aislador	Posición global XY al centro		Distancias al centro del aislador		$x^2 + y^2$ (mm ⁴)	Combinaciones CR6 y CR7			Diámetro del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Capacidad del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Relación demanda/capacidad
	distancia a x (mm)	distancia a y (mm)	distancia x (mm)	distancia y (mm)		P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)			
K126	23700	8700	2608.13	1190.85	8220435	-126.90	-44.42	-13.33	405	585.57	-0.22
K127	23700	12200	2608.13	4690.85	28806373	-135.61	-44.56	-13.31	405	585.57	-0.23
K128	23700	13700	2608.13	6190.85	45128918	-151.85	-44.63	-13.32	405	585.57	-0.26
K129	23700	15500	2608.13	7990.85	70655971	-115.98	-44.74	-13.33	405	585.57	-0.20
K130	24700	15500	3608.13	7990.85	76872221	-165.92	-43.96	-13.31	405	585.57	-0.28
K131	24750	0	3658.13	7509.15	69769239	-120.01	-44.75	-13.32	405	585.57	-0.20
K132	24950	3300	3858.13	4209.15	32602087	-100.45	-44.14	-13.31	405	585.57	-0.17
K133	24950	4300	3858.13	3209.15	25183784	-122.70	-44.19	-13.31	405	585.57	-0.21
K134	25400	8700.00	4308.13	1190.85	19978060	-64.81	-44.44	-13.32	405	585.57	-0.11
K135	25400	9400.00	4308.13	1890.85	22135248	-79.83	-44.45	-13.33	405	585.57	-0.14
K136	25400	11200.00	4308.13	3690.85	32182302	-129.01	-44.52	-13.32	405	585.57	-0.22
K137	25400	12200.00	4308.13	4690.85	40563998	-176.26	-44.59	-13.32	405	585.57	-0.30
K138	25900	0.00	4808.13	7509.15	79505427	-151.27	-43.95	-13.32	405	585.57	-0.26
K139	25900	3300.00	4808.13	4209.15	40835025	-90.88	-44.15	-13.32	405	585.57	-0.16
K140	25900	4300.00	4808.13	3209.15	33416721	-121.78	-44.21	-13.32	405	585.57	-0.21
K141	25900	5600.00	4808.13	1909.15	26762927	-213.64	-44.28	-13.32	405	585.57	-0.36
K142	25900	6900.00	4808.13	609.15	23489132	-252.25	-44.38	-13.32	405	585.57	-0.43
K143	26400	12200.00	5308.13	4690.85	50180248	-158.84	-44.60	-13.33	405	585.57	-0.27
K144	26400	15500.00	5308.13	7990.85	92029846	-192.55	-44.75	-13.33	405	585.57	-0.33
K145	26850	3300.00	5758.13	4209.15	50872962	-80.25	-44.14	-13.32	405	585.57	-0.14
K146	26850	4300.00	5758.13	3209.15	43454659	-84.33	-44.21	-13.32	405	585.57	-0.14
K147	27050	0.00	5958.13	7509.15	91886614	-128.40	-43.97	-13.32	405	585.57	-0.22
K148	27300	8700.00	6208.13	1190.85	39958935	-228.02	-44.44	-13.32	405	585.57	-0.39
K149	28100	0.00	7008.13	7509.15	105501177	-144.32	-43.98	-13.33	405	585.57	-0.25
K150	28100	1000.00	7008.13	6509.15	91482873	-139.59	-44.04	-13.34	405	585.57	-0.20
K151	28100	3300.00	7008.13	4209.15	66830775	-131.63	-44.12	-13.33	405	585.57	-0.22
K152	28100	4300.00	7008.13	3209.15	59412471	-117.40	-44.17	-13.33	405	585.57	-0.20
K153	28100	5850.00	7008.13	1659.15	51866601	-91.46	-44.26	-13.33	405	585.57	-0.16
K154	28100	6900.00	7008.13	609.15	49484882	-94.97	-44.36	-13.33	405	585.57	-0.16
K155	29200	4300.00	8108.13	3209.15	76040346	-159.75	-44.19	-13.33	405	585.57	-0.27
K156	29200	12200.00	8108.13	4690.85	87745748	-147.18	-44.59	-13.35	405	585.57	-0.25
K157	29200	15500.00	8108.13	7990.85	129595346	-162.52	-44.75	-13.35	405	585.57	-0.28
K158	30200	1000.00	9108.13	6509.15	125326998	-213.24	-44.04	-13.35	405	585.57	-0.36
K159	30200	8700.00	9108.13	1190.85	84376060	-105.79	-44.40	-13.35	405	585.57	-0.18
K160	30200	9400.00	9108.13	1890.85	86533248	-92.05	-44.42	-13.35	405	585.57	-0.16
K161	30200	11200.00	9108.13	3690.85	96580302	-79.06	-44.49	-13.35	405	585.57	-0.14
K162	30200	12200.00	9108.13	4690.85	104961998	-115.25	-44.56	-13.35	405	585.57	-0.20
K163	30900	15500.00	9808.13	7990.85	160052971	-132.01	-44.75	-13.36	405	585.57	-0.23
K164	31000	6900.00	9908.13	609.15	98542007	-127.06	-44.34	-13.36	405	585.57	-0.22
K165	31900	1000.00	10808.13	6509.15	159184623	-196.59	-44.00	-13.37	405	585.57	-0.34
K166	31900	4300.00	10808.13	3209.15	127114221	-131.21	-44.21	-13.36	405	585.57	-0.22
K167	31900	6900.00	10808.13	609.15	117186632	-101.28	-44.34	-13.38	405	585.57	-0.17

Continuación del apéndice 17.

Aislador	Posición global XY al centro		Distancias al centro del aislador		$x^2 + y^2$ (mm ⁴)	Combinaciones CR6 y CR7			Diámetro del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Capacidad del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Relación demanda/ capacidad
	distanci a x (mm)	distanci a y (mm)	distancia x (mm)	distancia y (mm)		P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)			
	K168	31900	7800.00	10808.13		290.85	116900159	-60.85			
K169	31900	8700.00	10808.13	1190.85	118233685	-90.42	-44.42	-13.38	405	585.57	-0.15
K170	31900	11200.00	10808.13	3690.85	130437927	-113.76	-44.52	-13.36	405	585.57	-0.19
K171	31900	12200.00	10808.13	4690.85	138819623	-128.89	-44.56	-13.36	405	585.57	-0.22
K172	31900	14500.00	10808.13	6990.85	165687525	-135.97	-44.68	-13.38	405	585.57	-0.23
K173	31900	15500.00	10808.13	7990.85	180669221	-128.38	-44.74	-13.37	405	585.57	-0.22
K174	32900	1000.00	11808.13	6509.15	181800873	-169.49	-44.02	-13.38	405	585.57	-0.29
K175	32900	7800.00	11808.13	290.85	139516409	-115.47	-44.39	-13.38	405	585.57	-0.20
K176	34000	4300.00	12908.13	3209.15	176918346	-134.89	-44.19	-13.38	405	585.57	-0.23
K177	34000	11200.00	12908.13	3690.85	180242052	-142.92	-44.53	-13.37	405	585.57	-0.24
K178	35000	1000.00	13908.13	6509.15	235804998	-178.58	-44.05	-13.40	405	585.57	-0.30
K179	35000	4300.00	13908.13	3209.15	203734596	-95.65	-44.17	-13.39	405	585.57	-0.16
K180	35000	11200.00	13908.13	3690.85	207058302	-117.90	-44.51	-13.39	405	585.57	-0.20
K181	35000	14500.00	13908.13	6990.85	242307900	-126.15	-44.70	-13.41	405	585.57	-0.22
K182	36000	1000.00	14908.13	6509.15	264621248	-183.09	-44.02	-13.41	405	585.57	-0.31
K183	36000	14500.00	14908.13	6990.85	271124150	-84.59	-44.18	-13.41	405	585.57	-0.14
K184	36200	4300.00	15108.13	3209.15	238554096	-85.84	-44.21	-13.41	405	585.57	-0.15
K185	36200	5300.00	15108.13	2209.15	233135793	-103.68	-44.30	-13.41	405	585.57	-0.18
K186	36200	6900.00	15108.13	609.15	228626507	-113.04	-44.38	-13.41	405	585.57	-0.19
K187	36200	7800.00	15108.13	290.85	228340034	-99.55	-44.39	-13.41	405	585.57	-0.17
K188	36200	8700.00	15108.13	1190.85	229673560	-80.64	-44.45	-13.41	405	585.57	-0.14
K189	36200	10200.00	15108.13	2690.85	235496105	-79.37	-44.52	-13.41	405	585.57	-0.14
K190	36200	11200.00	15108.13	3690.85	241877802	-127.22	-44.68	-13.41	405	585.57	-0.22
K191	37200	1000.00	16108.13	6509.15	301840748	-178.59	-44.00	-13.42	405	585.57	-0.30
K192	37200	4300.00	16108.13	3209.15	269770346	-58.57	-44.20	-13.43	405	585.57	-0.10
K193	37200	11200.00	16108.13	3690.85	273094052	-58.38	-44.53	-13.42	405	585.57	-0.10
K194	37200	14500.00	16108.13	6990.85	308343650	-110.21	-44.66	-13.42	405	585.57	-0.19
K195	38200	4300.00	17108.13	3209.15	302986596	-153.97	-44.02	-13.43	405	585.57	-0.26
K196	38200	5300.00	17108.13	2209.15	297568293	-93.65	-44.18	-13.44	405	585.57	-0.16
K197	38200	6900.00	17108.13	609.15	293059007	-99.21	-44.20	-13.43	405	585.57	-0.17
K198	38200	7800.00	17108.13	290.85	292772534	-110.18	-44.29	-13.43	405	585.57	-0.19
K199	38200	8700.00	17108.13	1190.85	294106060	-118.92	-44.36	-13.43	405	585.57	-0.20
K200	38200	10200.00	17108.13	2690.85	299928605	-106.47	-44.37	-13.43	405	585.57	-0.18
K201	38200	11200.00	17108.13	3690.85	306310302	-79.85	-44.44	-13.43	405	585.57	-0.14
K202	38400	1000.00	17308.13	6509.15	341940248	-72.53	-44.51	-13.43	405	585.57	-0.12
K203	38400	14500.00	17308.13	6990.85	348443150	-114.68	-44.68	-13.44	405	585.57	-0.20
K204	39600	1000.00	18508.13	6509.15	384919748	-196.19	-44.02	-13.45	405	585.57	-0.34
K205	39600	2200.00	18508.13	5309.15	370737784	-121.59	-44.06	-13.45	405	585.57	-0.21
K206	39600	4300.00	18508.13	3209.15	352849346	-87.33	-44.15	-13.46	405	585.57	-0.15
K207	39600	5300.00	18508.13	2209.15	347431043	-96.58	-44.20	-13.45	405	585.57	-0.16
K208	39600	6900.00	18508.13	609.15	342921757	-99.47	-44.27	-13.45	405	585.57	-0.17

Continuación del apéndice 17.

Aislador	Posición global XY al centro		Distancias al centro del aislador		$x^2 + y^2$ (mm ⁴)	Combinaciones CR6 y CR7			Diámetro del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Capacidad del aislador propuesto según P _{max} del fabricante DIS	Relación demanda/capacidad
	distancia a x (mm)	distancia a y (mm)	distancia x (mm)	distancia y (mm)		P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)			
K208	39600	6900.00	18508.13	609.15	342921757	-99.47	-44.27	-13.45	405	585.57	-0.17
K209	39600	7800.00	18508.13	290.85	342635284	-75.38	-44.32	-13.45	405	585.57	-0.13
K210	39600	8700.00	18508.13	1190.85	343968810	-80.56	-44.36	-13.45	405	585.57	-0.14
K211	39600	10200.00	18508.13	2690.85	349791355	-75.45	-44.44	-13.46	405	585.57	-0.13
K212	39600	11200.00	18508.13	3690.85	356173052	-95.45	-44.49	-13.46	405	585.57	-0.16
K213	39600	13700.00	18508.13	6190.85	380877293	-98.88	-44.63	-13.46	405	585.57	-0.17
K214	39600	14500.00	18508.13	6990.85	391422650	-99.05	-44.68	-13.46	405	585.57	-0.17
K215	40600	2200.00	19508.13	5309.15	408754034	-154.16	-44.06	-13.46	405	585.57	-0.26
K216	40600	5600.00	19508.13	1909.15	384211802	-95.13	-44.21	-13.46	405	585.57	-0.16
K217	40600	10000.00	19508.13	2490.85	386771266	-98.74	-44.43	-13.46	405	585.57	-0.17
K218	40600	13700.00	19508.13	6190.85	418893543	-115.14	-44.62	-13.47	405	585.57	-0.20
K219	42200	2200.00	21108.13	5309.15	473740034	-230.44	-44.02	-13.50	405	585.57	-0.39
K220	42200	5600.00	21108.13	1909.15	449197802	-241.51	-44.20	-13.50	405	585.57	-0.41
K221	42200	6900.00	21108.13	609.15	445924007	-233.86	-44.29	-13.50	405	585.57	-0.40
K222	42200	8700.00	21108.13	1190.85	446971060	-236.48	-44.37	-13.49	405	585.57	-0.40
K223	42200	10000.00	21108.13	2490.85	451757266	-248.87	-44.41	-13.50	405	585.57	-0.43
K224	42200	13700.00	21108.13	6190.85	483879543	-235.64	-44.59	-13.50	405	585.57	-0.40

Nota. Configuración y determinación de aisladores del fabricante DIS a utilizar en el sistema de aislación y revisión de su capacidad de compresión. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 18.

Propiedades de los aisladores de Dynamic Isolator Systems de 405 mm

Selección de D _i para diseño (mm)	Ingreso capacidad máxima de desplazamiento D _M deseada en mm	Valor límite de D _M para D _i seleccionado	Chequeo para D _M deseado	Ingreso % de tensión al corte	Altura de elastómeros h, calculada (mm)	t según D _i seleccionado	Altura total calculada del aislador H (mm)	Valores límites para H según D _i seleccionado (mm)		Chequeo para H calculada
								mínimo	máximo	
405	200	200	ok	90.909%	220	25	270	175	330	ok

Continuación del apéndice 18.

Seleccione diámetro para núcleo de plomo D _L (mm)	Parámetro máximo para D _L , según D _L seleccionado (mm)	Chequeo para D _L seleccionad o	Ingrese módulo de corte del plomo G (N/mm ²)	Chequeo para G seleccionad o	Qd calculado (kN)	Qd límite según DL seleccionado (kN)	Chequeo para Qd, según D _L seleccionad o	Ingrese módulo de corte del caucho G (N/mm ²)	Chequeo para G seleccionado
55	125	ok	10	ok	23.76	110	ok	0.4	Ok

Rigidez plástica calculada, kd (kN/mm)	Límites para cálculo de Kd (kN/mm)		Chequeo para kd calculada	Rigidez elástica ke calculada (kN/mm)	Dy calculada mm	Fy calculada kN	F máxima para DM deseado kN	β _{eff}	Factor de forma S	Ec	Rigidez a compresión vertical Kv kN/mm	Rigidez efectiva keff	Ceff
	mínimo	máximo											
0.23	0.3	1.6	kd muy baja	2.3	11.48	26.4	69.76	3.28%	12.66	1.00	585.57	0.35	0.009

t de lámina de caucho asumida 8 mm

k asumido de 2000 Mpa

Nota. Cálculo de propiedades de los aisladores de Dynamic Isolator Systems de 405 mm diseñados. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 19.

Relación de esbeltez Ar y estimación del corte de muros en X

Nomenclatura del Muro	Longitud del muro, L _w (m)	espesor T _w a utilizar (m)	Clasificación según A _r	Área A _{v x,y} (m ²)	4.5.1-1 (b) Área A _{v x,y} (m ²)	Estimación del corte	
						T _w *L _w ²	$\frac{T_w * L_w^2}{\sum T_w * L_w^2}$
A12	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %
A22	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %
B3	2.50	0.16	intermedio	0.40	0.40	1.000	1.58 %
B7	2.80	0.16	intermedio	0.45	0.45	1.254	1.99 %
B16	3.10	0.16	intermedio	0.50	0.50	1.538	2.44 %
B26	2.80	0.16	intermedio	0.45	0.45	1.254	1.99 %
B29	2.50	0.16	intermedio	0.40	0.40	1.000	1.58 %
C1	1.60	0.16	esbelto	0.26	0.26	0.410	0.65 %
C33	1.60	0.16	esbelto	0.26	0.26	0.410	0.65 %
D10	1.30	0.16	esbelto	0.21	0.21	0.270	0.43 %
D14	1.30	0.16	esbelto	0.21	0.21	0.270	0.43 %
D20	1.30	0.16	esbelto	0.21	0.21	0.270	0.43 %
D24	1.30	0.16	esbelto	0.21	0.21	0.270	0.43 %
E2	1.50	0.16	esbelto	0.24	0.24	0.360	0.57 %
E5	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %
E9	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %

Continuación del apéndice 19.

Nomenclatura del Muro	Longitud del muro, L _w (m)	espesor T _w a utilizar (m)	Clasificación según A _r	Área A _{v x,y} (m ²)	4.5.1-1 (b)	Estimación del corte	
					Área A _{v x,y} (m ²)	T _w *L _w ²	$\frac{T_w * L_w^2}{\sum T_w * L_w^2}$
E13	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.92 %
E16	2.50	0.16	intermedio	0.40	0.40	1.000	1.58 %
E19	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.92 %
E23	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %
E28	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %
E32	1.50	0.16	esbelto	0.24	0.24	0.360	0.57 %
F1	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.92 %
F12	2.70	0.16	intermedio	0.43	0.43	1.166	1.85 %
F19	2.70	0.16	intermedio	0.43	0.43	1.166	1.85 %
F33	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.92 %
G1	2.70	0.16	intermedio	0.43	0.43	1.166	1.85 %
G8	2.90	0.16	intermedio	0.46	0.46	1.346	2.13 %
G16	9.70	0.16	muy corto	1.55	1.55	15.054	23.86 %
G24	2.90	0.16	intermedio	0.46	0.46	1.346	2.13 %
G32	2.70	0.16	intermedio	0.43	0.43	1.166	1.85 %
H2	1.50	0.16	esbelto	0.24	0.24	0.360	0.57 %
H15	3.90	0.16	intermedio	0.62	0.62	2.434	3.86 %
H28	3.90	0.16	intermedio	0.62	0.62	2.434	3.86 %
H31	1.50	0.16	esbelto	0.24	0.24	0.360	0.57 %
I1	2.70	0.16	intermedio	0.43	0.43	1.166	1.85 %
I9	2.90	0.16	intermedio	0.46	0.46	1.346	2.13 %
I15	1.85	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.548	0.87 %
I24	2.90	0.16	intermedio	0.46	0.46	1.346	2.13 %
I32	2.70	0.16	intermedio	0.43	0.43	1.166	1.85 %
J1	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.92 %
J33	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.92 %
K2	1.50	0.16	esbelto	0.24	0.24	0.360	0.57 %
K5	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %
K28	2.30	0.16	intermedio	0.37	0.37	0.846	1.34 %
K32	1.50	0.16	esbelto	0.24	0.24	0.360	0.57 %
L7	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.82 %
L13	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.82 %
L20	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.82 %
L26	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.82 %
M1	1.60	0.16	esbelto	0.26	0.26	0.410	0.65 %
M14	1.85	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.548	0.87 %
M28	2.20	0.16	intermedio	0.35	0.35	0.774	1.23 %
M33	1.60	0.16	esbelto	0.26	0.26	0.410	0.65 %
N3	2.50	0.16	intermedio	0.40	0.40	1.000	1.58 %
N29	2.50	0.16	intermedio	0.40	0.40	1.000	1.58 %
O8	2.05	0.16	intermedio	0.33	0.33	0.672	1.07 %
O11	2.05	0.16	intermedio	0.33	0.33	0.672	1.07 %
O21	2.05	0.16	intermedio	0.33	0.33	0.672	1.07 %
O25	2.05	0.16	intermedio	0.33	0.33	0.672	1.07 %

Nota. Relación de esbeltez y estimación del corte de muros en X. Diseño Aislado. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 20.

Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en Y

Nomenclatura del muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	Área $A_{v,x,y}$ (m^2)	4.5.1-1 (b)	Estimación del corte	
					Área $A_{v,x,y}$ (m^2)	$T_w \cdot L_w^2$	$\frac{T_w \cdot L_w^2}{\sum T_w \cdot L_w^2}$
1C	3.50	0.16	intermedio	0.56	0.56	1.960	1.68 %
1L	3.80	0.16	intermedio	0.61	0.61	2.310	1.99 %
2B	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
2F	5.00	0.16	corto	0.80	0.80	4.000	3.44 %
2N	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
3F	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
3K	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
4B	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
4N	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
5F	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
5J	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
6B	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
6N	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
7B	6.00	0.16	corto	0.96	0.96	5.760	4.95 %
7J	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	6.55 %
8K	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
9°	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
10ª	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
10E	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
11ª	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
12ª	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
12E	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
13K	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
14ª	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
14J	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	6.55 %
15E	1.40	0.16	esbelto	0.22	0.22	0.314	0.27 %
16N	1.40	0.16	esbelto	0.22	0.22	0.314	0.27 %
17B	6.00	0.16	corto	0.96	0.96	5.760	4.95 %
18N	3.20	0.16	intermedio	0.51	0.51	1.638	1.41 %
19E	1.40	0.16	esbelto	0.22	0.22	0.314	0.27 %
20ª	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
20J	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	6.55 %
21K	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
22ª	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
22E	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
23°	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
24ª	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
24E	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
25°	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
26K	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
27B	6.00	0.16	corto	0.96	0.96	5.760	4.95 %
27M	6.90	0.16	corto	1.10	1.10	7.618	6.55 %
28B	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
28N	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
29F	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
29K	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
30B	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %

Continuación del apéndice 20.

Nomenclatura del muro	Longitud del muro, L_w (m)	espesor T_w a utilizar (m)	Clasificación según A_r	Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	4.5.1-1 (b)	Estimación del corte	
					Área $A_{v\ x,y}$ (m ²)	$T_w * L_w^2$	$\frac{T_w * L_w^2}{\sum T_w * L_w^2}$
30N	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
31F	1.90	0.16	intermedio	0.30	0.30	0.578	0.50 %
31K	1.80	0.16	esbelto	0.29	0.29	0.518	0.45 %
32B	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
32F	5.00	0.16	corto	0.80	0.80	4.000	3.44 %
32N	3.40	0.16	intermedio	0.54	0.54	1.850	1.59 %
33C	3.50	0.16	intermedio	0.56	0.56	1.960	1.68 %
33L	3.80	0.16	intermedio	0.61	0.61	2.310	1.99 %

Nota. Relación de esbeltez A_r y estimación del corte de muros en Y. Diseño aislado. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 21.

Clasificación y cálculo de área de muros, según A_r en la dirección X

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
14	esbelto $9 < A_r \leq 16$	3.30	0.15
45	intermedio $4 < A_r \leq 9$	17.26	0.78
0	corto $2 < A_r \leq 4$	0.00	0.00
1	muy corto $A_r \leq 2$	1.55	0.07

Nota. Clasificación y cálculo de área de muros según A_r en la dirección X. Diseño aislado. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 22.

Clasificación y cálculo de área de muros, según A_r en la dirección Y

Cantidad	Rangos	Área (m ²)	%
0	puntal $A_r > 16$	0.00	0.00
3	esbelto $9 < A_r \leq 16$	0.67	0.02
43	intermedio $4 < A_r \leq 9$	19.55	0.67
9	corto $2 < A_r \leq 4$	8.90	0.31
0	muy corto $A_r \leq 2$	0.00	0.00

Área mínima de muros A_{pTxy} , según 4.5.1-1

$\sum A_{v x}$ (m ²)	$A_{pTxy} = 1.50 \cdot N_A / f_c$	$\sum T_w \cdot L_w^2$ en x
22.11	24.02	63.10
$\sum A_{v y}$ (m ²)	$0.40 \cdot A_{pTxy}$	$\sum T_w \cdot L_w^2$ en y
29.12	9.61	116.33
	$0.03 \cdot N_{01A}$	
	17.25	

$$\text{Chequeo } \sum A_{v x} (22.11) \geq 0.40 \cdot A_{pTxy} (9.61) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \sum A_{v x} (22.11) \geq 0.03 \cdot N_{01A} (17.25) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \sum A_{v y} (29.12) \geq 0.40 \cdot A_{pTxy} (9.61) = \text{Ok}$$

$$\text{Chequeo } \sum A_{v y} (29.12) \geq 0.03 \cdot N_{01A} (17.25) = \text{Ok}$$

Nota. Clasificación y cálculo de área de muros según A_r en la dirección Y. Diseño aislado.
Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 23.

Refuerzo de muros en la dirección X

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo				Acero de refuerzo en extremo derecho				As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002	As total (in ²)				
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	AS _{distribuido} (in ²)	f _y (KSI)				Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{der} (in ²)	f _y (KSI)
A12	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
A22	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
B3	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	16	1.498	70	2	3	0.22	70	1.55	1.24	3.88
B7	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	18	1.685	70	2	3	0.22	70	1.74	1.39	4.25
B16	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	20	1.872	70	2	3	0.22	70	1.92	1.54	4.62
B26	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	18	1.685	70	2	3	0.22	70	1.74	1.39	4.25
B29	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	16	1.498	70	2	3	0.22	70	1.55	1.24	3.88
C1	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	10	0.936	70	2	3	0.22	70	0.99	0.79	2.75
C33	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	10	0.936	70	2	3	0.22	70	0.99	0.79	2.75
D10	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	8	0.749	70	2	3	0.22	70	0.81	0.64	2.38
D14	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	8	0.749	70	2	3	0.22	70	0.81	0.64	2.38
D20	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	8	0.749	70	2	3	0.22	70	0.81	0.64	2.38
D24	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	8	0.749	70	2	3	0.22	70	0.81	0.64	2.38
E2	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	0.93	0.74	2.57
E5	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
E9	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
E13	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
E16	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	16	1.498	70	2	3	0.22	70	1.55	1.24	3.88
E19	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
E23	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
E28	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
E32	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	0.93	0.74	2.57
F1	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
F12	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	17	1.592	70	2	3	0.22	70	1.67	1.34	4.06
F19	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	17	1.592	70	2	3	0.22	70	1.67	1.34	4.06
F33	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
G1	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	17	1.592	70	2	3	0.22	70	1.67	1.34	4.06
G8	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	19	1.779	70	2	3	0.22	70	1.8	1.44	4.44
G16	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	63	5.898	70	2	3	0.22	70	6.01	4.81	12.68
G24	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	19	1.779	70	2	3	0.22	70	1.8	1.44	4.44
G32	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	17	1.592	70	2	3	0.22	70	1.67	1.34	4.06
H2	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	1.15	0.74	2.57
H15	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	25	2.341	70	2	3	0.22	70	2.42	1.93	5.56
H28	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	25	2.341	70	2	3	0.22	70	2.42	1.93	5.56
H31	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	1.15	0.74	2.57
I1	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	17	1.592	70	2	3	0.22	70	1.67	1.34	4.06
I9	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	19	1.779	70	2	3	0.22	70	1.8	1.44	4.44
I15	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.15	0.92	3.13
I24	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	19	1.779	70	2	3	0.22	70	1.8	1.44	4.44
I32	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	17	1.592	70	2	3	0.22	70	1.67	1.34	4.06
J1	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
J33	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
K2	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	0.93	0.74	2.57

Continuación del apéndice 23.

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo				Acero de refuerzo en extremo derecho								As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002	As total (in ²)
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	As _{distribuido} (in ²)	f _y (KSI)	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{der} (in ²)	f _y (KSI)			
K5	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
K28	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	15	1.404	70	2	3	0.22	70	1.43	1.14	3.69
K32	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	0.93	0.74	2.57
L7	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
L13	4	4	0.8	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	4	4	0.8	70	1.29	0.89	5.26
L20	4	4	0.8	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	4	4	0.8	70	1.29	0.89	5.26
L26	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
M1	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	10	0.936	70	2	3	0.22	70	0.99	0.79	2.75
M14	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.19	0.92	3.13
M28	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	14	1.311	70	2	3	0.22	70	1.36	1.09	3.50
M33	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	10	0.936	70	2	3	0.22	70	0.99	0.79	2.75
N3	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	16	1.498	70	2	3	0.22	70	1.55	1.24	3.88
N29	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	16	1.498	70	2	3	0.22	70	1.55	1.24	3.88
O8	4	3	0.44	60	6 x 6 3/3	13	1.217	60	4	3	0.44	60	1.27	1.02	4.19
O11	4	3	0.44	60	6 x 6 3/3	13	1.217	60	4	3	0.44	60	1.27	1.02	4.19
O21	4	3	0.44	60	6 x 6 3/3	13	1.217	60	4	3	0.44	60	1.27	1.02	4.19
O25	4	3	0.44	60	6 x 6 3/3	13	1.217	60	4	3	0.44	60	1.27	1.02	4.19

Nota. Refuerzo de muros en la dirección X. Diseño de caso aislado. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 24.

Refuerzo de muros en la dirección Y

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo				Acero de refuerzo en extremo derecho								As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002	As total (in ²)
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	As _{distribuido} (in ²)	f _y (KSI)	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{der} (in ²)	f _y (KSI)			
1C	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.17	1.74	5.00
1L	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	24	2.247	70	2	3	0.22	70	2.36	1.88	5.37
2B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
2F	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	32	2.996	70	2	3	0.22	70	3.1	2.48	6.87
2N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
3F	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
3K	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
4B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
4N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
5F	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
5J	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
6B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
6N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00

Continuación del apéndice 24.

Muro	Acero de refuerzo en extremo izquierdo				Acero de refuerzo en extremo derecho				Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{der} (in ²)	f _y (KSI)	As req Etabs (in ²)	As mínima 0.002 (in ²)	As total (in ²)
	Cantidad de varillas	Diámetro de la varilla	As _{izq} (in ²)	f _y (KSI)	Tipo de refuerzo	# de varillas en L _w	As _{distribuido} (in ²)	f _y (KSI)							
7B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	39	3.651	70	2	3	0.22	70	3.72	2.98	8.18
7J	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	45	4.213	70	2	3	0.22	70	4.28	3.42	9.31
8K	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
9O	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
10A	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
10E	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
11O	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
12A	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
12E	4	4	0.8	60	6 x 6 3/3	11	1.030	60	4	4	0.8	60	1.12	0.89	5.26
13K	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
14A	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
14J	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	45	4.213	70	2	3	0.22	70	4.28	3.42	9.31
15E	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	0.87	0.69	2.57
16N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	0.87	0.69	2.57
17B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	39	3.651	70	2	3	0.22	70	3.72	2.98	8.18
18N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	20	1.872	70	2	3	0.22	70	1.98	1.59	4.62
19E	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	9	0.843	70	2	3	0.22	70	0.87	0.69	2.57
20A	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
20J	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	45	4.213	70	2	3	0.22	70	4.28	3.42	9.31
21K	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
22A	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
22E	4	4	0.8	60	6 x 6 3/3	11	1.030	60	4	4	0.8	60	1.12	0.89	5.26
23O	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
24A	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
24E	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
25O	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
26K	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
27B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	39	3.651	70	2	3	0.22	70	3.72	2.98	8.18
27M	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	45	4.213	70	2	3	0.22	70	4.28	3.42	9.31
28B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
28N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
29F	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
29K	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
30B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
30N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
31F	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	12	1.123	70	2	3	0.22	70	1.18	0.94	3.13
31K	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	11	1.030	70	2	3	0.22	70	1.12	0.89	2.94
32B	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
32F	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	32	2.996	70	2	3	0.22	70	3.1	2.48	6.87
32N	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.11	1.69	5.00
33C	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	22	2.060	70	2	3	0.22	70	2.17	1.74	5.00
33L	2	3	0.22	70	6 x 6 3/3	24	2.247	70	2	3	0.22	70	2.36	1.88	5.37

Nota. Refuerzo de muros en la dirección Y. Diseño aislado. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 25.

Diseño de muros en el sentido X, caso aislado

Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	deformación								
				elástica				Variables A _n en función fy				
				δ (in)				A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
A12	173.716	210.6308	24.116	0.63	0.075	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
A22	173.719	205.5257	23.585	0.63	0.075	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
B3	182.217	217.0386	24.47	0.63	0.073	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
B7	262.385	357.6813	37.829	0.63	0.093	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
B16	228.474	415.5363	43.13	0.63	0.073	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
B26	262.786	366.9338	37.591	0.63	0.093	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
B29	182.569	260.526	29.888	0.63	0.073	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
C1	112.624	80.571	16.848	0.63	0.057	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
C33	113.05	65.5537	10.171	0.63	0.057	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
D10	79.673	61.8194	14.798	0.63	0.048	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
D14	85.664	46.4584	9.876	0.63	0.051	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
D20	85.983	62.1278	14.653	0.63	0.052	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
D24	79.938	44.2466	9.044	0.63	0.048	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E2	79.718	74.1622	16.066	0.63	0.036	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E5	141.977	179.4588	20.423	0.63	0.061	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E9	126.128	270.7531	32.434	0.63	0.055	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E13	105.132	82.1717	13.879	0.63	0.040	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E16	108.82	248.0789	30.942	0.63	0.043	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E19	105.461	111.4946	20.698	0.63	0.040	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E23	125.947	206.4587	22.645	0.63	0.055	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E28	141.918	238.0097	31.117	0.63	0.061	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
E32	79.86	66.5671	13.942	0.63	0.036	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
F1	77.532	67.0436	14.256	0.63	0.030	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
F12	106.55	157.3051	38.024	0.63	0.031	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
F19	107.158	201.6785	48.062	0.63	0.031	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
F33	77.939	52.6809	8.704	0.63	0.030	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
G1	125.852	146.5884	29.336	0.63	0.037	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
G8	160.484	370.9504	39.868	0.63	0.055	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
G16	464.425	3062.1684	197.084	0.63	0.048	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
G24	160.756	344.2802	36.97	0.63	0.055	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
G32	125.326	208.9918	32.602	0.63	0.037	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
H2	103.599	94.9814	24.388	0.63	0.047	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
H15	171.051	440.2653	44.676	0.63	0.044	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
H28	170.551	515.662	55.706	0.63	0.044	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
H31	103.661	57.4663	15.326	0.63	0.047	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
I1	126.6	149.0833	29.872	0.63	0.037	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
I9	165.725	317.3068	33.414	0.63	0.057	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
I15	138.929	135.3425	26.447	0.63	0.054	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
I24	167.638	327.1296	38.33	0.63	0.058	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
I32	126.536	207.5892	32.965	0.63	0.037	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
J1	81.141	70.427	15.145	0.63	0.031	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
J33	81.15	53.3211	8.351	0.63	0.031	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	
K2	82.077	77.9547	17.211	0.63	0.037	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537	

Continuación del apéndice 25.

deformación											
Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	elástica			Variables A _n en función fy				
				δ (in)			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K5	147.092	195.9299	22.641	0.63	0.064	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
K28	146.851	235.1416	31.136	0.63	0.064	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
K32	82.066	66.6619	13.424	0.63	0.037	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
L7	115.154	121.6381	26.072	0.63	0.046	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
L13	76.749	85.0568	19.431	0.63	0.031	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
L20	74.49	149.53	32.83	0.63	0.030	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
L26	115.54	84.15	19.25	0.63	0.046	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
M1	119.53	86.58	18.75	0.63	0.052	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
M14	123.00	145.08	28.88	0.63	0.048	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
M28	110.69	119.94	45.24	0.63	0.038	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
M33	120.60	66.93	10.51	0.63	0.052	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
N3	184.96	219.18	25.21	0.63	0.074	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
N29	185.53	271.59	31.48	0.63	0.074	0.00418	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
O8	171.68	150.99	17.66	0.63	0.083	0.00418	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
O11	168.10	275.50	39.26	0.63	0.082	0.00418	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
O21	164.42	158.52	18.39	0.63	0.080	0.00418	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
O25	171.34	287.77	41.89	0.63	0.083	0.00418	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343

Muros	Deriva equivalente de la metodología de Priestley				Chequeo K _u ≤ K _{u-MAX}
A12	0.01106	0.50417	0.18937	0.19497	Ok
A22	0.01106	0.50417	0.18937	0.19497	Ok
B3	0.01037	0.47984	0.18425	0.19772	Ok
B7	0.00912	0.44986	0.20545	0.21025	Ok
B16	0.00870	0.42568	0.18261	0.20822	Ok
B26	0.00912	0.44986	0.20561	0.21030	Ok
B29	0.01037	0.47984	0.18441	0.19776	Ok
C1	0.01562	0.63725	0.16085	0.17530	Ok
C33	0.01562	0.63725	0.16109	0.17536	Ok
D10	0.01915	0.73815	0.15178	0.16595	Ok
D14	0.01903	0.73815	0.15574	0.16705	Ok
D20	0.01902	0.73815	0.15595	0.16710	Ok
D24	0.01915	0.73815	0.15195	0.16600	Ok
E2	0.01718	0.66640	0.12487	0.16684	Ok
E5	0.01132	0.50417	0.17457	0.19046	Ok
E9	0.01145	0.50417	0.16718	0.18834	Ok
E13	0.01382	0.56821	0.13161	0.17634	Ok
E16	0.01086	0.47984	0.15254	0.18876	Ok
E19	0.01382	0.56821	0.13176	0.17637	Ok
E23	0.01145	0.50417	0.16709	0.18832	Ok
E28	0.01133	0.50417	0.17454	0.19045	Ok
E32	0.01718	0.66640	0.12494	0.16685	Ok
F1	0.01406	0.56821	0.11959	0.17340	Ok
F12	0.01036	0.45911	0.12093	0.18912	Ok

Continuación del apéndice 25.

Muros	Deriva equivalente de la metodología de Priestley				Chequeo $K_u \leq K_{u-MAX}$
F19	0.01036	0.45911	0.12113	0.18917	Ok
F33	0.01405	0.56821	0.11977	0.17345	Ok
G1	0.01028	0.45911	0.12737	0.19060	Ok
G8	0.00944	0.44124	0.16438	0.19923	Ok
G16	0.00406	0.27212	0.14549	0.14773	Ok
G24	0.00944	0.44124	0.16448	0.19925	Ok
G32	0.01028	0.45911	0.12719	0.19056	Ok
H2	0.01686	0.66640	0.13722	0.16999	Ok
H15	0.00757	0.37938	0.14691	0.21209	Ok
H28	0.00757	0.37938	0.14677	0.21206	Ok
H31	0.01686	0.66640	0.13725	0.16999	Ok
I1	0.01027	0.45911	0.12762	0.19066	Ok
I9	0.00941	0.44124	0.16633	0.19976	Ok
I15	0.01382	0.57816	0.14870	0.17947	Ok
I24	0.00940	0.44124	0.16705	0.19995	Ok
I32	0.01027	0.45911	0.12760	0.19066	Ok
J1	0.01402	0.56821	0.12116	0.17378	Ok
J33	0.01402	0.56821	0.12116	0.17378	Ok
K2	0.01715	0.66640	0.12609	0.16714	Ok
K5	0.01128	0.50417	0.17695	0.19117	Ok
K28	0.01128	0.50417	0.17684	0.19113	Ok
K32	0.01715	0.66640	0.12608	0.16714	Ok
L7	0.01436	0.58867	0.13659	0.17594	Ok
L13	0.01472	0.58867	0.16381	0.17160	Ok
L20	0.01474	0.58867	0.16291	0.17136	Ok
L26	0.01436	0.58867	0.13676	0.17598	Ok
M1	0.01578	0.63725	0.14435	0.17357	Ok
M14	0.01397	0.57816	0.14165	0.17759	Ok
M28	0.01221	0.51800	0.12931	0.18161	Ok
M33	0.01577	0.63725	0.14488	0.17371	Ok
N3	0.01035	0.47984	0.18544	0.19808	Ok
N29	0.01035	0.47984	0.18568	0.19816	Ok
O8	0.01104	0.54127	0.20417	0.21007	Ok
O11	0.01107	0.54127	0.20234	0.20951	Ok
O21	0.01110	0.54127	0.20045	0.20894	Ok
O25	0.01104	0.54127	0.20400	0.21002	Ok

Nota. Diseño de muros en el sentido X, caso aislado. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 26.

Diseño de muros en el sentido Y, caso aislado

Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	deformación							
				elástica			Variables A _n en función fy				
				δ (in)			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
1C	116.09	155.16	31.93	0.33	0.028	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
1L	117.46	178.20	36.61	0.33	0.026	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
2B	198.06	189.61	29.15	0.33	0.048	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
2F	203.82	619.43	61.68	0.33	0.041	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
2N	193.24	392.95	45.11	0.33	0.047	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
3F	79.88	72.87	9.75	0.33	0.042	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
3K	77.08	56.42	7.52	0.33	0.043	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
4B	133.77	300.36	30.61	0.33	0.032	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
4N	134.05	154.21	33.63	0.33	0.033	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
5F	103.42	73.43	9.98	0.33	0.040	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
5J	97.86	67.16	9.03	0.33	0.039	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
6B	153.70	159.39	29.91	0.33	0.037	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
6N	156.05	292.59	26.43	0.33	0.038	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
7B	259.25	1051.61	79.98	0.33	0.039	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
7J	403.56	1112.46	82.72	0.33	0.058	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
8K	110.75	89.72	12.24	0.33	0.042	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
9O	143.98	92.11	24.12	0.33	0.035	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
10A	185.21	176.81	29.29	0.33	0.045	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
10E	96.13	60.22	12.66	0.33	0.038	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
11O	143.64	93.14	23.91	0.33	0.035	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
12A	130.85	312.45	33.69	0.33	0.032	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
12E	60.00	48.11	9.60	0.33	0.033	0.00281	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
13K	123.89	75.36	9.94	0.33	0.047	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
14A	181.91	180.32	28.47	0.33	0.044	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
14J	301.37	1254.62	98.83	0.33	0.039	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
15E	79.49	24.68	8.01	0.33	0.038	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
16N	60.00	33.76	4.64	0.33	0.043	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
17B	188.67	362.51	73.38	0.33	0.028	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
18N	172.95	156.84	31.36	0.33	0.044	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
19E	79.29	24.71	8.02	0.33	0.038	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
20A	181.99	181.09	28.64	0.33	0.044	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
20J	327.88	1274.09	100.63	0.33	0.047	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
21K	130.82	76.08	10.03	0.33	0.050	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
22A	130.59	314.34	34.06	0.33	0.032	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
22E	60.00	48.50	9.86	0.33	0.033	0.00281	1.413	2.468	1.391	4.725	15.343
23O	150.93	95.67	24.25	0.33	0.037	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
24A	184.75	177.93	29.49	0.33	0.045	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
24E	96.47	60.66	12.77	0.33	0.038	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
25O	143.98	94.27	24.25	0.33	0.035	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
26K	111.77	90.04	12.18	0.33	0.043	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
27B	259.39	1056.33	80.56	0.33	0.039	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
27M	404.95	1125.76	83.42	0.33	0.058	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537

Continuación apéndice 26.

deformación											
Muro	P _u (kip)	M _u (kip-ft)	V _u (kip)	elástica			Variables A _n en función fy				
				δ (in)			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
28B	154.07	160.85	30.13	0.33	0.037	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
28N	156.33	294.30	26.47	0.33	0.038	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
29F	103.82	74.01	10.06	0.33	0.040	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
29K	97.71	67.81	9.12	0.33	0.039	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
30B	133.96	301.64	30.76	0.33	0.033	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
30N	134.34	155.30	33.78	0.33	0.033	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
31F	79.98	72.94	9.76	0.33	0.042	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
31K	76.98	56.73	7.55	0.33	0.043	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
32B	197.96	191.07	29.31	0.33	0.048	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
32F	203.74	623.55	61.97	0.33	0.041	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
32N	194.27	393.12	45.20	0.33	0.047	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
33C	115.43	156.50	32.08	0.33	0.027	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537
33L	117.58	179.75	37.07	0.33	0.026	0.00281	1.576	3.161	1.496	5.895	22.537

Deriva equivalente de la metodología de Priestley						
Muros	Priestley			Chequeo K _u ≤ K _{u-MAX}		
1C	0.00841	0.39989	0.11650	0.20193	Ok	
1L	0.00788	0.38411	0.11497	0.20637	Ok	
2B	0.00839	0.40576	0.14144	0.20549	Ok	
2F	0.00630	0.33992	0.14095	0.19048	Ok	
2N	0.00840	0.40576	0.14011	0.20518	Ok	
3F	0.01378	0.56821	0.15541	0.17681	Ok	
3K	0.01444	0.58867	0.15566	0.17501	Ok	
4B	0.00855	0.40576	0.12372	0.20148	Ok	
4N	0.00855	0.40576	0.12379	0.20150	Ok	
5F	0.01384	0.56821	0.13087	0.17615	Ok	
5J	0.01453	0.58867	0.12872	0.17394	Ok	
6B	0.00850	0.40576	0.12921	0.20268	Ok	
6N	0.00850	0.40576	0.12986	0.20283	Ok	
7B	0.00554	0.31660	0.13072	0.17623	Ok	
7J	0.00497	0.30139	0.15935	0.16676	Ok	
8K	0.01377	0.56821	0.13406	0.17695	Ok	
9O	0.00853	0.40576	0.12653	0.20209	Ok	
10A	0.00842	0.40576	0.13790	0.20466	Ok	
10E	0.01454	0.58867	0.12794	0.17375	Ok	
11O	0.00853	0.40576	0.12644	0.20207	Ok	
12A	0.00856	0.40576	0.12291	0.20131	Ok	
12E	0.01329	0.58867	0.18273	0.19013	Ok	
13K	0.01366	0.56821	0.13978	0.17842	Ok	
14A	0.00843	0.40576	0.13699	0.20445	Ok	
14J	0.00504	0.30139	0.13198	0.16676	Ok	
15E	0.01823	0.69971	0.12965	0.16514	Ok	

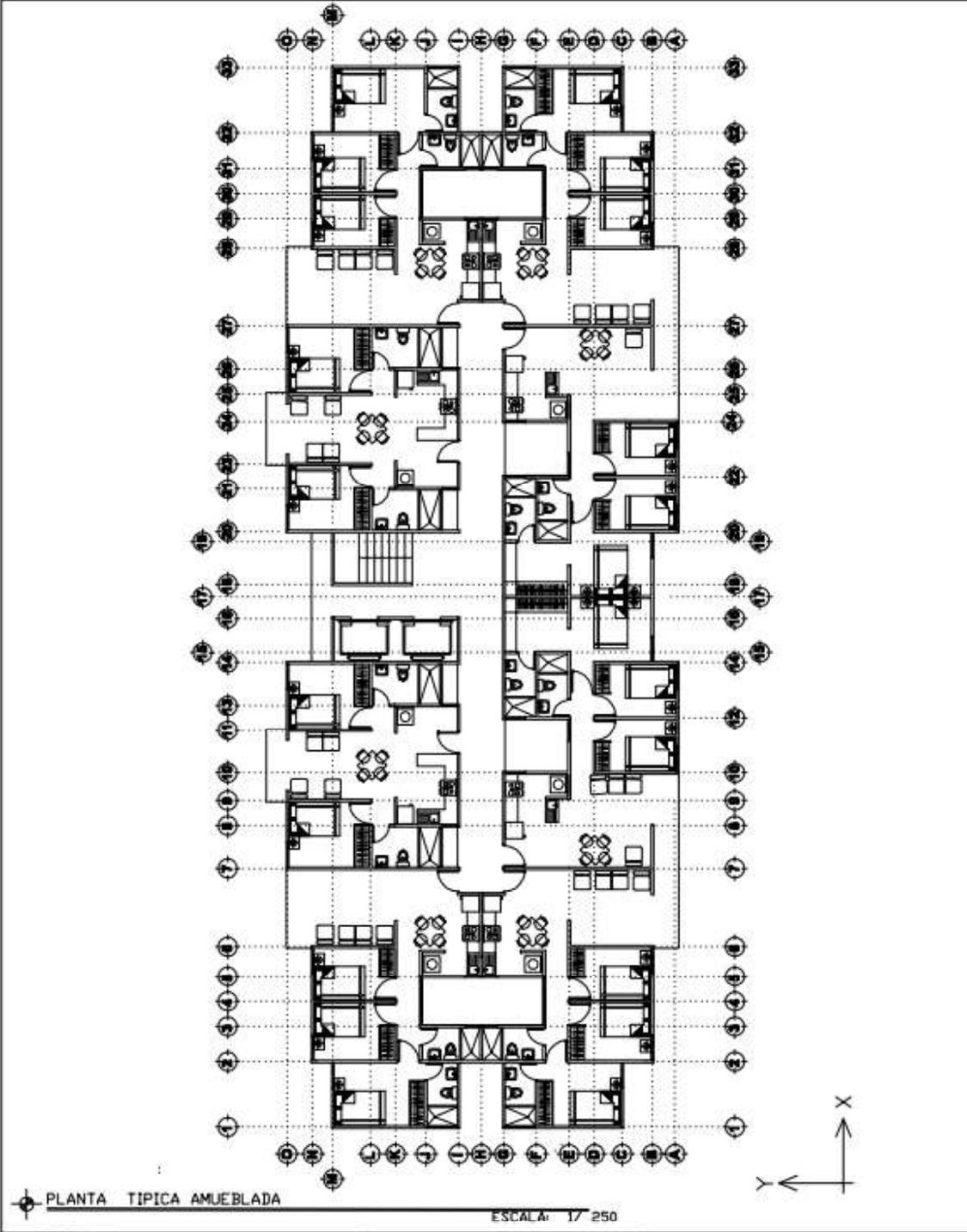
Continuación apéndice 26.

Muros	Deriva equivalente de la metodología de Priestley				Chequeo $K_u \leq K_{u-MAX}$
16N	0.01807	0.69971	0.16468	0.16661	Ok
17B	0.00559	0.31660	0.11881	0.17623	Ok
18N	0.00885	0.41863	0.13522	0.20118	Ok
19E	0.01824	0.69971	0.12954	0.16511	Ok
20A	0.00843	0.40576	0.13701	0.20445	Ok
20J	0.00501	0.30139	0.14716	0.16676	Ok
21K	0.01360	0.56821	0.14280	0.17922	Ok
22A	0.00856	0.40576	0.12284	0.20129	Ok
22E	0.01329	0.58867	0.18273	0.19013	Ok
23O	0.00851	0.40576	0.12845	0.20251	Ok
24A	0.00842	0.40576	0.13777	0.20463	Ok
24E	0.01454	0.58867	0.12809	0.17378	Ok
25O	0.00853	0.40576	0.12653	0.20209	Ok
26K	0.01376	0.56821	0.13450	0.17707	Ok
27B	0.00554	0.31660	0.13074	0.17623	Ok
27M	0.00497	0.30139	0.15957	0.16676	Ok
28B	0.00850	0.40576	0.12932	0.20270	Ok
28N	0.00850	0.40576	0.12994	0.20284	Ok
29F	0.01383	0.56821	0.13104	0.17619	Ok
29K	0.01453	0.58867	0.12866	0.17392	Ok
30B	0.00855	0.40576	0.12377	0.20149	Ok
30N	0.00855	0.40576	0.12387	0.20152	Ok
31F	0.01378	0.56821	0.15546	0.17683	Ok
31K	0.01444	0.58867	0.15559	0.17499	Ok
32B	0.00839	0.40576	0.14141	0.20549	Ok
32F	0.00630	0.33992	0.14093	0.19048	Ok
32N	0.00840	0.40576	0.14040	0.20525	Ok
33C	0.00841	0.39989	0.11632	0.20189	Ok
33L	0.00788	0.38411	0.11500	0.20638	Ok
1C	0.00841	0.39989	0.11650	0.20193	Ok
1L	0.00788	0.38411	0.11497	0.20637	Ok
2B	0.00839	0.40576	0.14144	0.20549	Ok
2F	0.00630	0.33992	0.14095	0.19048	Ok
2N	0.00840	0.40576	0.14011	0.20518	Ok

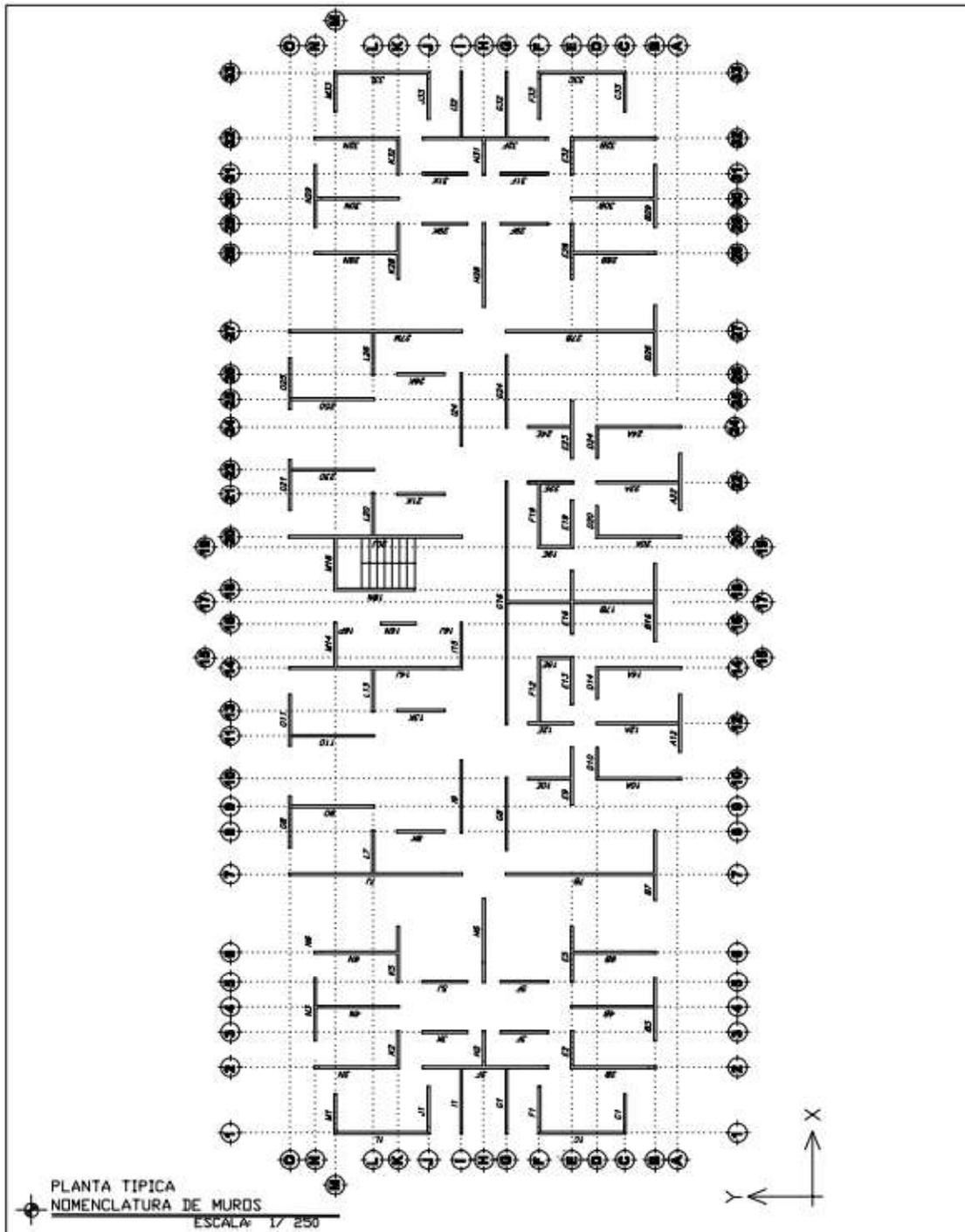
Nota. Diseño de muros en el sentido Y, caso aislado. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 27.

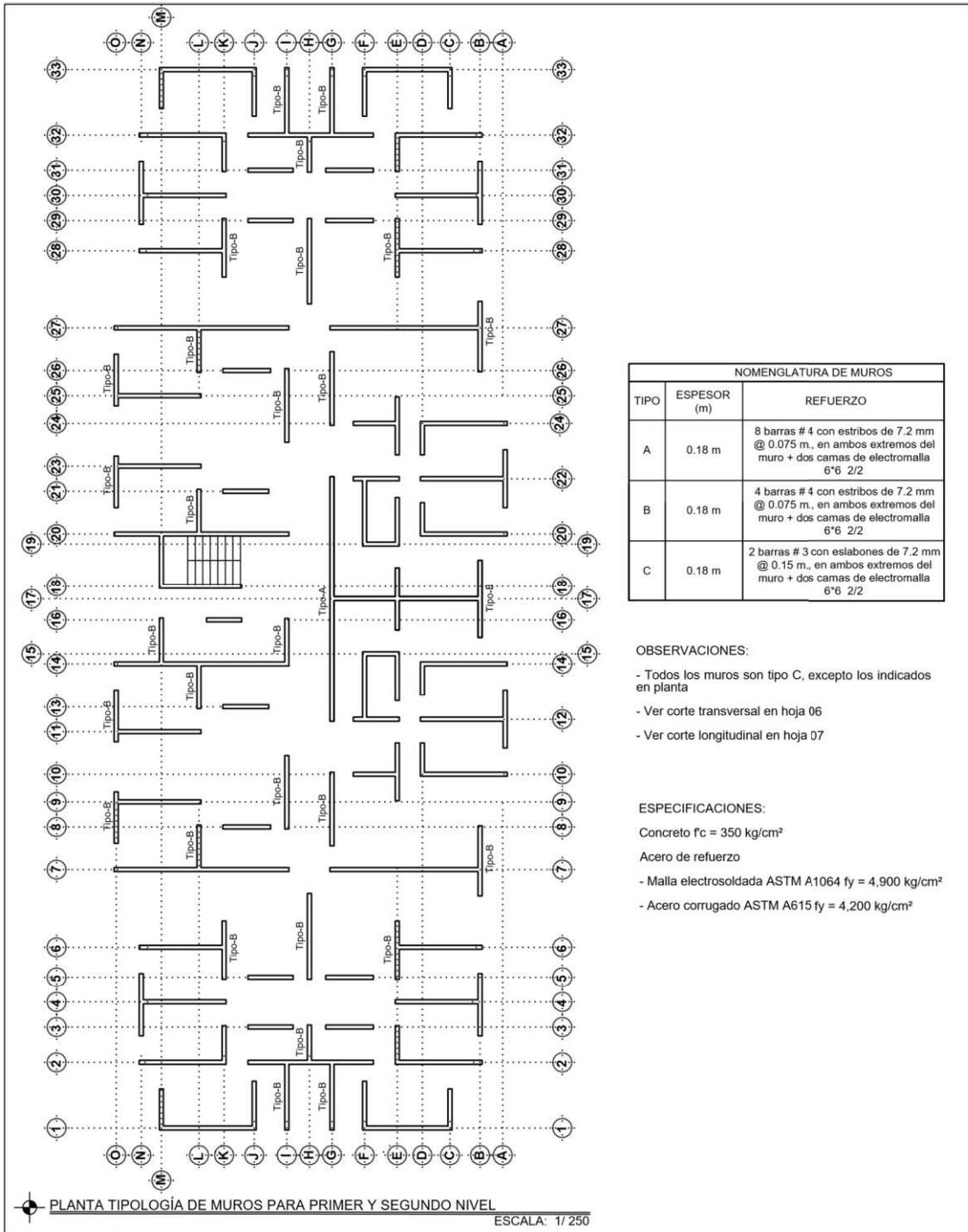
Juego de planos edificación sin aislación basal



Continuación del apéndice 27.



Continuación del apéndice 27.



NOMENGLATURA DE MUROS		
TIPO	ESPESOR (m)	REFUERZO
A	0.18 m	8 barras # 4 con estribos de 7.2 mm @ 0.075 m, en ambos extremos del muro + dos camas de electromalla 6"6 2/2
B	0.18 m	4 barras # 4 con estribos de 7.2 mm @ 0.075 m, en ambos extremos del muro + dos camas de electromalla 6"6 2/2
C	0.18 m	2 barras # 3 con eslabones de 7.2 mm @ 0.15 m, en ambos extremos del muro + dos camas de electromalla 6"6 2/2

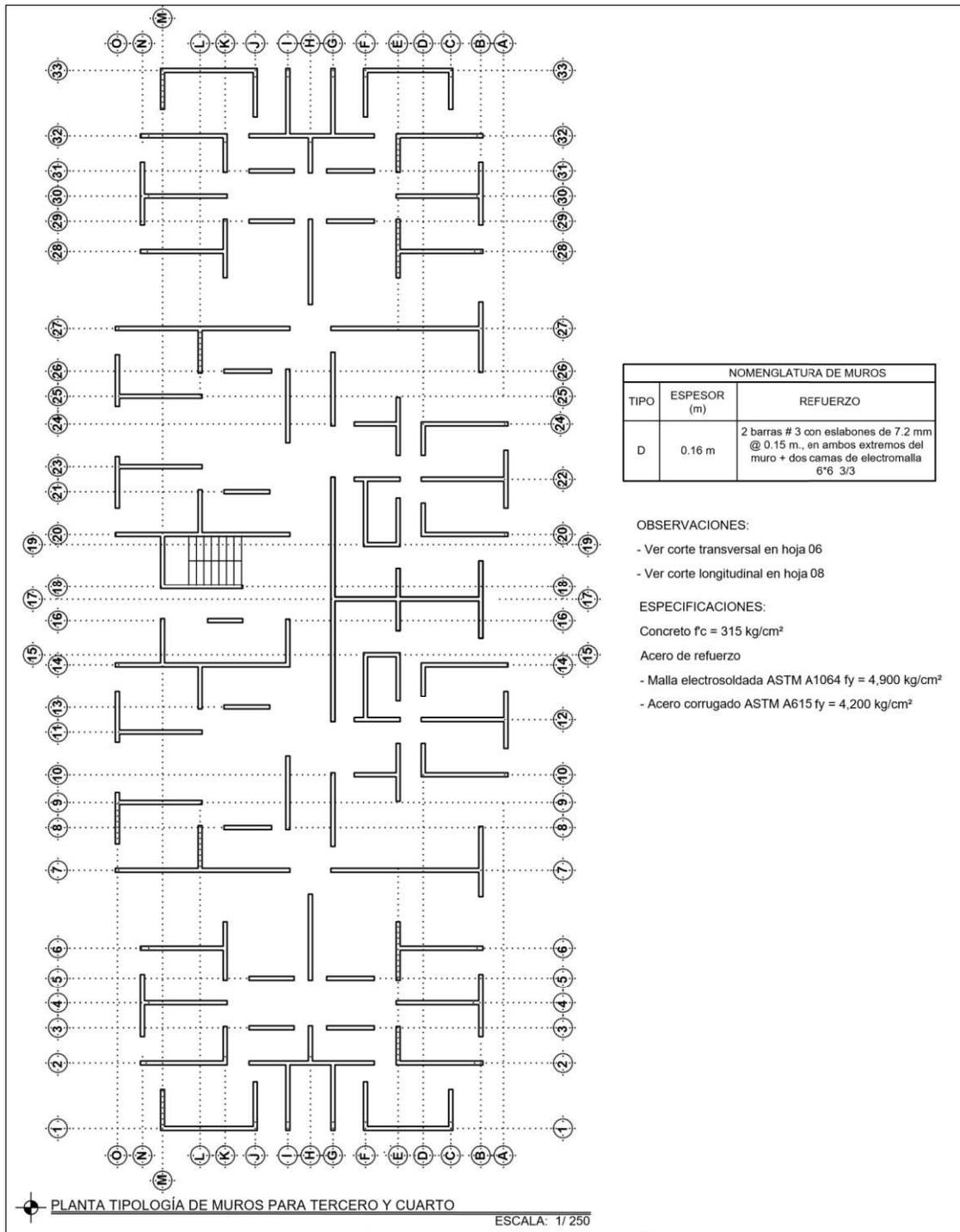
OBSERVACIONES:

- Todos los muros son tipo C, excepto los indicados en planta
- Ver corte transversal en hoja 06
- Ver corte longitudinal en hoja 07

ESPECIFICACIONES:

- Concreto $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo
 - Malla electrosoldada ASTM A1064 $f_y = 4,900 \text{ kg/cm}^2$
 - Acero corrugado ASTM A615 $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

Continuación del apéndice 27.



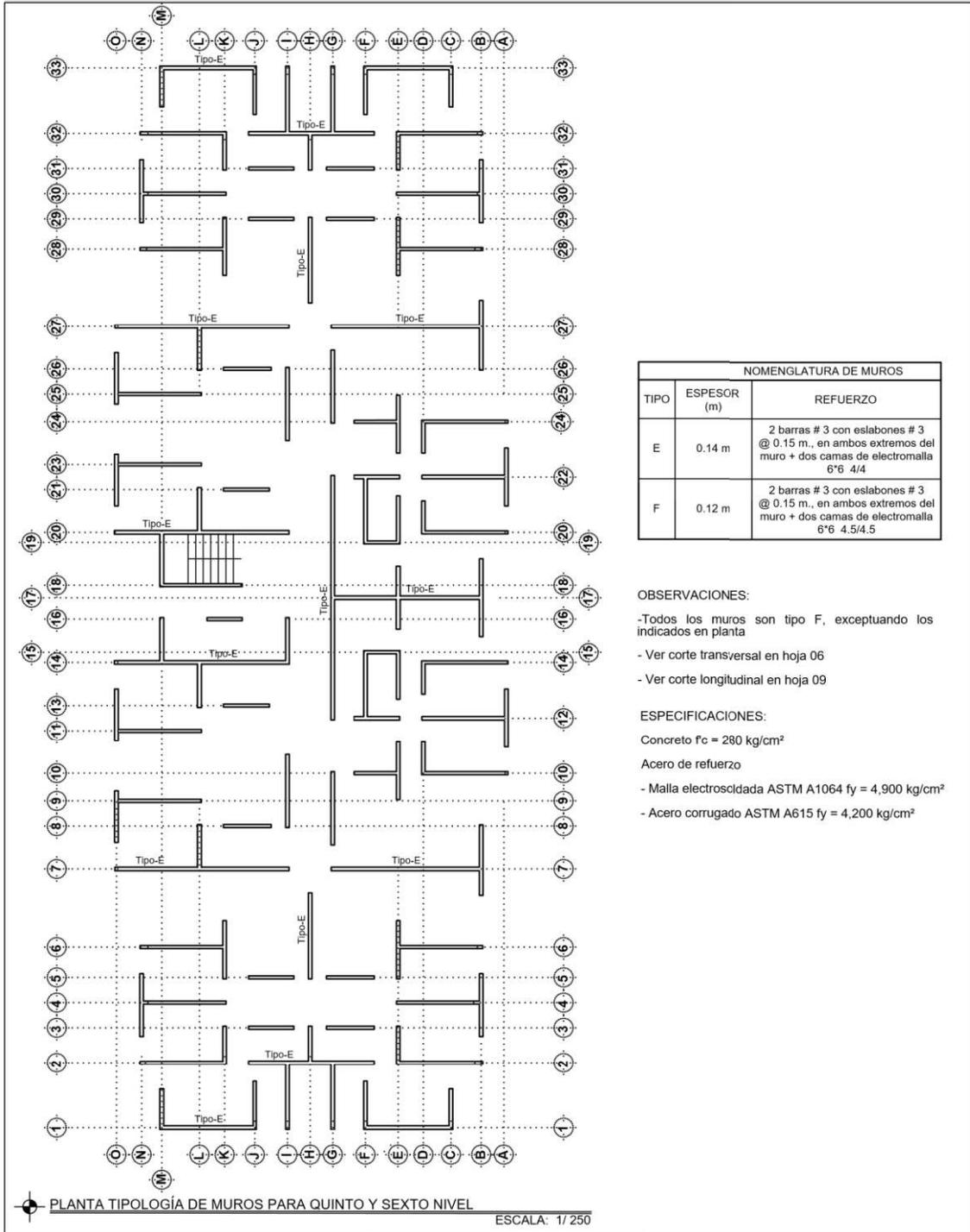
NOMENGLATURA DE MUROS		
TIPO	ESPESOR (m)	REFUERZO
D	0.16 m	2 barras # 3 con estabones de 7.2 mm @ 0.15 m., en ambos extremos del muro + dos camas de electromalla 6'6 3/3

OBSERVACIONES:
 - Ver corte transversal en hoja 06
 - Ver corte longitudinal en hoja 08

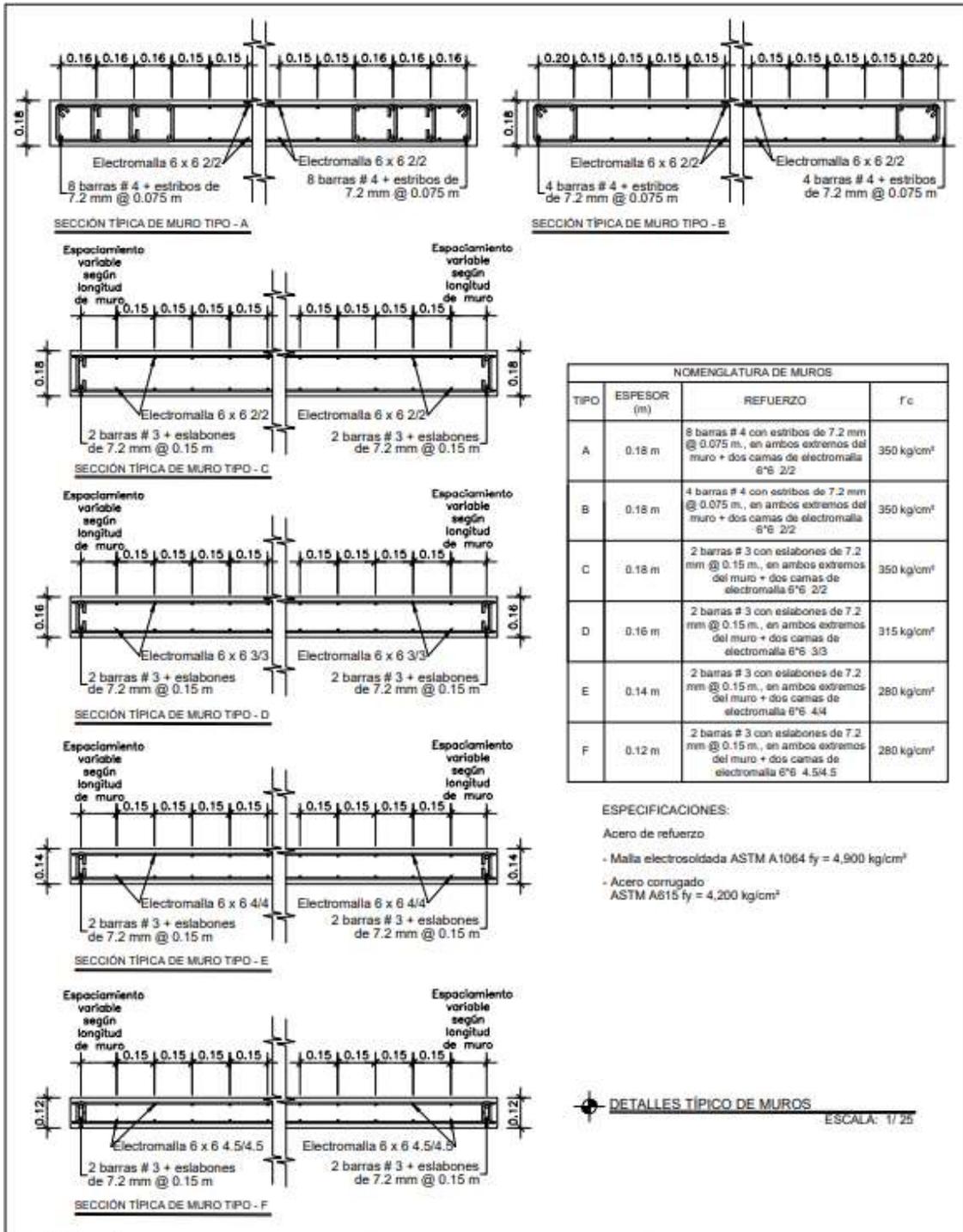
ESPECIFICACIONES:
 Concreto $f_c = 315 \text{ kg/cm}^2$
 Acero de refuerzo
 - Malla electrosoldada ASTM A1064 $f_y = 4,900 \text{ kg/cm}^2$
 - Acero corrugado ASTM A615 $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

PLANTA TIPOLOGÍA DE MUROS PARA TERCERO Y CUARTO ESCALA: 1/250

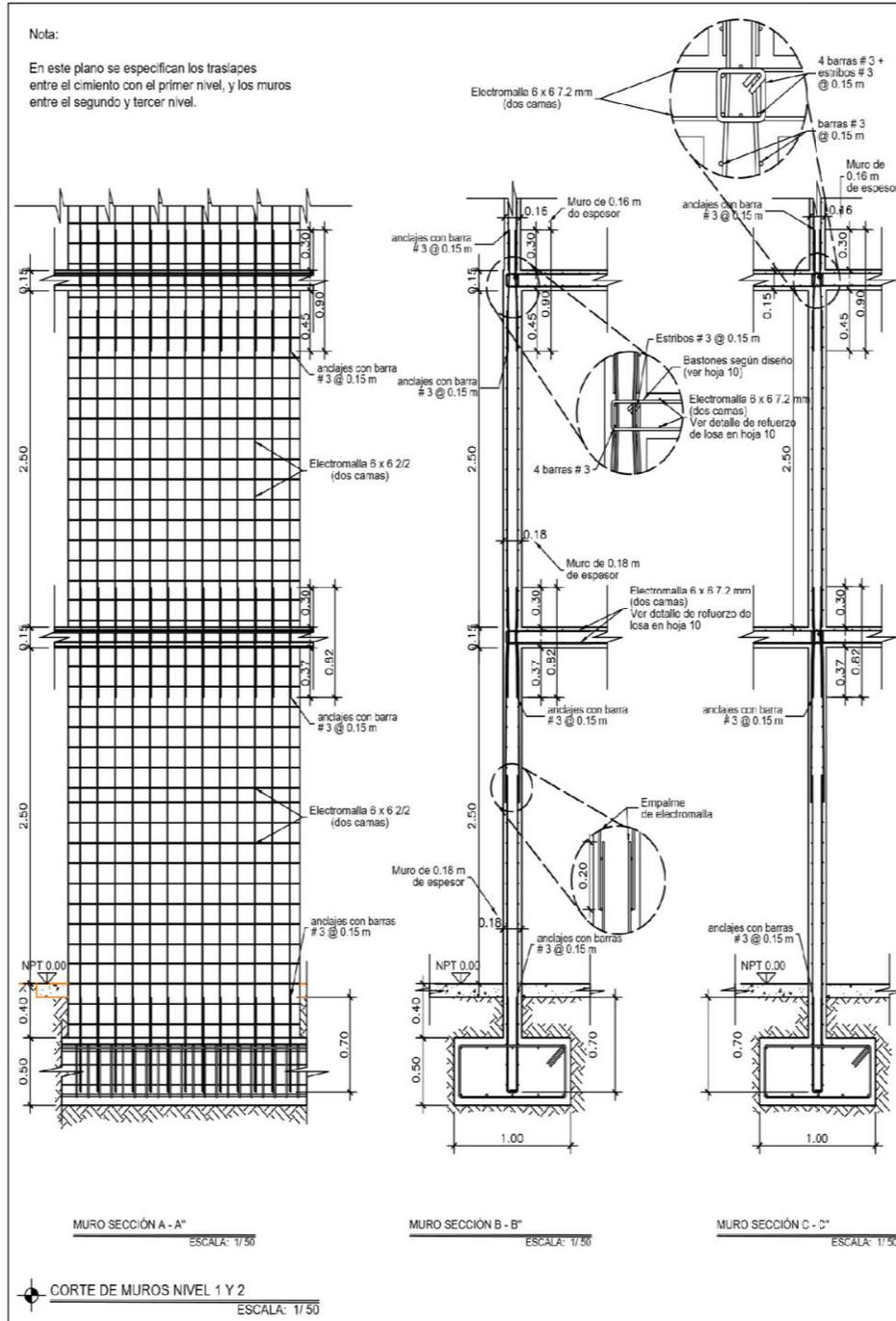
Continuación del apéndice 27.



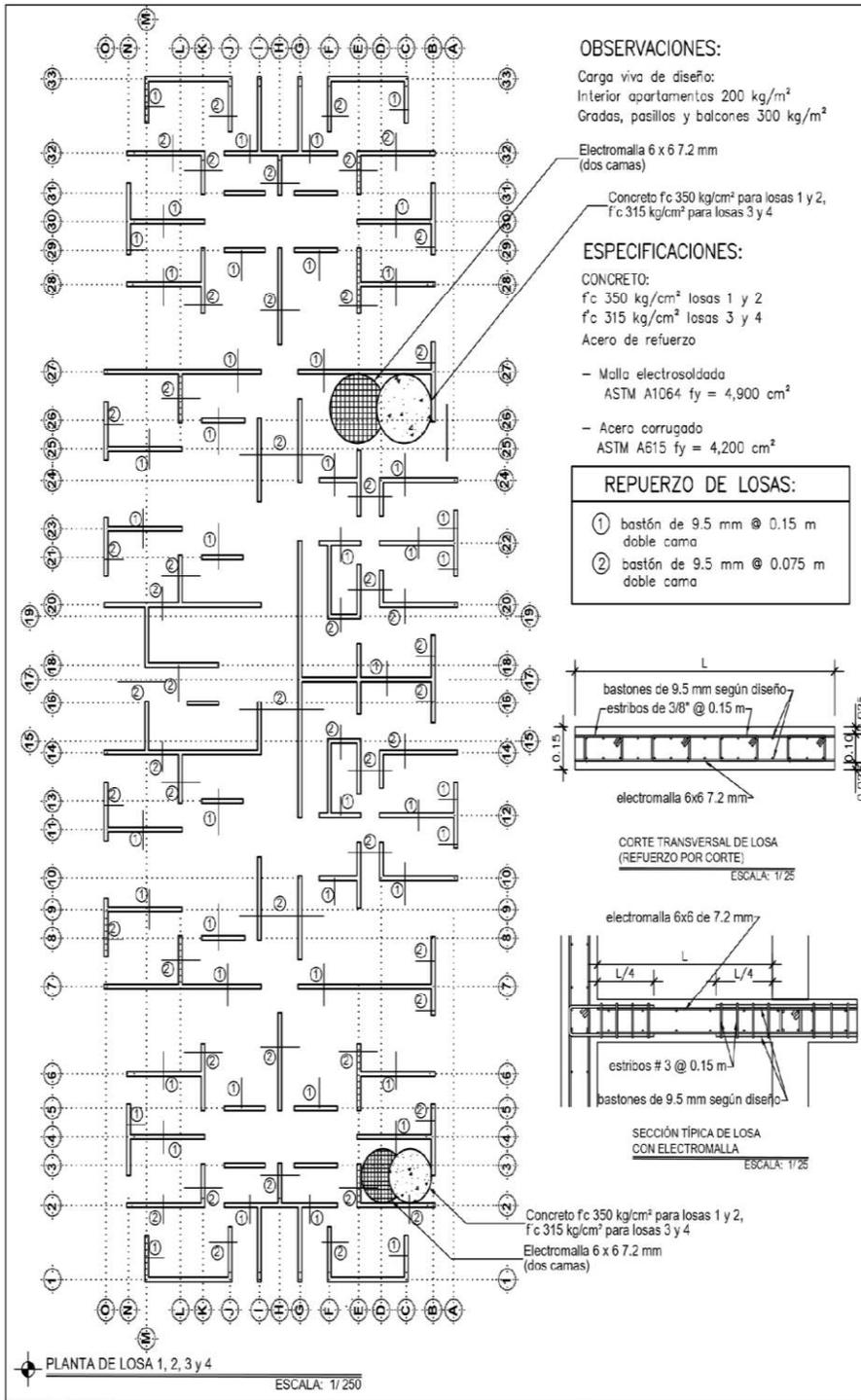
Continuación del apéndice 27.



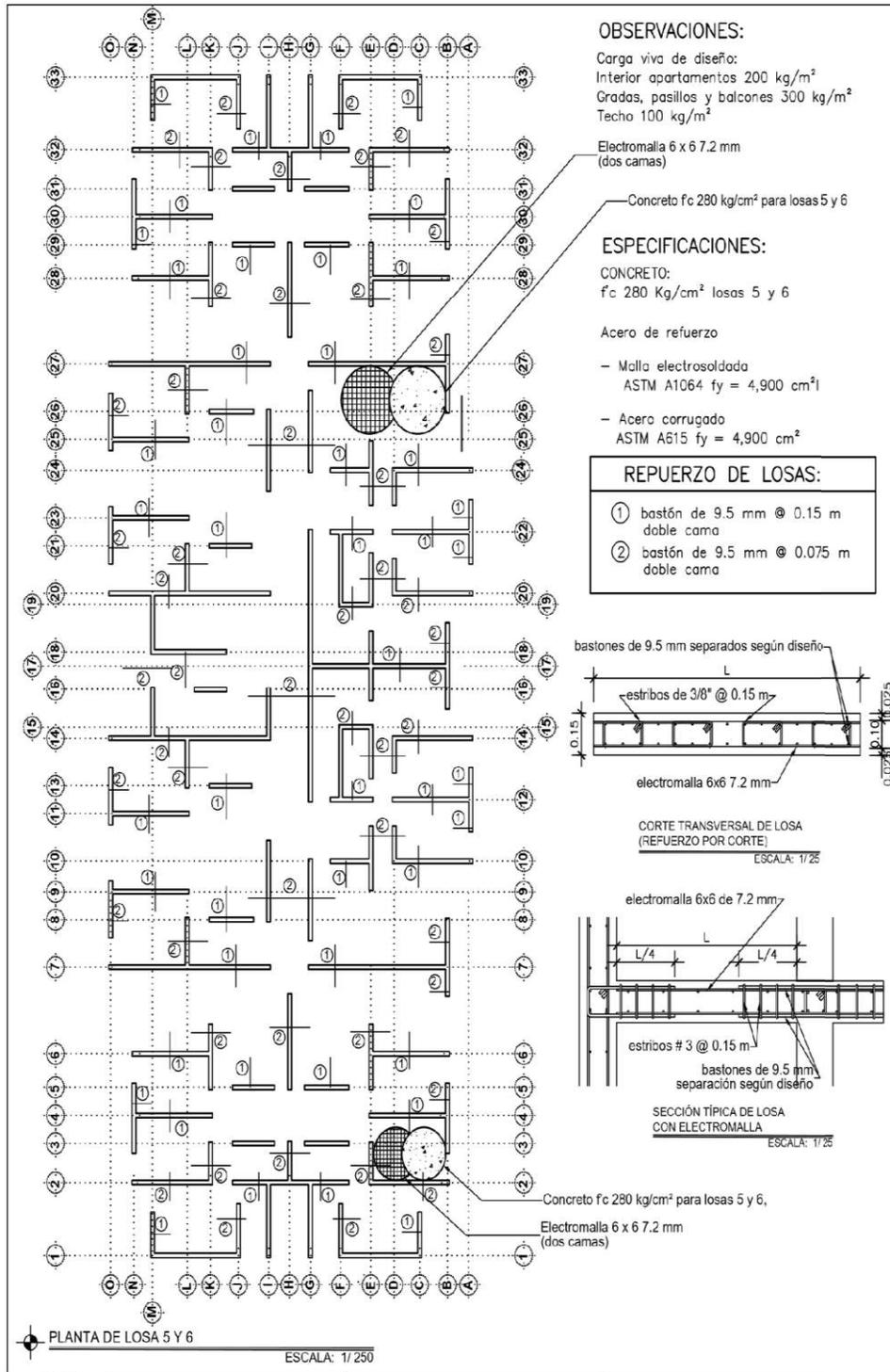
Continuación del apéndice 27.



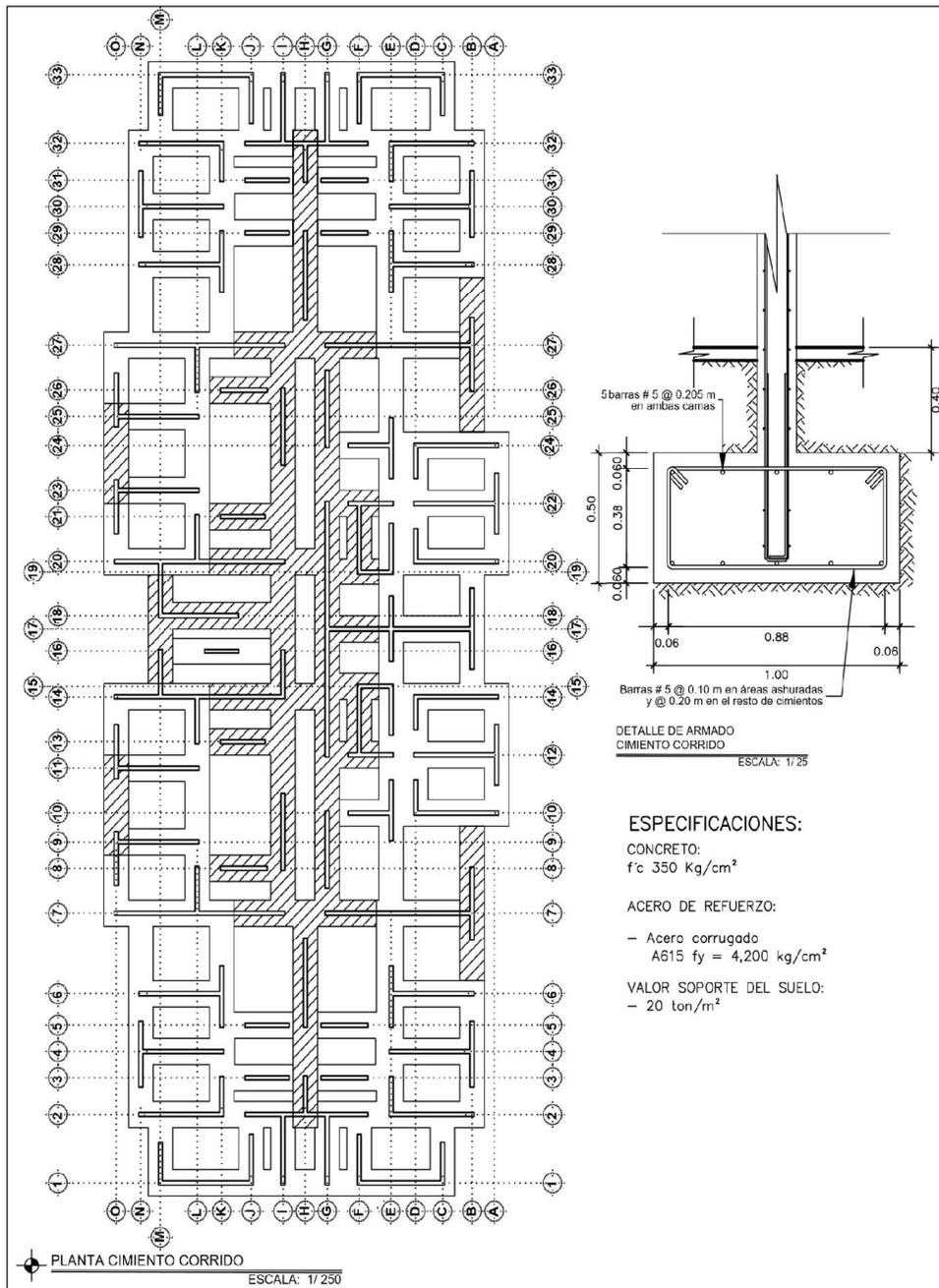
Continuación del apéndice 27.



Continuación del apéndice 27.



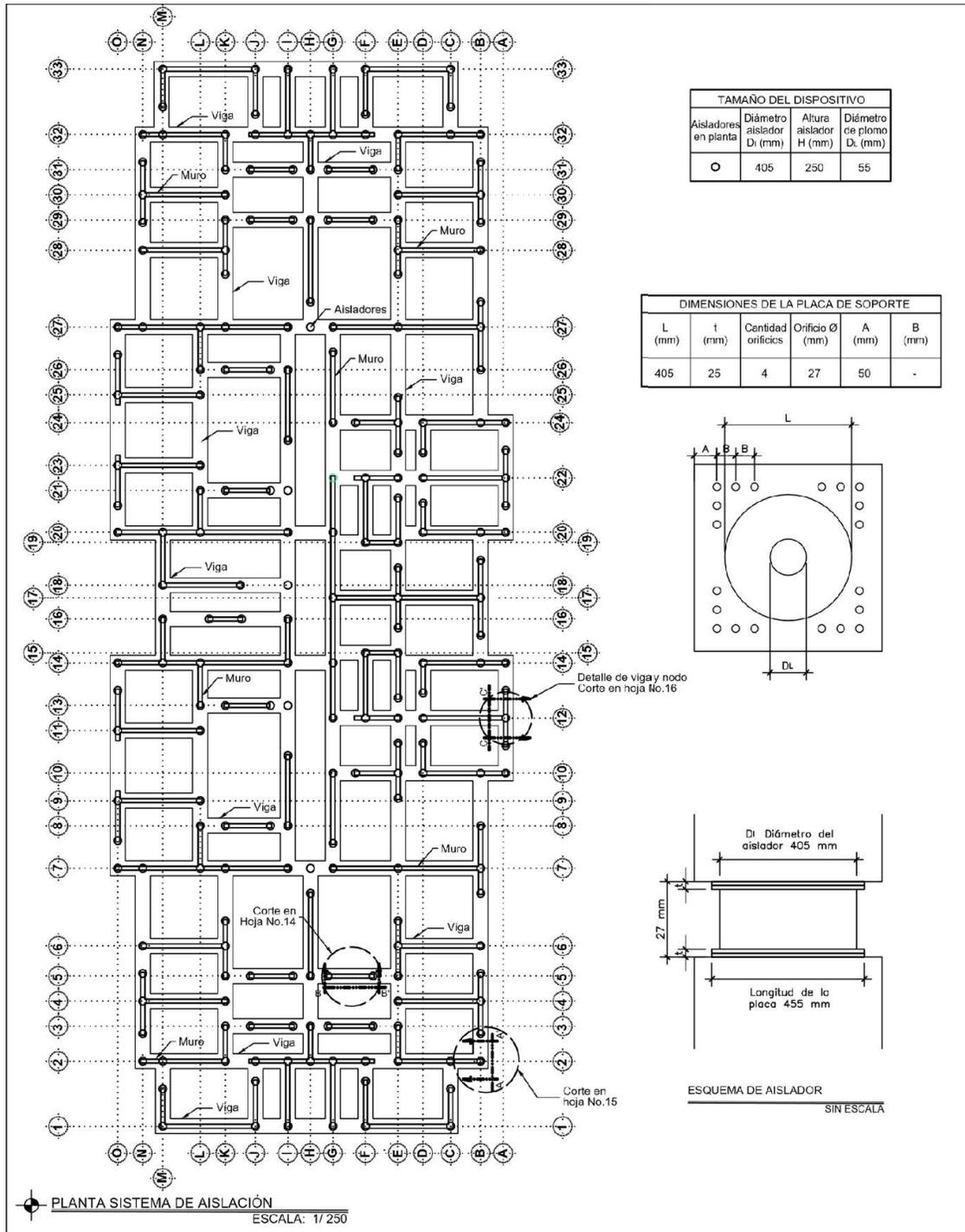
Continuación del apéndice 27.



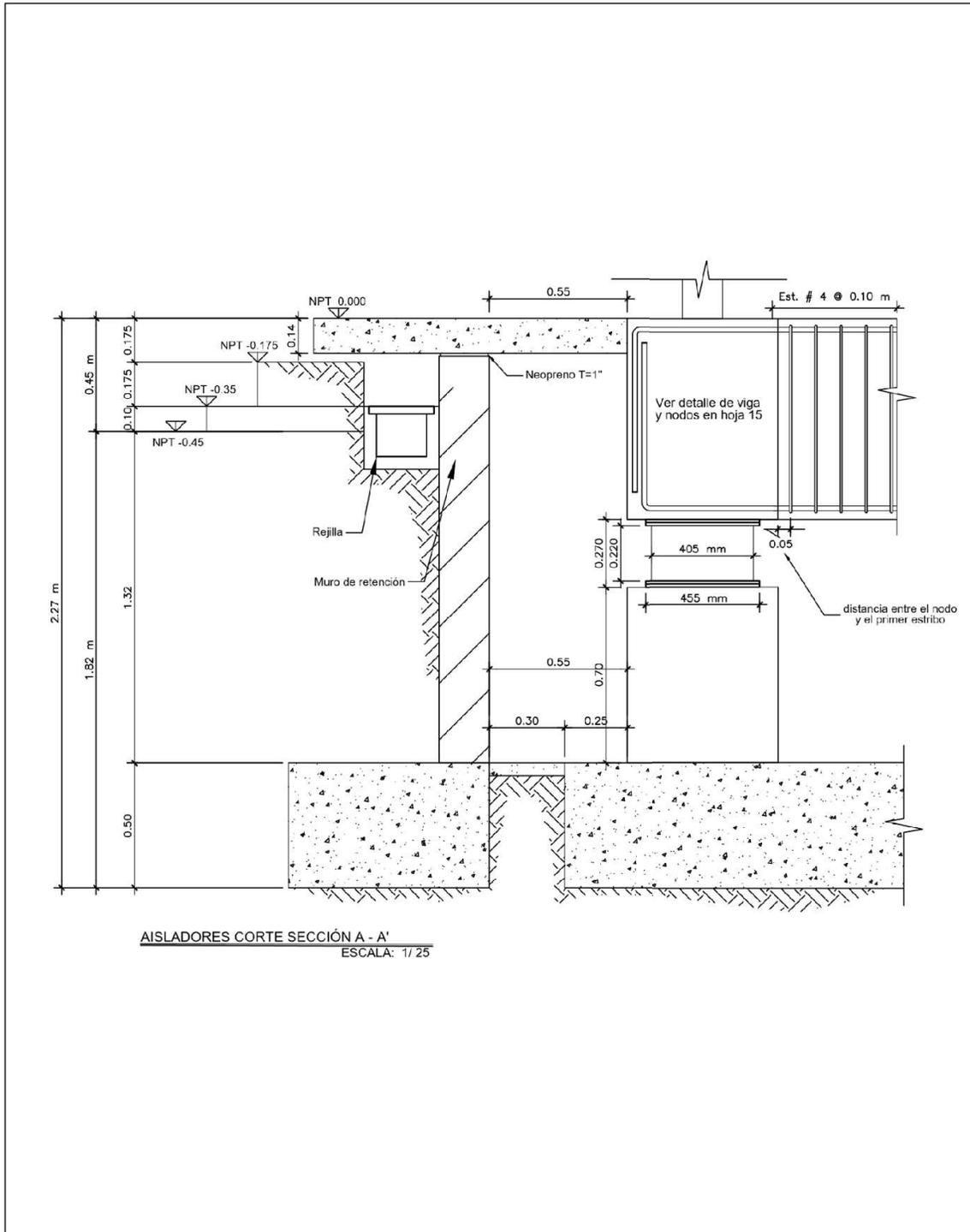
Nota. Juego de planos edificación sin aislación basal. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Apéndice 28.

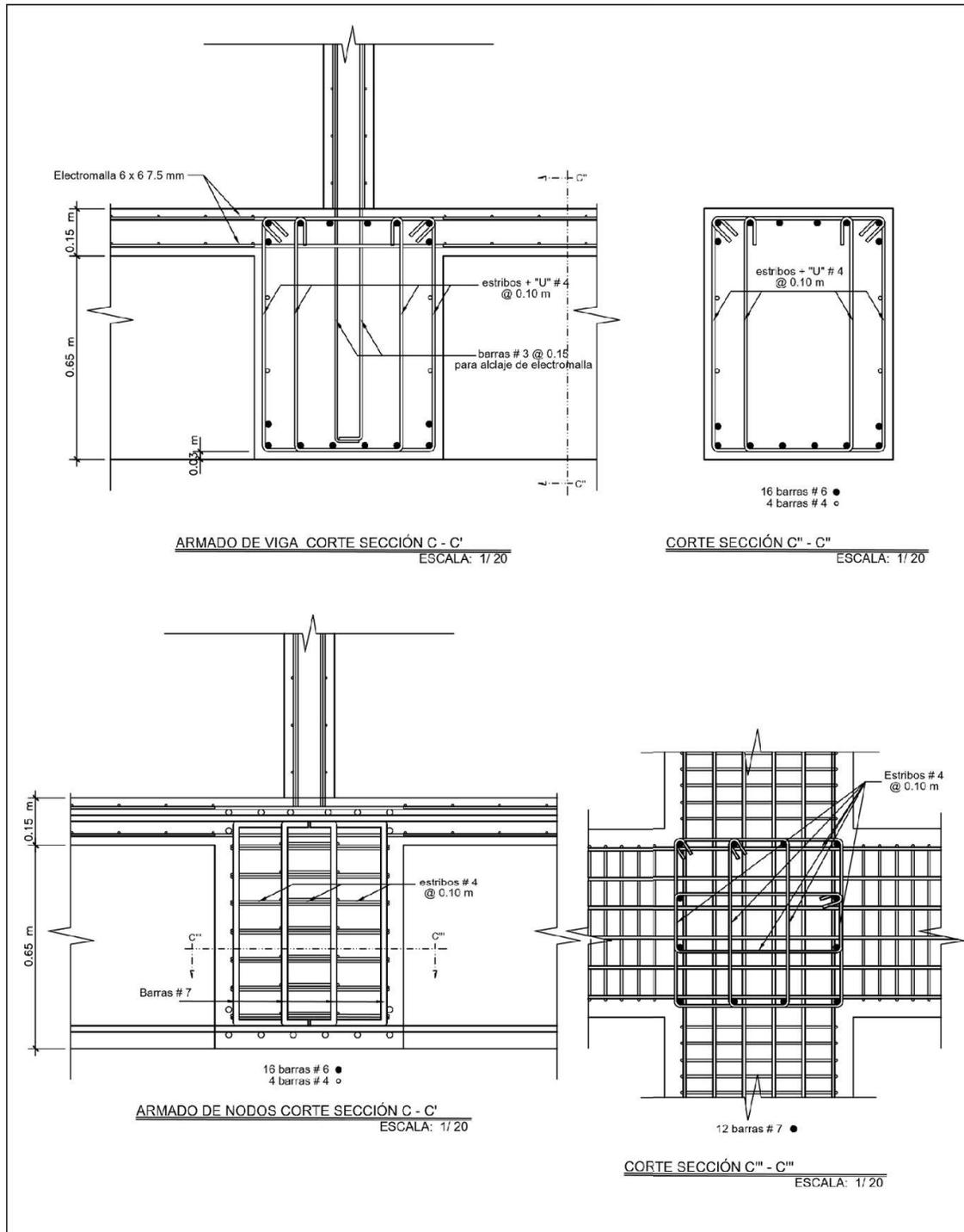
Juego de planos edificación con aislación basal



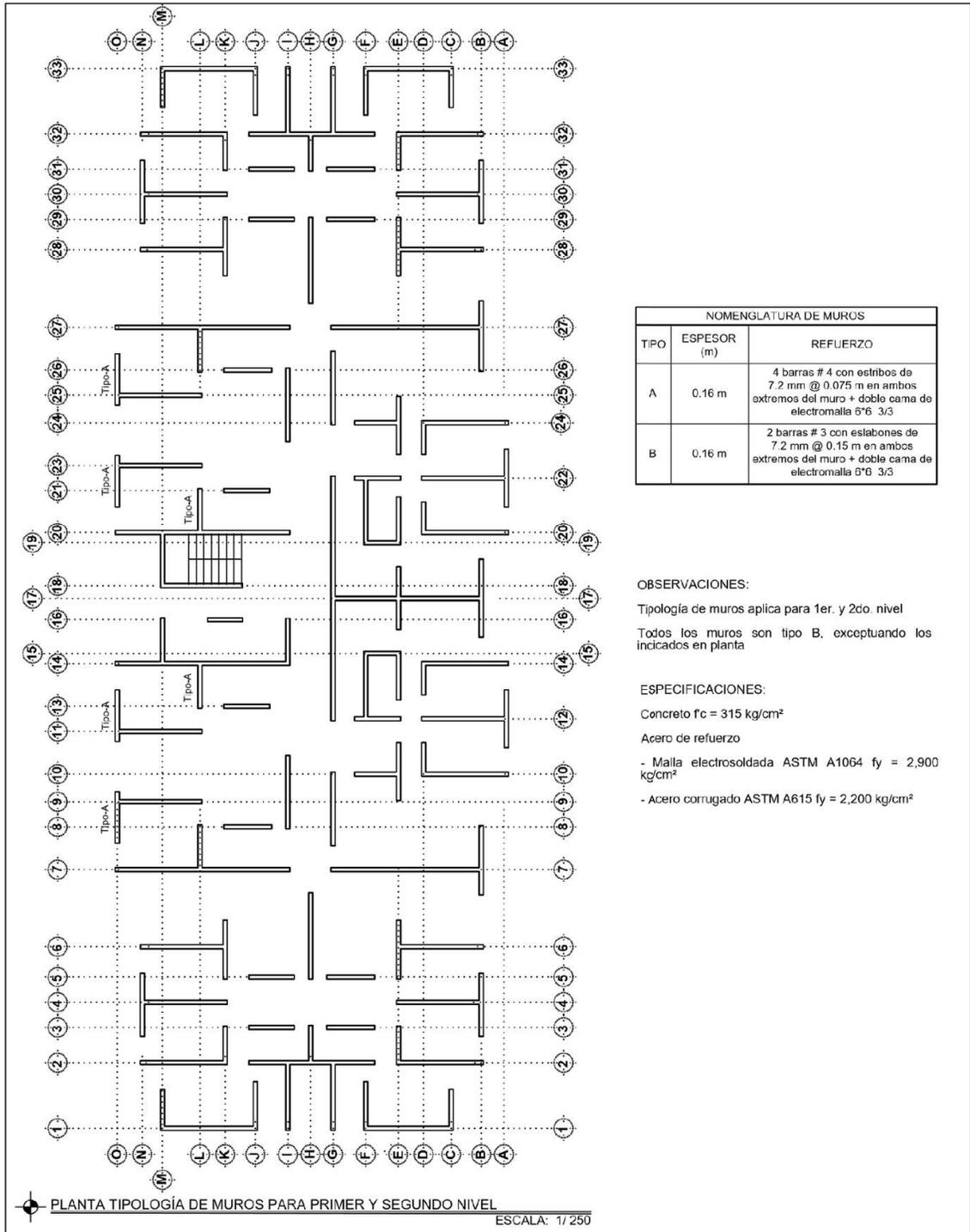
Continuación del apéndice 28.



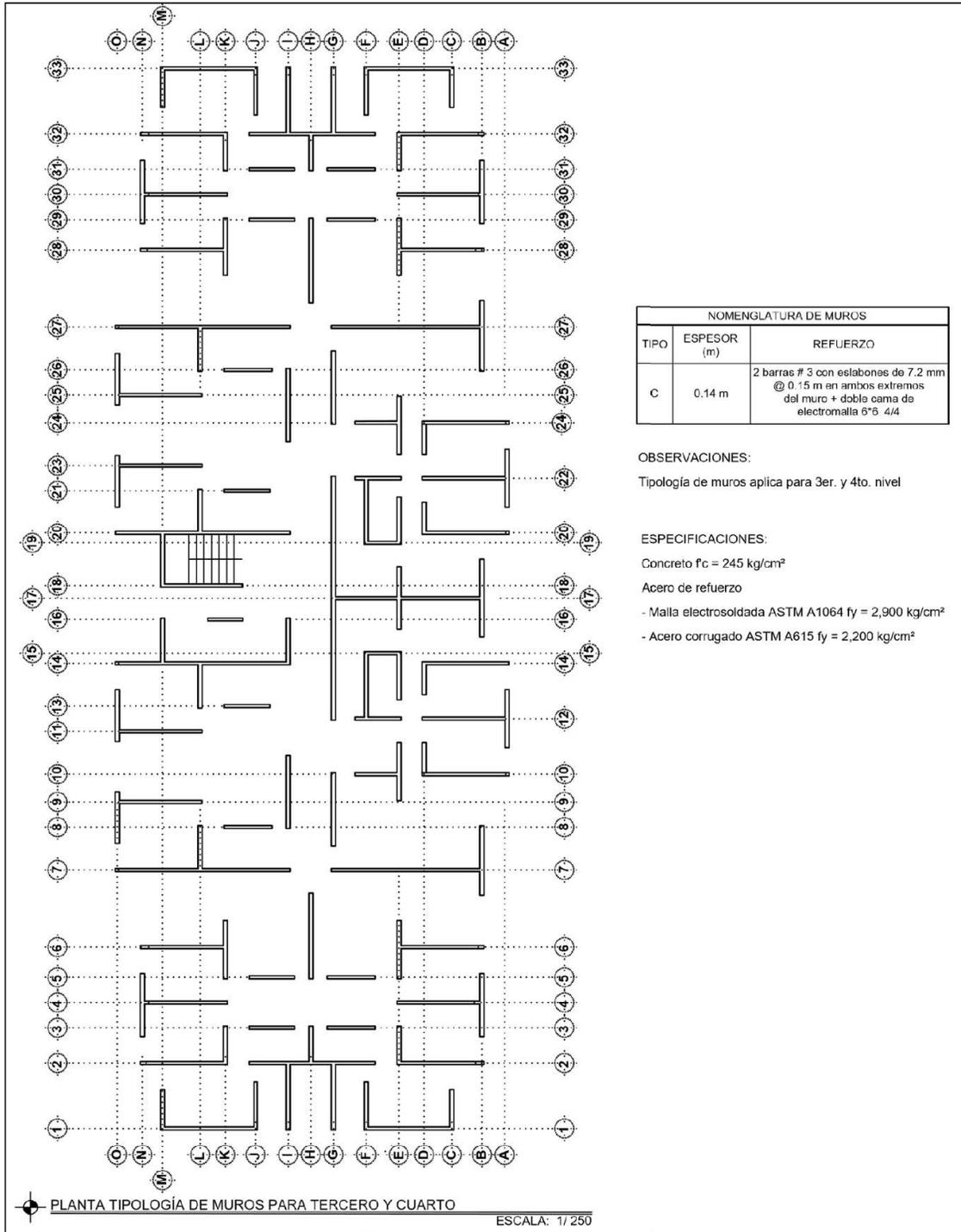
Continuación del apéndice 28.



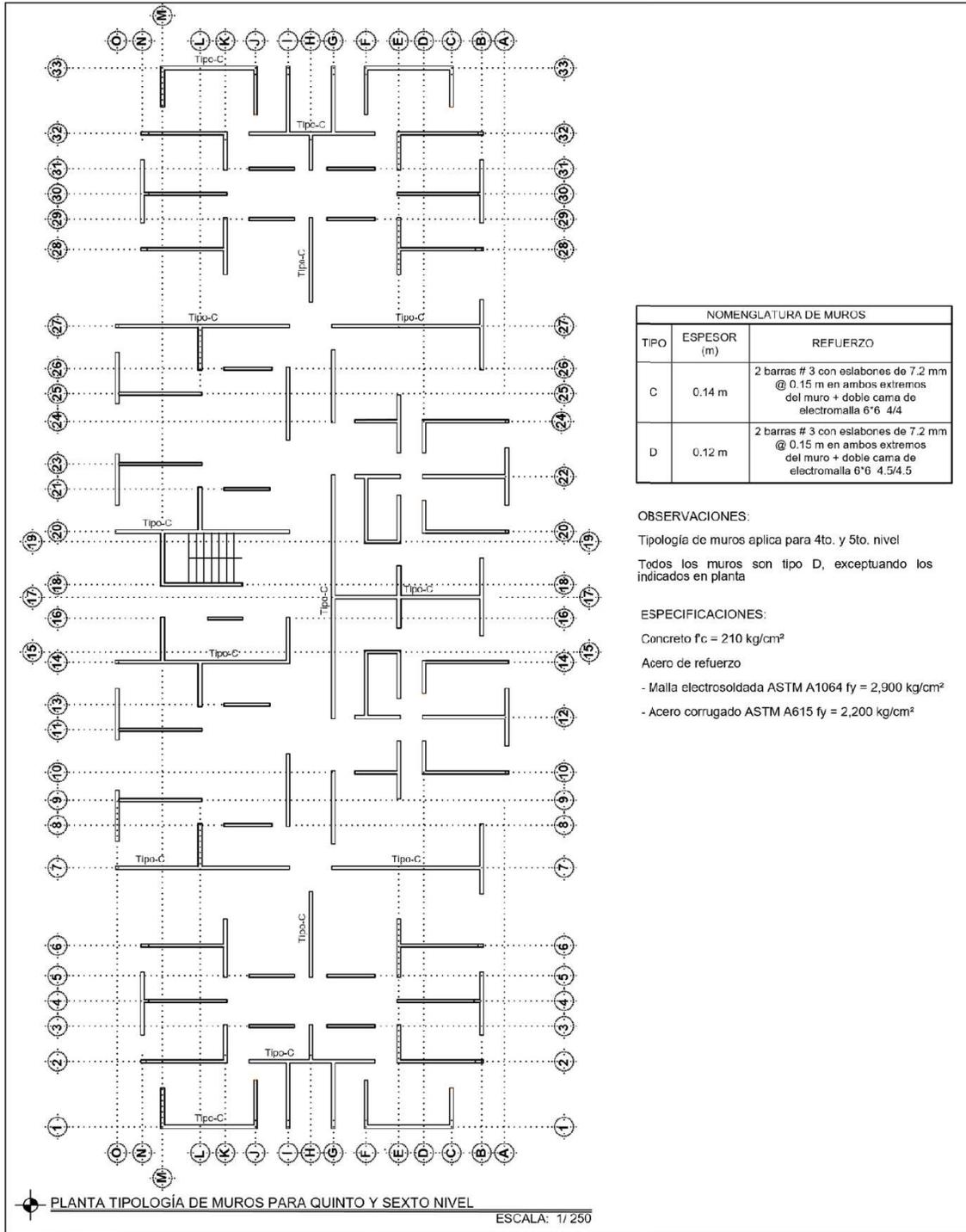
Continuación del apéndice 28.



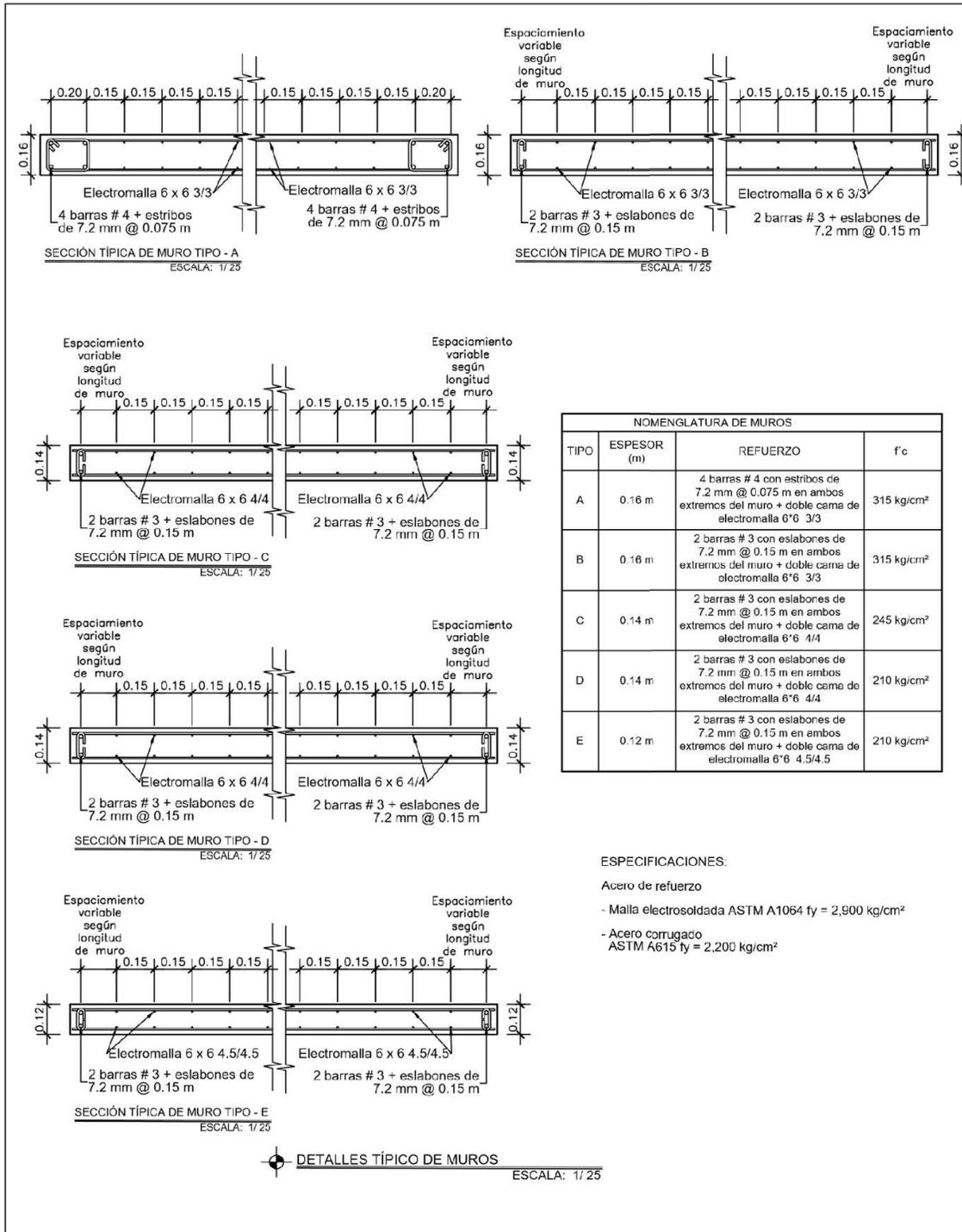
Continuación del apéndice 28.



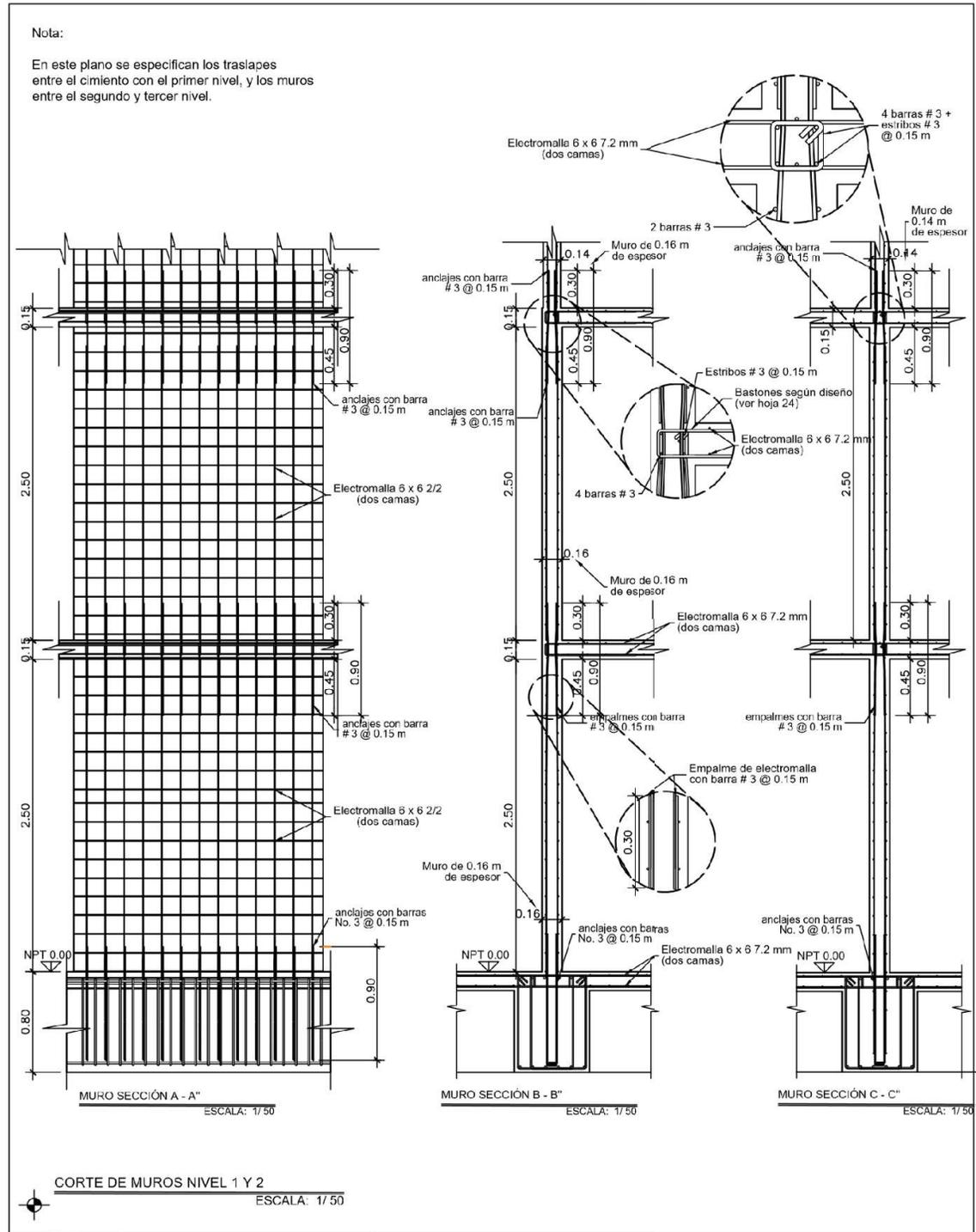
Continuación del apéndice 28.



Continuación del apéndice 28.



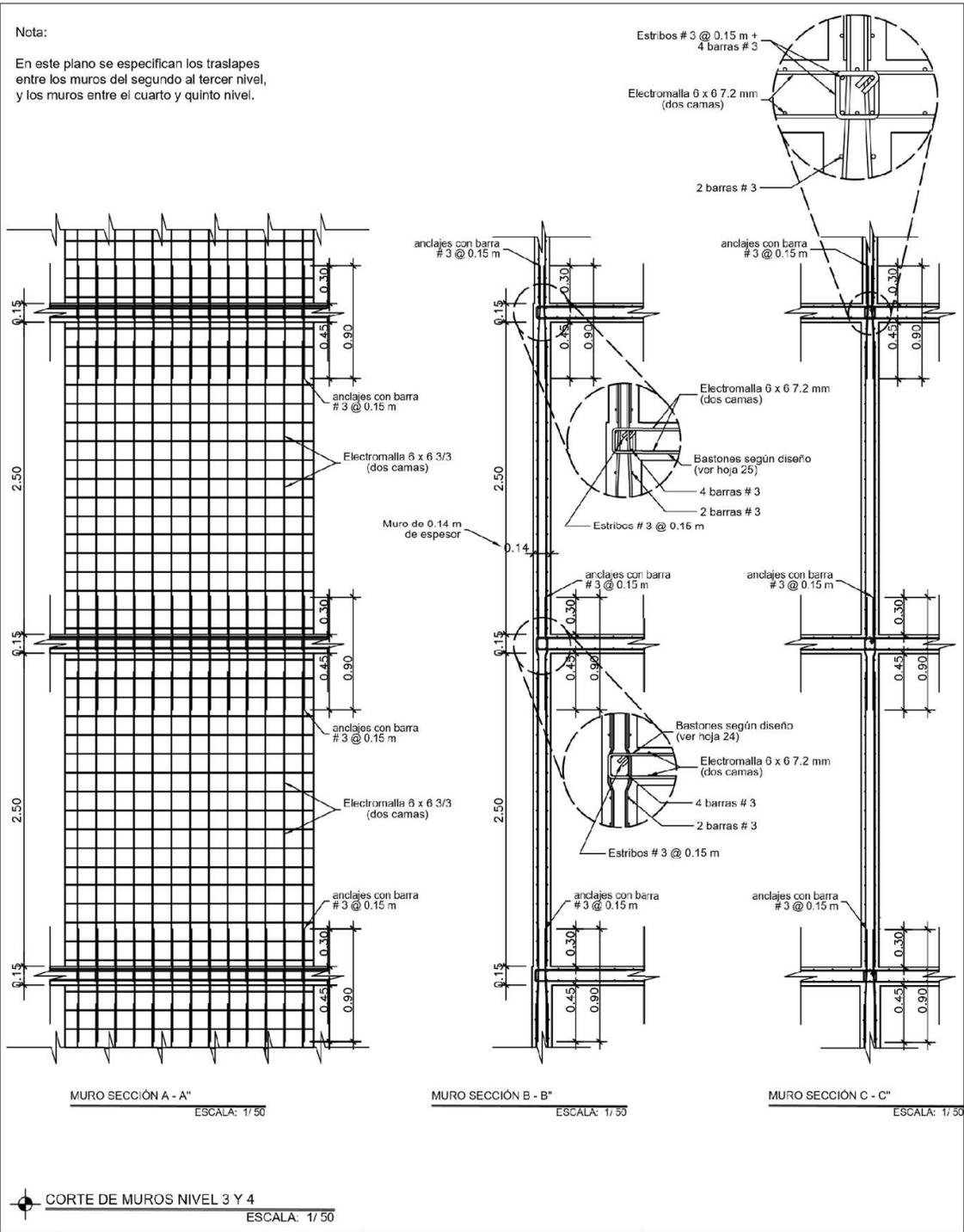
Continuación del apéndice 28.



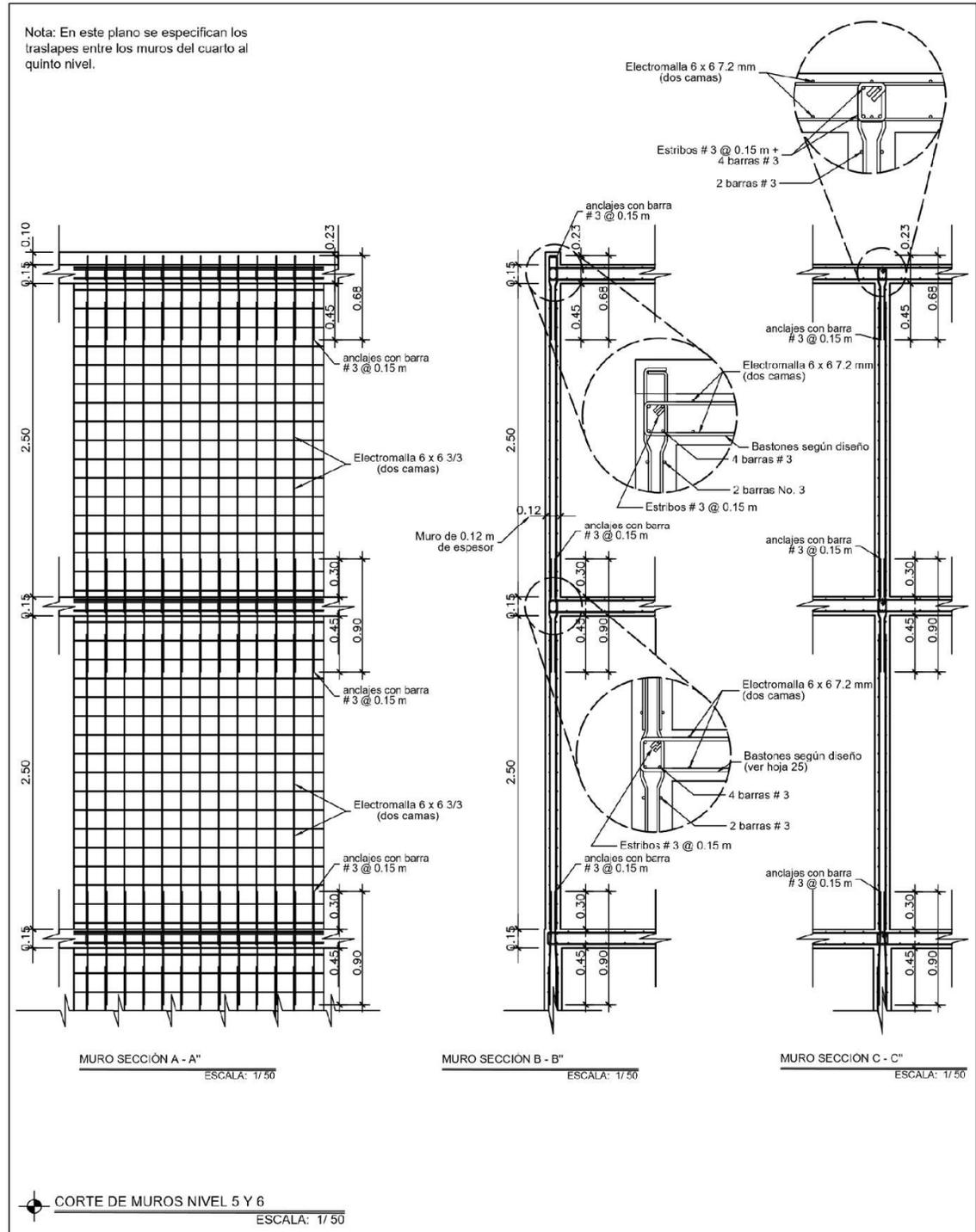
Continuación del apéndice 28.

Nota:

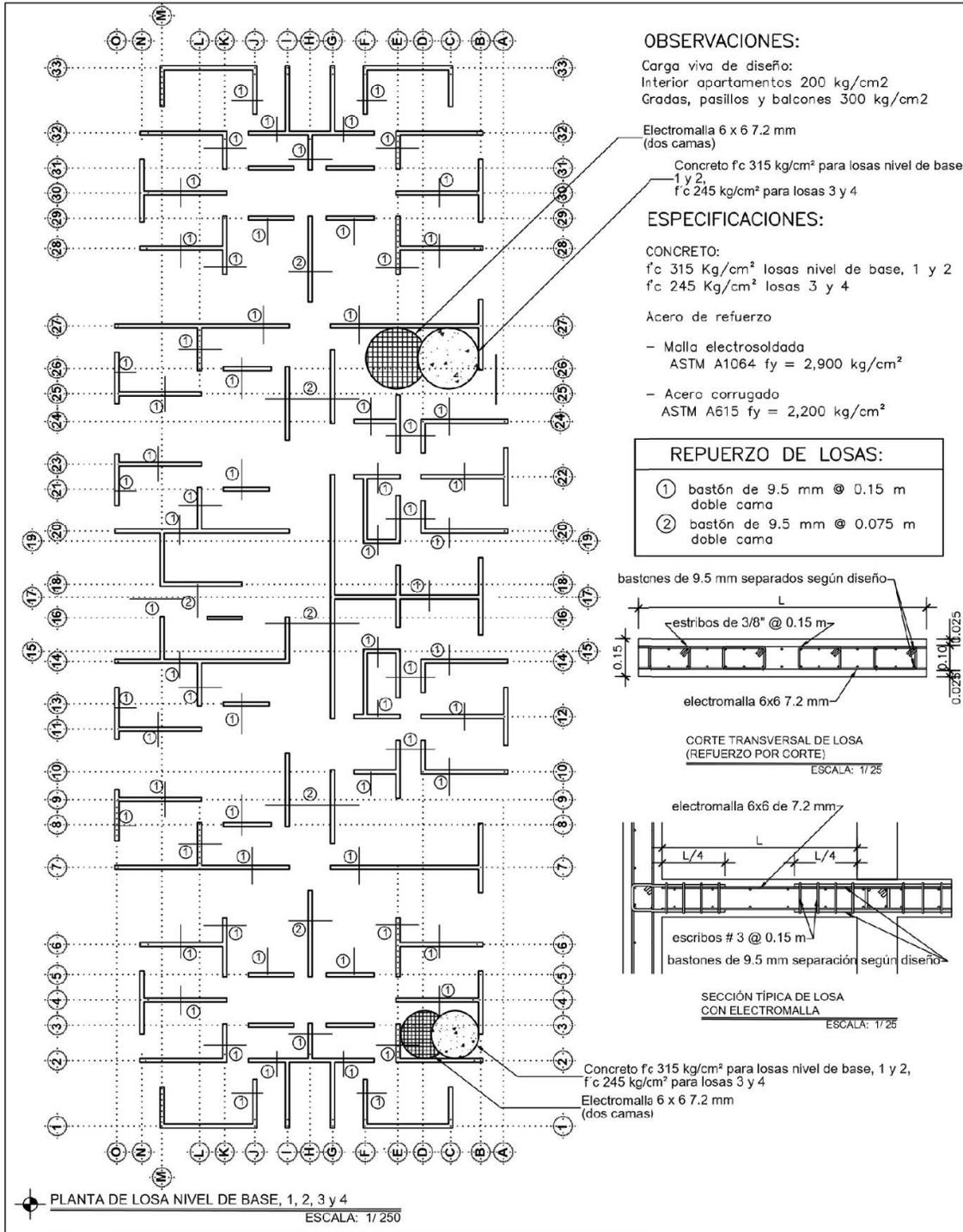
En este plano se especifican los traslapes entre los muros del segundo al tercer nivel, y los muros entre el cuarto y quinto nivel.



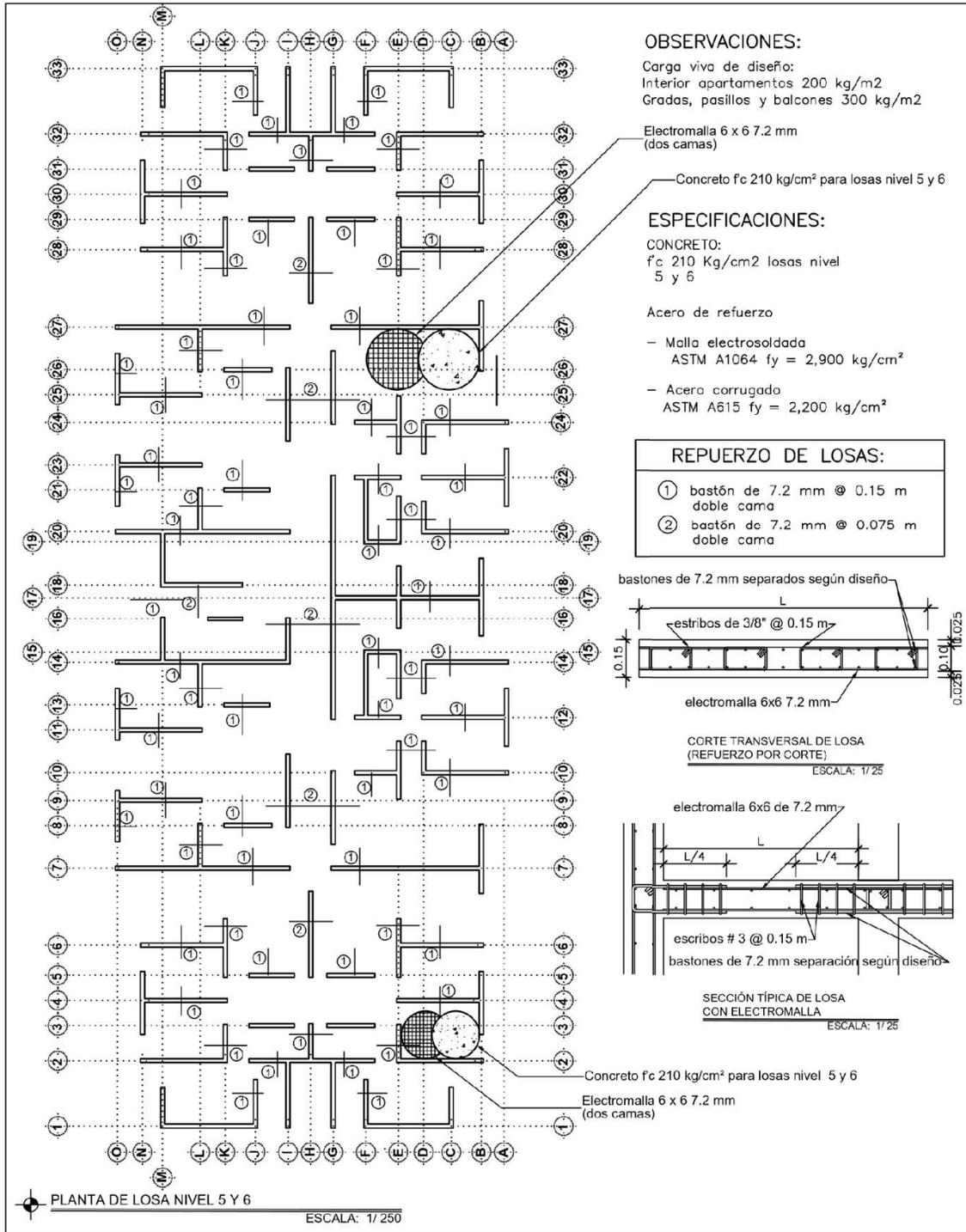
Continuación del apéndice 28.



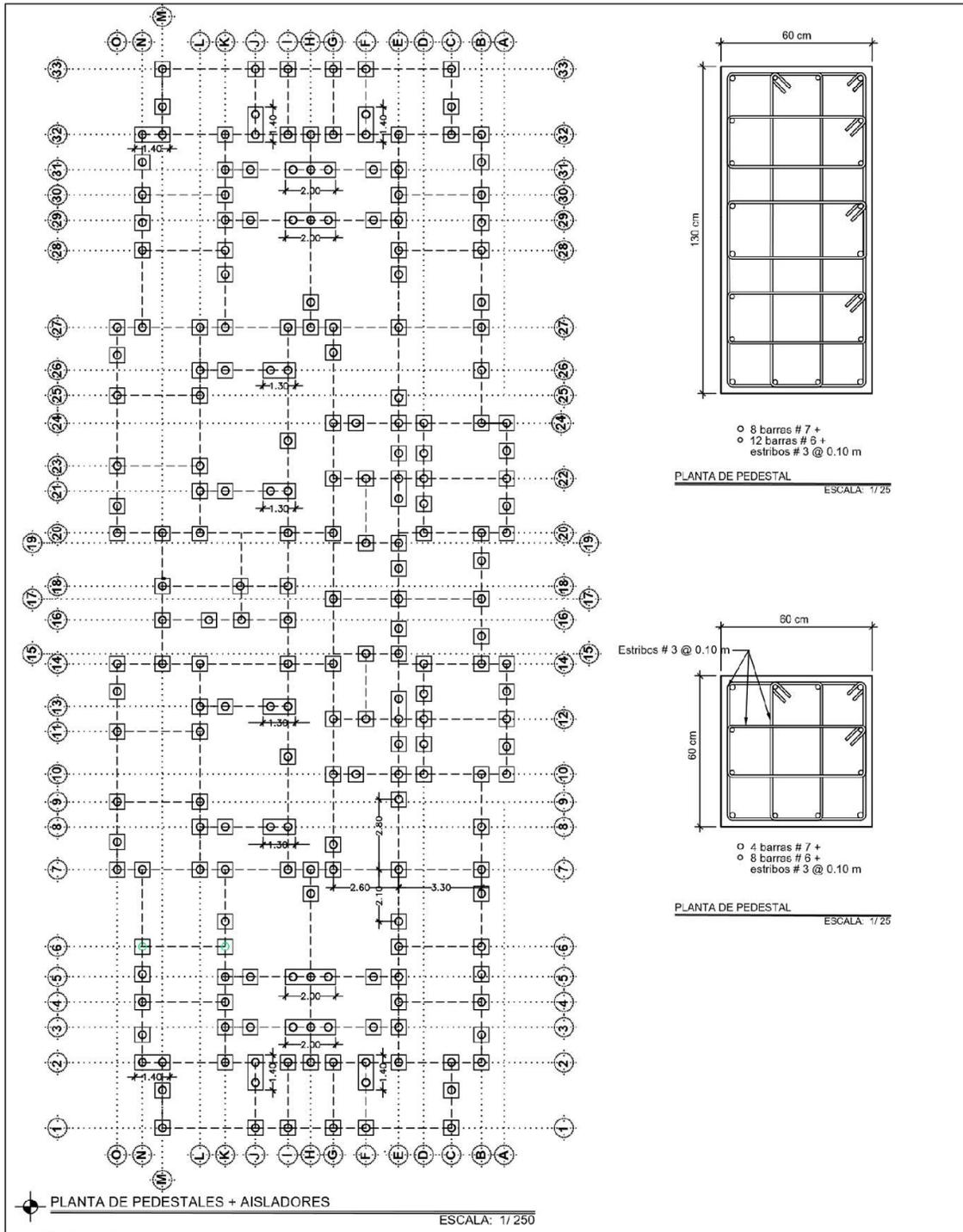
Continuación del apéndice 28.



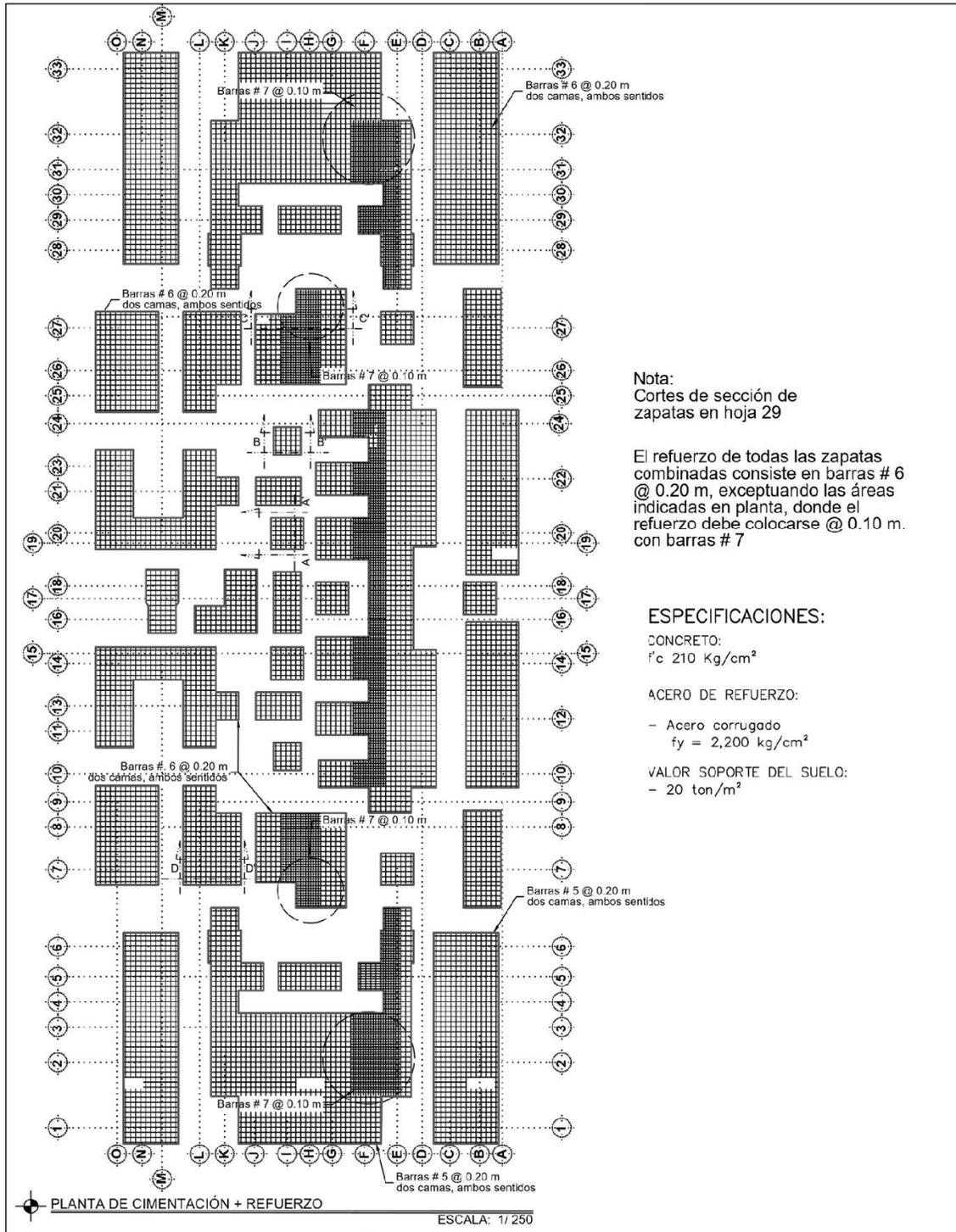
Continuación del apéndice 28.



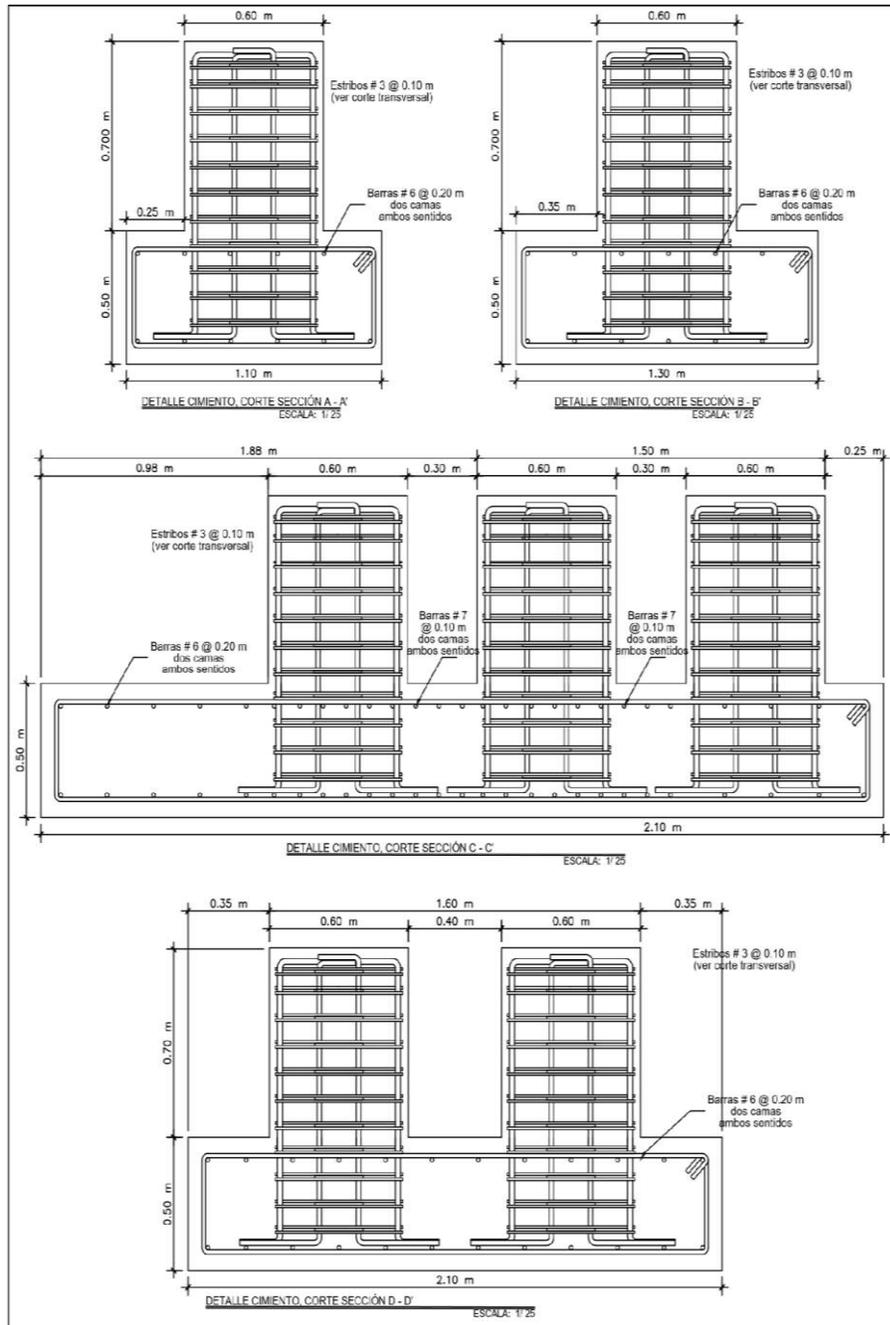
Continuación del apéndice 28.



Continuación del apéndice 28.



Continuación del apéndice 28.



Nota. Juego de planos edificación aislada. Elaboración propia, realizado en AutoCAD.

ANEXOS

Anexo 1.

Dispositivos de Dynamic Isolator Systems

Propiedades del aislador: Unidades métricas

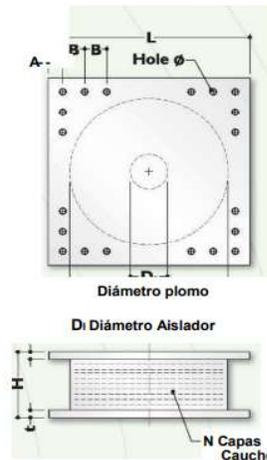
TAMANO DEL DISPOSITIVO			DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE						
Díametro Aislador, Di (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Díametro del plomo, Di (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	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 $K_c = 10 \cdot K_d$.

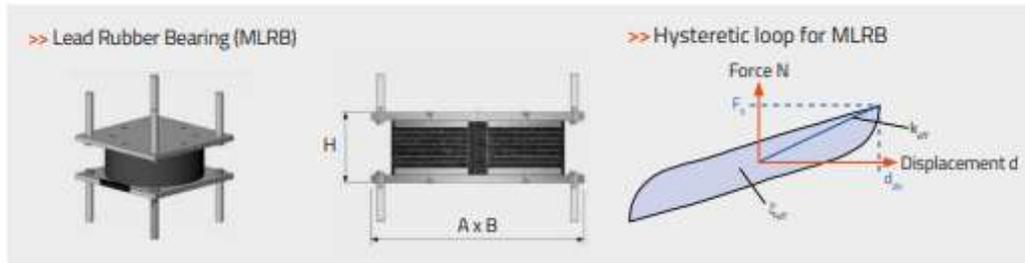
Díametro Aislador, Di (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, Dmax (mm)	Capacidad Carga Axial Pmax (kN)
	Rigidez Producida, Ka (kN/mm)	Resistencia Características, Qd (kN)	Rigidez a la compresión, Kv (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	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



Nota. Propiedades de los aisladores de Dynamic Isolation Systems. Obtenido del Dynamic Isolator Systems. (s.f.). *Aislamiento sistmico para edificaciones y puentes.* (<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-pedro-ruiz-gallo/analisis-estructural/dis-catalogo-espanol-aislador-sismico/20863169>), consultado el 22 de junio de 2022.

Anexo 2.

Dispositivos de MAURER Seismic Protection Systems



>> Typical parameters:

1. Shear modulus: 0.4 to 1.35 N/mm²
2. Effective Damping Ratio: -5 % to -35 %
3. Sizes up to: 1,500 x 1,500 x 750 mm, diameter 1,200 x 750 mm

Hospital General
Tláhuac, Mexico



>> Preliminary dimensions based on:

- Temperature range: - 25 °C to + 50 °C for service load case; - 13 °C to + 45 °C for maximum credible seismic load case
- Total displacement d_{max} including recommended reliability factors as per EN 1998 ($\gamma_x = 1.2$ for buildings and $\gamma_x = 1.5$ for bridges)

Lead Rubber Bearing (MLRB); $d_{st} = 250\text{mm}$ and $d_{sh} = 300\text{mm}$							
N_{st}	$N_{st,max}$	k_{eff}	F_h	x_{eff}	T_{eff}	A, B	H
[MN]	[MN]	[kN/mm]	[kN]	[%]	[sec]	[mm]	[mm]
1,50	1,00	1,87	530	20,7	1,5	500	240
5,00	2,80	3,13	890	20,5	1,9	600	220
7,00	5,00	3,34	946	21,3	2,5	670	250
9,00	6,40	4,02	1128	23,5	2,5	710	270
12,00	8,60	4,45	1251	23,2	2,8	750	270
15,00	10,70	5,14	1444	23,6	2,9	800	270
18,00	12,90	5,08	1426	23,9	3,2	840	290
20,00	14,30	5,62	1570	25,0	3,2	870	290
22,00	15,70	6,28	1754	24,9	3,2	920	310
26,00	18,60	6,57	1837	24,7	3,4	970	330
31,00	22,10	6,42	1794	25,2	3,7	1000	350
37,00	26,40	6,87	1922	24,5	3,9	1070	370
41,00	29,30	7,63	2138	24,4	3,9	1130	370

N_{st} = Maximum vertical design load combined with service displacements d

$N_{st,max}$ = Maximum vertical earthquake load combined with d_{max}

d_{st} = Seismic design displacement

d_{max} = Total displacement including reliability factor

F_h = Horizontal force

x_{eff} = Effective damping for d_{st}

T_{eff} = Effective periode for d_{st}

Additional tables with different shear modulus, displacement and loads are available (see at www.maurer.eu, technical information T1_003).

Nota. Propiedades de los aisladores de Dynamic Isolation Systems. Obtenido MAURER. (2022). MAURER Seismic Protection Systems Protection Systems [Sistemas de protección sísmica de MAURER Sistemas de Protección]. (https://www.maurer.eu/fileadmin/mediapool/01_products/Dehnfugen/Broschueren_TechnischeInfo/MAU_Seismic_Protection_A4_WEB_2022_01_EN.pdf), consultado el 22 de junio de 2022.

Anexo 3.

Dispositivos de MAGEBA

LASTO®LRB – $d_{bd} = 400$ mm										
D (mm)	t_e (mm)	H_B (mm)	N_{sd} (kN)	N_{ed} (kN)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	K_h (kN/mm)	K_{eff} (kN/mm)	K_v (kN/mm)	ξ (%)
500	160	326	3,600	1,250	315	755	1.1	1.89	814	29
600	176	350	5,950	2,150	420	990	1.45	2.49	1,346	28
700	192	374	8,750	3,450	515	1230	1.8	3.09	1,991	28
800	208	398	10,950	5,100	620	1500	2.17	3.73	2,725	26
900	216	410	16,750	6,750	690	1750	2.65	4.38	3,658	26
1000	224	422	18,750	10,100	760	2030	3.16	5.07	4,693	25

Nota importante: esta tabla debe utilizarse exclusivamente como referencia preliminar para el diseño del aislador. El diseño y los detalles técnicos definitivos se definen una vez se consideran todos los parámetros del proyecto en su fase final.

Legend

d_{bd}	Desplazam. sísmico de diseño	F_1	Fuerza de estiramiento
D	Diám. del bloque elastomérico	F_2	Fuerza horizontal máxima (con d_{bd})
t_e	Altura total del elastómero	K_h	Rigidez horizontal
H_B	Altura total del aislador	K_e	Rigidez efectiva
N_{sd}	Carga máxima vertical de servicio	K_v	Rigidez vertical
N_{ed}	Carga sísmica máxima vertical	ξ	Grado de amortiguamiento

mageba

3

Nota. Dispositivos de MAGEBA. Obtenido de MAGEBA. (s.f.). *Protección antisísmica mageba – preservación fiable de estructuras.* (<https://www.mageba-group.com/global/data/docs/es/2574/BROCHURE-LASTO-LRB-latam-es.pdf?v=1.2>), consultado el 22 de junio de 2022.

Anexo 4.

Dispositivos de TENSA

TDRI EDIFICACIÓN CON AISLADOR TDRI		APOYO ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO											
EN 15129:2009 (E) - cap. 8.2		d _{sa} 150mm											
AISLADOR	DIAMETRO DEL CAUCHO	ALTIMA TOTAL (INCLUYENDO CHIAPAS EXTERNAS)	TAMANO DE CHIAPA GENERAL	ESPESOR TOTAL DEL CAUCHO	FACTOR DE FORMA	RIGIDEZ VERTICAL	RIGIDEZ HORIZONTAL EFECTIVA AL d _{sa}	DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO HORIZONTAL (EN 1998)	CARGA DE DISEÑO HORIZONTAL	CARGA ESTÁTICA VERTICAL MÁXIMA ELU		CARGA SÍSMICA VERTICAL MÁXIMA	
										D (mm)	H _{tot} (mm)	L x L (mmxmm)	T _s (mm)
CAUCHO SUAVE G _{lin} = 0.4 MPa* ε _{lin} = 10%-15%*	TDRI-350-SM-75	350	162	400X400	75	17.0	461	0.51	125	50	1800	1000	
	TDRI-400-SM-75	400	162	450X450	75	19.5	746	0.67	125	50	2950	1800	
	TDRI-450-SM-78	450	159	500X500	78	18.3	834	0.82	125	100	3800	2500	
	TDRI-500-SM-77	500	167	550X550	77	17.5	976	1.02	125	100	4700	3250	
	TDRI-550-SM-75	550	177	600X600	75	27.0	2189	1.27	125	150	5700	4100	
	TDRI-600-SM-75	600	177	650X650	75	29.5	2884	1.51	125	150	6800	5050	
	TDRI-650-SM-78	650	174	700X700	78	26.7	2914	1.70	125	200	8000	6150	
	TDRI-700-SM-78	700	189	750X750	78	28.8	3688	1.97	125	200	9300	7300	
TDRI-750-SM-77	750	182	800X800	77	26.4	3905	2.29	125	250	10750	8550		
CAUCHO NORMAL G _{lin} = 0.8 MPa* ε _{lin} = 10%-15%*	TDRI-350-NM-75	350	162	400X400	75	17.0	754	1.03	125	100	1800	1000	
	TDRI-400-NM-75	400	162	450X450	75	19.5	1170	1.34	125	150	2950	1800	
	TDRI-450-NM-78	450	159	500X500	78	18.3	1332	1.63	125	200	3800	2500	
	TDRI-500-NM-77	500	167	550X550	77	17.5	1581	2.04	125	250	4700	3250	
	TDRI-550-NM-75	550	177	600X600	75	27.0	3079	2.53	125	300	5700	4100	
	TDRI-600-NM-75	600	177	650X650	75	29.5	3936	3.02	125	350	6800	5050	
	TDRI-650-NM-78	650	174	700X700	78	26.7	4117	3.40	125	400	8000	6150	
	TDRI-700-NM-78	700	189	750X750	78	28.8	5078	3.95	125	450	9300	7300	
TDRI-750-NM-77	750	182	800X800	77	26.4	5534	4.59	125	550	10750	8550		
TDRI-800-NM-77	800	182	850X850	77	28.2	6647	5.22	125	650	12250	9900		
CAUCHO DURO G _{lin} = 1.4 MPa* ε _{lin} = 15%*	TDRI-350-HM-75	350	162	400X400	75	17.0	1035	1.80	125	200	2250	1250	
	TDRI-400-HM-75	400	162	450X450	75	19.5	1546	2.35	125	250	2950	1800	
	TDRI-450-HM-78	450	159	500X500	78	18.3	1791	2.85	125	350	3800	2500	
	TDRI-500-HM-77	500	167	550X550	77	17.5	2154	3.57	125	400	4700	3250	
	TDRI-550-HM-75	550	177	600X600	75	27.0	3729	4.43	125	550	5700	4100	
	TDRI-600-HM-75	600	177	650X650	75	29.5	4665	5.28	125	650	6800	5050	
	TDRI-650-HM-78	650	174	700X700	78	26.7	5002	5.96	125	700	8000	6150	
	TDRI-700-HM-78	700	189	750X750	78	28.8	6056	6.91	125	850	9300	7300	
TDRI-750-HM-77	750	182	800X800	77	26.4	6739	8.03	125	1000	10750	8550		

Nota. Dispositivos de TENSA. Obtenido de TENSA. (s.f.). *Catálogo de productos.* (https://www.tensainternational.com/sites/default/files/document/attached_file/tensaspagna7.pdf), consultado el 22 de junio de 2022.