UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL
COMPORTAMIENTO Y DISEÑO ESTRUCTURAL
DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 5 PISOS
DISEÑADO CON LOS SISTEMAS DE ALBAÑILERÍA
CONFINADA Y MUROS DE DUCTILIDAD
LIMITADA EN SUELO FLEXIBLE EN LA CIUDAD
DE PIURA**

TESIS

Para optar el título profesional de: Ingeniero civil

AUTORES

Merodio Mejía, Julio José (0000-0001-7045-8648)

Vásquez Ortiz, Walter Alfonso (0000-0003-0433-0413)

ASESORA DE TESIS

M. Sc. Burgos Namuche, Maribel (0000-0002-5865-503X)

Lima, 04 de octubre del 2018

Merodio Mejía, Julio José:

A mis padres, mi hermana, nuestra asesora, quienes me motivaron y ayudaron a conseguir esta primera etapa en el desarrollo de mi vida.

Vásquez Ortiz, Walter Alfonso:

A mis padres, mi hermana, mi tío Rodolfo, nuestra asesora, mi enamorada Mayra y a todos los que me brindaron su apoyo y motivación para obtener este logro, muchísimas gracias.

.

RESUMEN

El “Estudio de mecánica de suelos y mapa de peligros de la ciudad de Piura” elaborado por INDECI y la UNP el año 2002, determina las características del suelo de la ciudad, las mismas que la Norma Técnica Peruana E.030 2016 establece como Tipo S3 Suelos blandos.

Es así que, conocida la predominancia del sistema de albañilería confinada en la ciudad de Piura, el perfil de suelo blando de la locación y su incidencia en el incremento de la fuerza sísmica es consistente señalar que, en el diseño de una edificación de cinco niveles diseñada bajo el sistema estructural en cuestión, muy probablemente sea necesario reemplazar una considerable cantidad de muros de albañilería por elementos de concreto armado, situación que aumentaría el costo directo de ejecución.

Visto ello, en la presente investigación se realiza el diseño de una misma estructura con los sistemas de albañilería confinada y muros de ductilidad limitada con el objetivo de analizar el comportamiento estructural de ambas propuestas mediante la comparación de distorsiones, desplazamientos y relación de sobre resistencia; con el fin de evaluar las ventajas del sistema MDL respecto al otro.

Finalmente, del análisis de resultados, se concluye la conveniencia del diseño de una edificación de cinco niveles en la ciudad de Piura con el sistema MDL, debido a que posee menores distorsiones y desplazamientos laterales, así como una mayor relación de sobre resistencia y un ahorro en costo directo de aproximadamente el 30% respecto al sistema de albañilería confinada.

Palabras clave: Muros de ductilidad limitada, albañilería confinada, suelo flexible.

ABSTRACT

The "Study of soil mechanics and hazard map of Piura's city" elaborated by INDECI and the UNP in 2002, determines the characteristics of the city's soil, the same as the Peruvian Technical Standard E.030 2016 establishes as Type S3 soft soils.

Thus, known the predominance of the confined masonry system in the city of Piura, the soft soil profile of the location and its incidence in the increase of the seismic force is consistent to point out that, in the design of a five-level building designed under the structural system in issue, it is most likely necessary to replace a considerable number of masonry walls with reinforced concrete elements, a situation that would increase the direct cost of execution.

Seen that, in the present investigation the design of a single structure is carried out with the confined masonry and shear walls of limited ductility systems, in order to analyze the structural behavior of both proposals by the comparison of drifts, displacements and ratios of over resistance; with the aim of evaluate the advantages of the shear walls of limited ductility system over the prior one.

Finally, the analysis of results concludes the suitability of the design of a five-level building in Piura's city with the shear walls of limited ductility system, due to it possesses lower drifts and displacements, as well as a higher ratio of over resistance and a saving in direct cost of approximately 30% compared to the confined masonry system.

Keywords: shear walls of limited ductility, confined masonry, soft soil.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	16
1.1 Introducción.....	16
1.2 Antecedentes.....	17
1.3 Planteamiento del problema	18
1.4 Fundamentación	19
1.5 Objetivos.....	20
1.5.1 Objetivo general	20
1.5.2 Objetivos específicos.....	20
1.6 Metodología de investigación.....	21
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO	24
2.1 Análisis sísmico modal espectral.....	24
2.2 Albañilería confinada	30
2.2.1 Definición	30
2.2.2 Elementos estructurales y sus componentes.....	30
2.2.3 Procedimiento constructivo	31
2.2.4 Propiedades mecánicas	32
2.2.4.1 Módulo de elasticidad de la albañilería (E_m).....	32
2.2.4.2 Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f'_m):	32
2.2.4.3 Resistencia característica al corte a compresión diagonal (v'_m):.....	32
2.2.5 Aplicaciones en el Perú	33
2.2.6 Normatividad nacional	33
2.3 Muros de ductilidad limitada.....	33
2.3.1 Definición	33
2.3.2 Elementos estructurales y sus componentes.....	34
2.3.3 Método constructivo.....	34
2.3.4 Propiedades mecánicas	35
2.3.4.1 Módulo de elasticidad del concreto (E_c):	35
2.3.4.2 Resistencia característica a compresión axial del concreto (f'_c):	35
2.3.5 Aplicaciones en el Perú	35

2.3.6 Normatividad nacional	35
2.4 Suelos flexibles.....	35
2.4.1 Tipos de suelos flexibles	36
2.4.1.1 Suelos arenosos	36
2.4.1.2 Suelos arcillosos	36
2.4.1.3 Suelos limosos	36
CAPÍTULO 3. ASPECTOS PRELIMINARES	37
3.1 Descripción del proyecto	37
3.2 Criterios de estructuración.....	38
3.3 Pre dimensionamiento	40
3.3.1 Muros de ductilidad limitada.....	41
3.3.2 Albañilería confinada	43
3.4 Análisis estructural	46
3.4.1 Cargas de gravedad.....	46
3.4.1.1 Carga muerta.....	46
3.4.1.2 Carga viva.....	48
3.4.2 Parámetros sismo resistentes	50
3.4.2.1 Zonificación (Z).....	50
3.4.2.2 Factor de uso (U)	51
3.4.2.3 Parámetros de sitio (S).....	51
3.4.2.4 Factor de amplificación sísmica (C)	52
3.4.2.5 Coeficiente de reducción (R)	52
3.4.3 Análisis sísmico – Sistema muros de ductilidad limitada	53
3.4.3.1 Espectro de diseño	53
3.4.3.2 Análisis de modos de vibración.....	54
3.4.3.3 Verificación de irregularidades	55
3.4.3.4 Verificación de la fuerza cortante mínima	57
3.4.3.5 Desplazamientos de respuesta	58
3.4.4 Análisis sísmico – Sistema albañilería confinada.....	60
3.4.4.1 Espectro de diseño	60
3.4.4.2 Análisis de modos de vibración.....	62
3.4.4.3 Verificación de irregularidades	63
3.4.4.4 Verificación de la fuerza cortante mínima	65

3.4.4.5 Desplazamientos de respuesta	66
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE MUROS PORTANTES Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA .	69
4.1 Sistema muros de ductilidad limitada.....	69
4.1.1 Diseño estructural	76
4.1.1.1 Diseño por flexo compresión.....	76
4.1.1.2 Diseño por corte	89
4.1.2 Estimación económica.....	98
4.2 Sistema albañilería confinada	101
4.2.1 Diseño estructural	112
4.2.1.1 Cálculo de resistencia al agrietamiento diagonal	113
4.2.1.2 Cálculo de fuerzas internas.....	114
4.2.1.3 Cálculo de refuerzo horizontal	115
4.2.1.4 Verificación por esfuerzo axial máximo	115
4.2.1.5 Verificación por control de fisuración.....	116
4.2.1.6 Verificación de la resistencia al corte del edificio.....	120
4.2.1.7 Verificación del agrietamiento diagonal en los entrepisos superiores	123
4.2.1.8 Diseño de los elementos de confinamiento de los muros del primer piso y de los muros agrietados de pisos superiores.....	126
4.2.1.8.1 Diseño de las columnas de confinamiento	126
4.2.1.8.1.1 Diseño por compresión.....	129
4.2.1.8.1.2 Diseño por corte fricción	131
4.2.1.8.1.3 Determinación del refuerzo vertical	132
4.2.1.8.1.4 Determinación de los estribos de confinamiento.....	134
4.2.1.8.2 Diseño de vigas soleras	136
4.2.1.9 Diseño de los pisos superiores no agrietados	137
4.2.1.9.1 Diseño de las columnas de confinamiento	137
4.2.1.9.2 Diseño de vigas soleras	139
4.2.1.10 Diseño de muros de concreto armado.....	141
4.2.2 Estimación económica:.....	144
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	148
5.1 Comparación estructural.....	148
5.1.1 Comparación de distorsiones.....	148
5.1.2 Comparación de desplazamientos laterales	150

5.1.3 Comparación de fuerzas sobre resistentes	153
5.2 Comparación económica	157
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	159
6.1 Conclusiones.....	159
6.1.1 Muros de ductilidad limitada.....	159
6.1.2 Albañilería confinada	159
6.1.3 Análisis de resultados	160
6.2 Recomendaciones	161
6.2.1 Cimentación:.....	161
6.2.2 Vigas dintel.....	162
6.2.3 Elementos no estructurales	162
6.2.4 Consideraciones en el pre dimensionamiento	163
REFERENCIAS	164
ANEXOS	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cálculo del peso de la edificación	41
Tabla 2 Área de corte de muros reforzados, dirección X-X. Albañilería confinada.	44
Tabla 3 Área de corte de muros reforzados, dirección Y-Y. Albañilería confinada.	45
Tabla 4 Carga muerta 1° piso – Peso propio muros X-X. Sistema MDL.....	47
Tabla 5 Carga muerta 1° piso – Peso propio muros Y-Y. Sistema MDL.	47
Tabla 6 Carga muerta 1° piso – Peso propio losa. Sistema MDL.	48
Tabla 7 Carga muerta 1° piso – Acabados. Sistema MDL.....	48
Tabla 8 Carga muerta 1° piso – Tabiquería. Sistema MDL.....	48
Tabla 9 Carga viva 1° piso. Sistema MDL.	49
Tabla 10 Carga total de la edificación. Sistema MDL.	49
Tabla 11 Zona sísmica según ubicación geopolítica.	50
Tabla 12 Parámetro de zona “Z”.....	50
Tabla 13 Uso de la edificación.	51
Tabla 14 Parámetro de sitio.	51
Tabla 15 Coeficiente básico de reducción sísmica. Sistema MDL.	52
Tabla 16 Coeficiente básico de reducción sísmica. Albañilería confinada.	53
Tabla 17 Porcentaje de masa participativa. Sistema MDL.....	55
Tabla 18 Verificación de irregularidad en altura. Sistema MDL.	56
Tabla 19 Verificación de irregularidad en planta. Sistema MDL.	56
Tabla 20 Cortante mínima. Sistema MDL.....	58
Tabla 21 Desplazamientos de respuesta, X-X. Sistema MDL.....	60
Tabla 22 Desplazamientos de respuesta, Y-Y. Sistema MDL.	60
Tabla 23 Porcentaje de masa participativa. Albañilería confinada.	62
Tabla 24 Verificación de irregularidad en altura. Albañilería confinada.	63
Tabla 25 Verificación de irregularidad en planta. Albañilería confinada.	64
Tabla 26 Cortante mínima. Albañilería confinada.....	66
Tabla 27 Desplazamientos de respuesta, X-X. Albañilería confinada	67
Tabla 28 Desplazamientos de respuesta, Y-Y. Albañilería confinada.....	68
Tabla 29 Muros portantes – Iteración A. Sistema MDL.	71

Tabla 30 Muros portantes – Iteración B. Sistema MDL.	73
Tabla 31 Desplazamientos de respuesta, X-X – Iteración B. Sistema MDL.	73
Tabla 32 Desplazamientos de respuesta, Y-Y – Iteración B. Sistema MDL.	74
Tabla 33 Muros portantes – Iteración final. Sistema MDL.....	75
Tabla 34 Verificación de requerimiento de elementos de borde. Sistema MDL.	79
Tabla 35 Diseño de elementos de borde. Sistema MDL.....	80
Tabla 36 Combinaciones de carga, muro X7, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.	85
Tabla 37 Combinaciones de carga, muro X7, X-X, 3° al 5° nivel. Sistema MDL.	87
Tabla 38 Resistencia a corte del concreto, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.	91
Tabla 39 Resistencia a corte del concreto, Y-Y, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.	91
Tabla 40 Cuantía de refuerzo horizontal, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.	95
Tabla 41 Cuantía de refuerzo horizontal, Y-Y, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.	96
Tabla 42 Resistencia a corte nominal, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.....	97
Tabla 43 Resistencia a corte nominal, Y-Y, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.	97
Tabla 44 APU – Concreto premezclado $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Sistema MDL.	98
Tabla 45 APU – Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$. Sistema MDL.	99
Tabla 46 APU – Encofrado y desencofrado de placas (Metálico). Sistema MDL.	99
Tabla 47 APU – Mala electrosoldada QE-196. Sistema MDL.....	100
Tabla 48 Estimación económica. Sistema MDL.	100
Tabla 49 Muros portantes – Iteración A. Albañilería confinada.	102
Tabla 50 Desplazamientos de respuesta, X-X – Iteración A. Albañilería confinada.	103
Tabla 51 Desplazamientos de respuesta, Y-Y – Iteración A. Albañilería confinada.	103
Tabla 52 Control de fisuración, X-X, 1° nivel – Iteración A. Albañilería confinada.....	104
Tabla 53 Muros portantes – Iteración B. Albañilería confinada.	106
Tabla 54 Desplazamientos de respuesta, X-X – Iteración B. Albañilería confinada.....	107
Tabla 55 Desplazamientos de respuesta, Y-Y – Iteración B. Albañilería confinada.	107
Tabla 56 Control de fisuración, X-X, 1° nivel – Iteración B. Albañilería confinada.....	108
Tabla 57 Cortante mínima – Iteración B. Albañilería confinada.	109
Tabla 58 Resistencia a corte de placas – Iteración B. Albañilería confinada.	109
Tabla 59 Verificación de resistencia global, X-X, 1° nivel – Iteración B. Albañilería confinada.	110
Tabla 60 Muros portantes – Iteración final. Albañilería confinada.	112
Tabla 61 Verificación por esfuerzo axial máximo, Y-Y. Albañilería confinada.	116

Tabla 62 Control de fisuración, Y-Y, 1° nivel. Albañilería confinada.	117
Tabla 63 Control de fisuración, Y-Y, 2° nivel. Albañilería confinada.	117
Tabla 64 Control de fisuración, Y-Y, 3° nivel. Albañilería confinada.	118
Tabla 65 Control de fisuración, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.	118
Tabla 66 Control de fisuración, Y-Y, 5° nivel. Albañilería confinada.	119
Tabla 67 Verificación de resistencia global, Y-Y, 1° nivel. Albañilería confinada.....	121
Tabla 68 Verificación de resistencia global, Y-Y, 2° nivel. Albañilería confinada.....	121
Tabla 69 Verificación de resistencia global, Y-Y, 3° nivel. Albañilería confinada.....	122
Tabla 70 Verificación de resistencia global, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.....	122
Tabla 71 Verificación de resistencia global, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.....	123
Tabla 72 Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 1° nivel. Albañilería confinada.	124
Tabla 73 Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 2° nivel. Albañilería confinada.	124
Tabla 74 Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 3° nivel. Albañilería confinada.	125
Tabla 75 Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.	125
Tabla 76 Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 5° nivel. Albañilería confinada.	126
Tabla 77 Fuerzas internas en columnas de confinamiento. Albañilería confinada.	127
Tabla 78 Fuerzas internas en columnas de confinamiento int. Albañilería confinada.	128
Tabla 79 Fuerzas internas en columnas de confinamiento ext. Albañilería confinada. ...	128
Tabla 80 Diseño por compresión de columnas de confinamiento interiores, 1° nivel. Albañilería confinada.	130
Tabla 81 Diseño por compresión de columnas de confinamiento extremas, 1° nivel. Albañilería confinada.	130
Tabla 82 Diseño por corte fricción de columnas de confinamiento internas, 1° nivel. Albañilería confinada.	131
Tabla 83 Diseño por corte fricción de columnas de confinamiento externas, 1° nivel. Albañilería confinada.	132
Tabla 84 Cálculo del refuerzo vertical en columnas de confinamiento internas, 1° nivel. Albañilería confinada.	133
Tabla 85 Cálculo del refuerzo vertical en columnas de confinamiento externas, 1° nivel. Albañilería confinada.	134
Tabla 86 Distribución de estribos en columnas de confinamiento internas, 1° nivel. Albañilería confinada.	135

Tabla 87 <i>Distribución de estribos en columnas de confinamiento externas, 1° nivel. Albañilería confinada.</i>	136
Tabla 88 <i>Diseño de vigas solera, 1° nivel. Albañilería confinada.</i>	137
Tabla 89 <i>Cálculo del refuerzo vertical en columnas de confinamiento, muros no agrietados. Albañilería confinada.</i>	138
Tabla 90 <i>Determinación de la sección de columnas de confinamiento, muros no agrietados. Albañilería confinada.</i>	139
Tabla 91 <i>Diseño de vigas soleras, muros no agrietados. Albañilería confinada.</i>	140
Tabla 92 <i>Combinaciones de carga, muro PX13, X-X. Albañilería confinada.</i>	142
Tabla 93 <i>APU – Concreto hecho en obra $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Albañilería confinada.</i>	145
Tabla 94 <i>APU – Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$. Albañilería confinada.</i>	145
Tabla 95 <i>APU – Encofrado y desencofrado de placas (Madera). Albañilería confinada.</i>	146
Tabla 96 <i>APU – Muro de ladrillo K.K. aparejo de soga. Albañilería confinada.</i>	146
Tabla 97 <i>APU – Muro de ladrillo K.K. aparejo de cabeza. Albañilería confinada.</i>	147
Tabla 98 <i>Estimación económica. Albañilería confinada.</i>	147
Tabla 99 <i>Relación de distorsiones, dirección X-X.</i>	149
Tabla 100 <i>Relación de distorsiones, dirección Y-Y.</i>	150
Tabla 101 <i>Relación de desplazamientos laterales, dirección X-X.</i>	152
Tabla 102 <i>Relación de desplazamientos laterales, dirección Y-Y.</i>	152
Tabla 103 <i>Factores de sobre resistencia, X-X. Albañilería confinada.</i>	153
Tabla 104 <i>Factores de sobre resistencia, X-X. Sistema MDL.</i>	154
Tabla 105 <i>Relación de factores de sobre resistencia, X-X.</i>	155
Tabla 106 <i>Factores de sobre resistencia, Y-Y. Albañilería confinada.</i>	155
Tabla 107 <i>Factores de sobre resistencia, Y-Y. Sistema MDL.</i>	156
Tabla 108 <i>Relación de factores de sobre resistencia, Y-Y.</i>	156

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Falla por corte diagonal en el sistema de albañilería confinada. Adaptado de “Escalas para calificar los daños sísmicos en los muros de edificios de albañilería”, por Maximiliano Astroza, 2000	17
<i>Figura 2.</i> Modelo estructural del proyecto diseñado con el sistema albañilería confinada. Elaboración propia.....	22
<i>Figura 3.</i> Modelo estructural del proyecto diseño con el sistema MDL. Elaboración propia.	22
<i>Figura 4.</i> Discretización de elementos Shell del sistema albañilería confinada. Elaboración propia.	23
<i>Figura 5.</i> Discretización de elementos Shell del sistema muros de ductilidad limitada. Elaboración propia.....	23
<i>Figura 6.</i> Componentes estructurales del sistema albañilería confinada. Adaptado de “Manual de construcción para maestros de obra”, por Aceros Arequipa, s.f.....	31
<i>Figura 7.</i> Sistema muros de ductilidad limitada. Adaptado de “Muros de ductilidad limitada – Entrevista al Dr. Genner Villareal”, por Edificaciones de calidad, 2015	34
<i>Figura 8.</i> Plano de arquitectura – Planta. Adaptado de “Proyectos multifamiliares”, por Mabie Ingeniería estructural, 2013	37
<i>Figura 9.</i> Plano de arquitectura – Corte. Adaptado de “Proyectos multifamiliares”, por Mabie Ingeniería estructural, 2013	38
<i>Figura 10.</i> Muros portantes en etapa de pre dimensionamiento. Elaboración propia.....	40
<i>Figura 11.</i> Espectro de pseudo aceleraciones, $R=4.00$. Sistema MDL. Elaboración propia.	54
<i>Figura 12.</i> Espectro de pseudo aceleraciones, $R=3.00$. Sistema MDL. Elaboración propia.	57
<i>Figura 13.</i> Muros portantes. Sistema MDL. Elaboración propia.....	59
<i>Figura 14.</i> Espectro de pseudo aceleraciones, $R=3.00$. Albañilería confinada. Elaboración propia.	61
<i>Figura 15.</i> Espectro de pseudo aceleraciones, $R=6.00$. Albañilería confinada. Elaboración propia.	61

<i>Figura 16.</i> Espectro de pseudo aceleraciones, $R=2.25$. Albañilería confinada. Elaboración propia.....	65
<i>Figura 17.</i> Espectro de pseudo aceleraciones, $R=4.50$. Albañilería confinada. Elaboración propia.....	65
<i>Figura 18.</i> Muros portantes. Albañilería confinada. Elaboración propia.....	67
<i>Figura 19.</i> Muros portantes – Iteración A. Sistema MDL. Elaboración propia.....	70
<i>Figura 20.</i> Muros portantes – Iteración B. Sistema MDL. Elaboración propia.....	72
<i>Figura 21.</i> Muros portantes – Iteración final. Sistema MDL. Elaboración propia.	75
<i>Figura 22.</i> Longitud efectiva de alas, muro X7. Sistema MDL. Elaboración propia.	78
<i>Figura 23.</i> Elementos de borde. Sistema MDL. Elaboración propia.	81
<i>Figura 24.</i> Refuerzo vertical, muro X7 1° y 2° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.	83
<i>Figura 25.</i> Diagrama de interacción, muro X7. Sistema MDL. Elaboración propia.	84
<i>Figura 26.</i> Diagrama de interacción de diseño, muro X7 1° y 2° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.....	85
<i>Figura 27.</i> Especificaciones técnicas de malla electrosoldada QE-196. Sistema MDL. Adaptado de “Malla electrosoldada”, por Prodac, 2014.	86
<i>Figura 28.</i> Elementos de borde secundarios. Sistema MDL. Elaboración propia.	87
<i>Figura 29.</i> Refuerzo vertical, muro X7 3° al 5° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.....	88
<i>Figura 30.</i> Diagrama de interacción de diseño, muro X7, 3° al 5° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.....	89
<i>Figura 31.</i> Diagrama de interacción nominal, muro X7, 1° y 2° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.....	93
<i>Figura 32.</i> Muros portantes – Iteración A. Albañilería confinada. Elaboración propia....	102
<i>Figura 33.</i> Muros portantes – Iteración B. Albañilería confinada. Elaboración propia....	105
<i>Figura 34.</i> Muros portantes – Iteración final. Albañilería confinada. Elaboración propia.	111
<i>Figura 35.</i> Viga solera VS-101. Albañilería confinada. Elaboración propia.	140
<i>Figura 36.</i> Viga solera VS-102. Albañilería confinada. Elaboración propia.	141
<i>Figura 37.</i> Viga solera VS-103. Albañilería confinada. Elaboración propia.	141
<i>Figura 38.</i> Diagrama de interacción de diseño, muro PX13. Albañilería confinada. Elaboración propia.....	143
<i>Figura 39.</i> Comparación de distorsiones, dirección X-X. Elaboración propia.	148
<i>Figura 40.</i> Comparación de distorsiones, dirección Y-Y. Elaboración propia.	149

<i>Figura 41.</i> Comparación de desplazamientos laterales, dirección X-X. Elaboración propia.	151
<i>Figura 42.</i> Comparación de desplazamientos laterales, dirección Y-Y. Elaboración propia.	151
<i>Figura 43.</i> Comparación de factores de sobre resistencia, X-X. Elaboración propia.	154
<i>Figura 44.</i> Comparación de factores de sobre resistencia, Y-Y. Elaboración propia.	156
<i>Figura 45.</i> Comparación de costo directo. Elaboración propia.....	157

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

La albañilería confinada es el sistema estructural más utilizado en el Perú y principalmente en el norte del país. Su predominancia sobre otros sistemas estructurales para edificaciones de baja complejidad y reducida altura radica fundamentalmente en la cantidad de materiales y mano de obra calificada que se encuentra disponible en el territorio nacional. Sin embargo, los bajos estándares de calidad, la autoconstrucción y el desconocimiento técnico de quienes ejercen o son responsables de la construcción de viviendas estructuradas mediante dicho sistema, representan ser un riesgo considerable ante un eventual sismo de magnitud relevante, situación que lamentablemente ocurre en nuestro país.

En la última década, entre los años 2004 y 2012, el aumento de las inversiones y proyecciones con tendencia a una economía en crecimiento, originó el denominado “Boom de la construcción”, fenómeno que trajo consigo el incremento en la ejecución de edificaciones estructuradas bajo el sistema de muros de ductilidad limitada (MDL); sistema que presenta entre sus principales características el reducido espesor de muros, refuerzo principal de mallas electro-soldadas y la reducción importante de los desplazamientos inelásticos de la estructura.

A pesar de que, en edificaciones con alta densidad de muros y reducida altura, el sistema MDL presenta ventajas sobre el ya conocido sistema de albañilería confinada, aún el sistema es poco preferido en el diseño y construcción de edificios multifamiliares en los departamentos fuera de la capital. Es así, que en la presente tesis se plantea dar a conocer las ventajas del sistema MDL versus el sistema de albañilería confinada, mediante la comparación del comportamiento estructural y la estimación económica de ambos sistemas tomando como principio, el diseño de una misma edificación sobre suelo flexible en la ciudad de Piura.

1.2 Antecedentes

Uno de los investigadores más reconocidos de la albañilería estructural en el país es el Ingeniero Ángel San Bartolomé, quien desarrolló numerosas investigaciones y fundamentó en gran medida la Norma Técnica Peruana E.070, la misma que fue actualizada el año 2007. Entre sus principales referencias se encuentra los comentarios a la Norma E.070 presentados en mayo del 2005, documento en el que expone las consideraciones y criterios de diseño de los sistemas de albañilería confinada y albañilería armada, como por ejemplo la esbeltez de fuerzas y su incidencia en el comportamiento que desarrollan los primeros entrepisos en comparación a los superiores.

Si bien el sistema de albañilería confinada posee un buen comportamiento estructural, ante sollicitaciones sísmicas severas en suelo blando es muy probable que se presenten distorsiones considerables en la edificación, produciendo así el agrietamiento diagonal de los muros portantes del sistema y generando un fuerte impacto en el costo de reparación de los daños producidos por el evento telúrico. En la Figura 1 se presenta la falla por corte diagonal en un muro de albañilería confinada.

Figura 1. Falla por corte diagonal en el sistema de albañilería confinada. Adaptado de “Escalas para calificar los daños sísmicos en los muros de edificios de albañilería”, por Maximiliano Astroza, 2000

Por su parte, el sistema de muros de ductilidad limitada (MDL) presenta entre sus principales características el reducido espesor de muros, refuerzo principal de mallas electrosoldadas y la reducción importante de los desplazamientos inelásticos de la estructura; sin embargo, de presentarse una alta densidad de muros las distorsiones de entrepiso logran ser bastante menores en comparación al sistema de albañilería, resultado que lo favorece en el análisis del comportamiento estructural.

En la década pasada, diversos especialistas realizaron investigaciones al comportamiento estructural del sistema MDL entre las que destacan los estudios realizados al comportamiento sísmico de placas de concreto reforzada con malla electrosoldada, San Bartolomé (2005), el control de falla por deslizamiento en muros MDL, Muñoz (2005) y la propuesta del factor de reducción de fuerza sísmica para sistemas estructurales en concreto armado con muros reforzados por barras dúctiles y mallas electrosoldadas, Gálvez (2008).

Dichas investigaciones sirvieron de base para los criterios de diseño expuestos en la presente tesis, así como del análisis de resultados y las conclusiones de esta investigación.

1.3 Planteamiento del problema

Conocida la predominancia del sistema de albañilería confinada en la ciudad de Piura, el perfil de suelo blando de la locación y su incidencia en el incremento de la fuerza sísmica, es consistente señalar que, en el diseño de una edificación de cinco niveles de tales características, muy probablemente sea necesario reemplazar una considerable cantidad de muros de albañilería por elementos de concreto armado, situación que aumentaría el costo directo de ejecución.

Situación que se podría evitar al modificar el sistema de albañilería por muros de ductilidad limitada, por lo que se plantea su evaluación mediante la comparación del comportamiento estructural de una misma edificación diseñada con ambos sistemas.

1.4 Fundamentación

El espectro de pseudo aceleraciones expuesto en la Norma Técnica de sismo resistencia E.030 2016, establece parámetros que varían en función de la zonificación (Z), uso (U), periodo (C), suelo (S) y ductilidad (R) de la estructura, parámetros que dependiendo de las características de la edificación influyen directamente en los esfuerzos a los que estará sometida.

Para la condición de cimentación en un perfil de suelo Tipo S3, la Norma incrementa el parámetro suelo en 10% respecto a un perfil de Tipo S1, extiende el periodo que define la plataforma del espectro “Tp” de 0.4 segundos a 1.0 segundo y reduce el periodo que define el inicio de la zona del parámetro de amplificación sísmica con desplazamiento constante “Tl” de 2.5 segundos a 1.6 segundos. Dicha disposición modifica el espectro de pseudo aceleraciones y por ende incrementa la aceleración sísmica en la base de la estructura, solicitando así una mayor resistencia a corte que en una edificación cimentada sobre suelo rígido.

El Instituto nacional de defensa civil (INDECI) con el objetivo de establecer el comportamiento del suelo en el área urbana y en posibles zonas de expansión, realizó el año 2002 en convenio con la Universidad Nacional de Piura (UNP) el “Estudio de mecánica de suelos y mapa de peligros de la ciudad de Piura”, el cual determina entre sus conclusiones que el relieve de la ciudad presenta una topografía de pequeñas elevaciones constituidas principalmente por depósitos de arenas de grano medio a fino, arenas mal gradadas, baja humedad y baja resistencia a la penetración; características que la Norma Técnica E.030 2016 enmarca como un perfil de suelo Tipo S3.

La albañilería confinada es el sistema estructural más utilizado en nuestro país para edificaciones multifamiliares de baja altura; sin embargo, las verificaciones propias de su diseño producen que por lo general sea necesario la incorporación de placas de concreto

armado en estructuras que posean más de tres niveles con el objetivo de incrementar la rigidez en sus direcciones de análisis.

Si a ello se adiciona que la edificación estará cimentada sobre un perfil de suelo blando, es consistente señalar que muy probablemente durante el diseño se requiera reemplazar muros de aparejo de sogas por aparejo de cabeza o por muros de concreto armado debido a la incidencia del tipo de suelo en la solicitud de carga sísmica, situación que extendería el proceso iterativo de diseño e incrementaría su costo directo de construcción; contexto que podría simplificarse diseñando la edificación bajo el sistema de muros de ductilidad limitada.

Visto ello, se concluye la necesidad de realizar el estudio comparativo del comportamiento y diseño estructural de un edificio multifamiliar de cinco pisos diseñado con los sistemas de albañilería confinada y muros de ductilidad limitada en suelo flexible en la ciudad de Piura.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento estructural de una edificación de cinco pisos diseñada con los sistemas de albañilería confinada y muros de ductilidad limitada en suelo flexible en la ciudad de Piura, mediante la comparación de los desplazamientos de respuesta, distorsiones y factores de sobre resistencia (capacidad / demanda) considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar la edificación bajo el sistema de muros de ductilidad limitada.
- Diseñar la edificación bajo el sistema de albañilería confinada.
- Analizar y comparar entre ambos sistemas estructurales las distorsiones y desplazamientos laterales de entrepiso.

- Calcular y comparar, entre ambos sistemas estructurales, la relación fuerza resiste versus fuerza actuante.

Se plantea a manera de parámetro de comparación adicional, estimar y contrastar el costo directo de ejecución de ambos sistemas estructurales.

1.6 Metodología de investigación

La presente tesis se desarrolla bajo la metodología de investigación aplicada, en la que expuesta la problemática se propone una alternativa de solución factible haciendo uso de un conocimiento explicito aplicado a los objetivos establecidos.

Para ambos sistemas estructurales el diseño se desarrolló cumpliendo la Normativa nacional vigente, la misma que dada las características de la edificación, solicita realizar el análisis dinámico modal espectral de la estructura, procedimiento que se llevó a cabo con el Software ETABS 2015 v15.2.

Es importante mencionar que, en el modelamiento se discretizó los elementos “Shell” con el propósito de obtener los esfuerzos actuantes en los muros mediante la integración que realiza el programa a los resultados que se presentan en cada uno de ellos en función a las propiedades que poseen.

Figura 2. Modelo estructural del proyecto diseñado con el sistema albañilería confinada. Elaboración propia.

Figura 3. Modelo estructural del proyecto diseño con el sistema MDL. Elaboración propia.

Figura 4. Discretización de elementos Shell del sistema albañilería confinada. Elaboración propia.

Figura 5. Discretización de elementos Shell del sistema muros de ductilidad limitada. Elaboración propia.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El presente capítulo contempla el fundamento teórico de los componentes que comprenden el desarrollo de esta tesis, tales como el análisis sísmico realizado, los sistemas estructurales que se plantea comparar y la condición de suelo que rige un rol predominante en el incremento de la fuerza sísmica de la estructura.

2.1 Análisis sísmico modal espectral

El análisis sísmico modal espectral se basa en el cálculo del análisis matricial; el cual, utilizando el método de superposición de desplazamientos, permite conocer las fuerzas y desplazamientos en los nudos de la estructura mediante la siguiente fórmula:

$$[F] = [K] * [U]$$

F: Vector de fuerzas Externas de la estructura

U: Vector de Desplazamiento de la estructura

K: Matriz de rigidez de la estructura

Este además se basa en el análisis tridimensional, el cual, mediante la matriz de rigidez, permite obtener los esfuerzos de tracción, compresión, corte, momento flector y torsión de cada elemento que conforma el sistema. La matriz de rigidez posee la siguiente estructura:

$$[\bar{k}] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & \frac{12EI_x}{L^3} & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & -\frac{12EI_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{L^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & -\frac{6EI_x}{L^2} & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_y}{L} & \frac{2EI_x}{L} \\ 0 & \frac{6EI_x}{L^2} & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_x}{L} & \frac{4EI_y}{L} & 0 & -\frac{6EI_x}{L^2} & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & \frac{2EI_x}{L} \\ 0 & \frac{12EI_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{L^2} \\ -\frac{AE}{L} & -\frac{12EI_x}{L^3} & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & \frac{12EI_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_x}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_x}{L} & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_x}{L^2} & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{L^2} & 0 & -\frac{6EI_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_x}{L} \end{bmatrix}$$

Es importante mencionar que dicha matriz se encuentra en coordenadas locales, por lo que para poder ser operada con el resto de los elementos de la estructura es necesario realizar la compatibilidad geométrica de la misma, es decir, convertir la matriz a coordenadas globales, procedimiento que se lleva a cabo con el uso de la Matriz de transformación [T], siendo “x”, “y” y “z” las posiciones de los elementos con respecto al origen de ejes global.

$$[T] = \begin{bmatrix} [T^*] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [T^*] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [T^*] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [T^*] \end{bmatrix}_{12 \times 12}$$

Donde:

$$[T^*] = \begin{bmatrix} \cos \theta_x & \cos \theta_y & \cos \theta_z \\ -\frac{\cos \theta_x \cdot \cos \theta_y}{\sqrt{(\cos \theta_x)^2 + (\cos \theta_z)^2}} & \sqrt{(\cos \theta_x)^2 + (\cos \theta_z)^2} & -\frac{\cos \theta_y \cdot \cos \theta_z}{\sqrt{(\cos \theta_x)^2 + (\cos \theta_z)^2}} \\ -\frac{\cos \theta_z}{\sqrt{(\cos \theta_x)^2 + (\cos \theta_z)^2}} & 0 & -\frac{\cos \theta_x}{\sqrt{(\cos \theta_x)^2 + (\cos \theta_z)^2}} \end{bmatrix}$$

$$\cos \theta_x = \frac{x_2 - x_1}{L}$$

$$\cos \theta_y = \frac{y_2 - y_1}{L}$$

$$\cos \theta_z = \frac{z_2 - z_1}{L}$$

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Obtenida la matriz de rigidez del elemento en coordenadas locales $[k^e]$ y su matriz de transformación $[T]$, se procede al cálculo de la matriz de rigidez global del mismo $[k']$:

$$[k'] = [T]^T \cdot [k^e] \cdot [T]$$

Una vez que las matrices de todos los elementos que conforman el sistema se expresan en coordenadas globales, se procede a realizar el ensamble de la Matriz de rigidez de la estructura en coordenadas globales $[K]$.

Posterior a ello, se realiza la condensación estática o método de reducción matricial, la cual consiste en reducir las dimensiones de la matriz de rigidez $[K]$ para que únicamente incluya los grados de libertad predominantes de la estructura; es decir, si la matriz de rigidez contempla grados de libertad donde no existen esfuerzos o son muy pequeños, se podrá reducir la matriz particionándola de manera vertical y/u horizontal según se encuentren dichos grados de libertad.

Cabe mencionar que esta reducción también se aplica a la matriz de fuerzas y desplazamientos de la estructura, particionando las fuerzas nulas y los desplazamientos originados de las mismas como se muestra a continuación:

$$\begin{bmatrix} P_c \\ - \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_0 & | & K_1 \\ - & + & - \\ K_2 & | & K_3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_c \\ - \\ U_0 \end{bmatrix}$$

Operando y reemplazando los valores se desprende la Matriz de la estructura reducida $[K_c]$, la cual, dado que en la condensación estática se consideró únicamente los valores que aportan rigidez lateral en función a las direcciones de análisis, es igual a la Matriz de rigidez lateral de la estructura $[KL]$:

$$[K_c] = [KL] = [[K_0] - [K_1] \cdot [K_3]^{-1} \cdot [K_2]]$$

Hasta el momento, se ha calculado la matriz de rigidez lateral de la estructura en coordenadas globales; sin embargo, debido a que para efectos de cálculo las traslaciones “Dx”, “Dy” y el giro torsional (σ) se encuentran en el centro de masa, se debe definir la matriz de rigidez en un plano paralelo al plano X-Y.

Para ello, se utilizará la matriz de compatibilidad $[A]$, la cual relaciona las coordenadas del centro de masa del diafragma rígido con las coordenadas globales de la estructura. Dicha matriz tiene la siguiente forma:

$$A^{(i)} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & & & \sin \alpha & & & r_1 & & & \\ & \cos \alpha & \dots & & \sin \alpha & \dots & & r_2 & \dots & \\ & & \cos \alpha & & & & \sin \alpha & & & r_n \end{bmatrix}$$

Donde el ángulo “ α ” es la orientación del elemento o conjunto de elementos resistentes respecto al eje x, y “r” es la distancia del elemento o conjunto de elementos resistentes hacia el centro de masa.

Finalmente se obtiene la Matriz de rigidez lateral en coordenadas de piso [KE]:

$$[KE] = \sum_{i=1}^n [A^{(i)}]^T \cdot [KL^{(i)}] \cdot [A^{(i)}]$$

Posterior a ello, se procede a calcular la Matriz de masa de la estructura [M], la misma que depende de la masa de cada nivel (m) y el momento de inercia de la masa de cada entrepiso (J).

$$M_{(i)} = \begin{bmatrix} m_{(i)} & & \\ & m_{(i)} & \\ & & J_{(i)} \end{bmatrix}$$

Esta última se calcula mediante la siguiente expresión, donde a y b son las dimensiones del diafragma rígido de entrepiso.

$$J_i = \frac{m_i}{12} * (a^2 + b^2)$$

Finalmente, al operar la matriz de rigidez [KE] y la matriz de masa [M] se obtienen los valores propios (λ_i) y los modos de vibración (ϕ_i) según la siguiente ecuación:

$$([KE] - \lambda \cdot [M]) \cdot \phi = 0$$

Posterior a ello, se prosigue a satisfacer las condiciones de ortogonalidad de los modos de vibración mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{cases} [\phi]^T \cdot [M] \cdot [\phi] = [I] \begin{cases} \{\phi\}_i^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_i = 0, \text{para } i \neq j \\ \{\phi\}_i^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_i = 1, \text{para } i = j \end{cases} \\ [\phi]^T \cdot [K] \cdot [\phi] = [\Omega] \begin{cases} \{\phi\}_i^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_i = 0, \text{para } i \neq j \\ \{\phi\}_i^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_i = \lambda, \text{para } i = j \end{cases} \end{cases}$$

Donde $[\phi]$ es la matriz modal del sistema y $[\Omega]$ es la matriz diagonal que contiene los valores propios (λ_i).

Luego, para determinar los modos de vibración reales del sistema, se realiza la normalización de tales modos aplicando la siguiente expresión:

$$\{\phi\}_i^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_i = 1$$

A continuación, los factores de participación modal (γ_i) se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma_i = \frac{(\phi^i)^T \cdot M \cdot 1}{(\phi^i)^T \cdot M \cdot (\phi^i)}$$

El cálculo de las fuerzas laterales se realiza en función del espectro de pseudo-aceleración, del factor de participación modal y de los modos de vibración, según:

$$P^{(i)} = \gamma_i * S_{di} * M * \mu * \phi^{(i)}$$

Finalmente, tal cual lo expresa la Norma E.030, para el cálculo de la respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados, se aplica el criterio de combinación cuadrática completa (CQC) bajo la siguiente expresión:

$$r = 0.25 * \sum_{i=1}^m |r_i| + 0.75 * \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

2.2 Albañilería confinada

2.2.1 Definición

Sistema estructural de muros portantes de albañilería confinados mediante columnas de amarre y vigas soleras. Es el sistema estructural más utilizado para edificaciones de uso vivienda unifamiliar y multifamiliar en el Perú.

2.2.2 Elementos estructurales y sus componentes

Los principales elementos de la albañilería confinada son los muros portantes de albañilería, columnas de confinamiento, vigas soleras y cimentación, ver Figura 6. Así mismo, se utilizan diversos componentes tales como cemento, arena, agua, acero corrugado, encofrados de madera, escantillones, plomada, nivel de burbuja, cordel, cincel, entre otros.

Figura 6. Componentes estructurales del sistema albañilería confinada. Adaptado de “Manual de construcción para maestros de obra”, por Aceros Arequipa, s.f.

2.2.3 Procedimiento constructivo

Referente al proceso constructivo de la albañilería confinada, primero se realiza la excavación y vaciado de la cimentación, siendo esta usualmente corrida, posterior a ello se ejecuta el sobrecimiento, el mismo que servirá de apoyo a los muros portantes en el primer nivel. Luego se procede a la construcción de los muros, en esta etapa primero se debe humedecer los ladrillos con agua en un lugar cercano a donde serán asentados y poco antes de su uso. Seguidamente, con la ayuda del escantillón se procede a marcar la distancia entre el sobrecimiento y la altura del muro, dividiendo el mismo en hiladas que comprenden la altura del ladrillo y el espesor de la junta de mortero. Posteriormente, se humedece todo el largo del sobrecimiento y se procede a la colocación del mortero y ladrillo respectivamente. Los ladrillos en los extremos del muro deben ser endentados con el propósito de asegurar la unión con las columnas de confinamiento. Luego, se llenan las juntas verticales con la segunda capa de mortero y se repite el procedimiento hasta que el muro tenga una altura inicial de 1.0 o 1.2 metros, para luego culminar el asentado del muro hasta su cota final a fondo de viga una vez alcanzada la fragua del primer proceso de asentado. Por último, se ejecuta la losa de entre piso, generalmente aligerada, para luego continuar con el piso inmediato superior. Es importante resaltar el curado del muro de albañilería ya sea con agua o antisol, puesto repercute directamente en la resistencia a compresión del muro portante ejecutado.

2.2.4 Propiedades mecánicas

Para la obtención de los siguientes parámetros se utilizan ensayos destructivos en pilas y muretes.

2.2.4.1 Módulo de elasticidad de la albañilería (E_m)

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad se debe realizar el ensayo de compresión axial, el cual proporciona una gráfica de carga vertical vs desplazamiento axial. La pendiente de esa gráfica, en la parte lineal, será el módulo de elasticidad de la unidad de albañilería.

2.2.4.2 Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f'_m):

Para el cálculo de la resistencia a la compresión de la albañilería se debe realizar el ensayo de compresión axial, el cual proporciona una gráfica esfuerzo vs deformación unitaria. La resistencia (f'_m) se obtiene dividiendo la carga de rotura (fuerza ejercida por el ensayo a una velocidad constante) entre el área bruta de la unidad de albañilería. Si el ensayo a compresión diagonal se realiza en un tiempo menor a los 28 días (pero no menor a 14) se debe corregir la resistencia característica al corte por un factor especificado en la Norma E.070. Una vez ensayadas las pilas se calcula su valor promedio ($\bar{f}_m$) y la desviación estándar (σ). De acuerdo con la NTE E.070, la resistencia característica a la compresión axial (f'_m) es igual a:

$$f'_m = \bar{f}_m - \sigma$$

2.2.4.3 Resistencia característica al corte a compresión diagonal (v'_m):

Para el cálculo de la resistencia al corte diagonal de la albañilería se debe realizar el ensayo de compresión de muretes. La resistencia (v'_m) se obtiene dividiendo la carga diagonal de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada. Si el ensayo a compresión diagonal se realiza en un tiempo menor a los 28 días (pero no menor a 14) se debe corregir la resistencia característica al corte por un factor especificado en la Norma E.070.

Una vez ensayados los muretes, se obtiene el valor promedio de resistencia al corte (v'_m) y la desviación estándar (σ). De acuerdo a la NTE E.070, la resistencia al corte diagonal (v'_m) es igual a:

$$v'_m = v_m - \sigma$$

2.2.5 Aplicaciones en el Perú

El uso del sistema de albañilería confinada es bastante extenso en el Perú. Los sectores socioeconómicos con mayor preferencia por su uso son los sectores C y D; sin embargo, es también utilizado para edificaciones de oficinas, hoteles y viviendas unifamiliares de los sectores A y B.

Además, es importante resaltar que en provincia el uso de la albañilería confinada es aún más extenso que en la capital, debido principalmente a la facilidad de encontrar mano de obra capacitada, materiales de construcción en stock y edificaciones de baja complejidad y altura.

2.2.6 Normatividad nacional

Todas las edificaciones en las cuales se emplee el sistema estructural de albañilería confinada deben cumplir con las Normas E.070 2006 y E.030 2016.

2.3 Muros de ductilidad limitada

2.3.1 Definición

Sistema estructural de muros portantes de concreto armado de espesor reducido, entre 10 cm y 15 cm. Se caracteriza por su reducción de tiempo y costo en el proceso de construcción de edificaciones de alta densidad de muros y baja altura.

2.3.2 Elementos estructurales y sus componentes

Los principales elementos estructurales del sistema MDL son: muros de concreto armado, losa maciza y cimentación. Así mismo, se utilizan diversos componentes tales como malla electrosoldada, malla de acero corrugado, cemento, arena, agua, encofrados de madera o metálicos, entre otros.

Figura 7. Sistema muros de ductilidad limitada. Adaptado de “Muros de ductilidad limitada – Entrevista al Dr. Genner Villareal”, por Edificaciones de calidad, 2015

2.3.3 Método constructivo

Respecto al proceso constructivo del sistema MDL, primero es necesario ejecutar la platea de cimentación de la estructura, seguidamente se procede a la colocación de la malla electrosoldada; sin embargo, es importante resaltar que para edificaciones de más de 3 niveles, la Norma Técnica peruana exige la utilización de acero de refuerzo corrugado en el tercio inferior de la estructura. Posteriormente, se encofra los muros y la losa de entrepiso a fin de vaciar ambos elementos monolíticamente. El procedimiento se repite en cada uno de los niveles hasta culminar con la estructura del edificio.

2.3.4 Propiedades mecánicas

Para la obtención de los siguientes parámetros se utilizan ensayos destructivos en probetas.

2.3.4.1 Módulo de elasticidad del concreto (E_c):

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad se debe realizar el ensayo de compresión axial, el cual proporciona la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria. En el rango elástico, la tangente de la gráfica representa el módulo de elasticidad del concreto; siendo el módulo de Young aproximadamente 15000 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

2.3.4.2 Resistencia característica a compresión axial del concreto (f'_c):

La gráfica esfuerzo deformación del ensayo a compresión axial del concreto proporciona la resistencia característica del mismo.

2.3.5 Aplicaciones en el Perú

El uso del sistema ha predominado en las edificaciones de uso multifamiliar, llegándose a construir edificios de hasta más de 10 niveles. Actualmente, la Norma Técnica considera restricciones en su diseño y un máximo de entresijos.

2.3.6 Normatividad nacional

Los edificios estructurales diseñados con el sistema de muros de ductilidad limitada deberán cumplir con las Normas E.060 2009 y E.030 2016.

2.4 Suelos flexibles

Según la Norma E.030 2016 son aquellos suelos con velocidades de propagación de onda de corte menor o igual a 180m/s, valores de SPT N60 menores que 15, resistencia a corte en

condición no drenada entre 0.25kg/cm² y 0.50 kg/cm², índice de plasticidad mayor a 20 y contenido de humedad mayor a 40% para condiciones expuesta en el documento. A continuación, se mencionan los tipos de suelos que forman parte de esta categoría.

2.4.1 Tipos de suelos flexibles

Los suelos flexibles en su predominancia son de tres tipos:

2.4.1.1 Suelos arenosos

Las partículas de los suelos arenosos pueden clasificarse en angulares, subangulares o redondeadas. Es un material permeable debido a que el agua circula libremente a través de él; sin embargo, posee características altamente licuables debido a que ante una acción excitadora como la de un evento sísmico, sus partículas tienden a acomodarse y provocar asentamientos diferenciados en las edificaciones.

2.4.1.2 Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos se componen de partículas rocosas extremadamente finas, que pueden ser redondas, planas o de otras formas o tipos, por lo general, los suelos arcillosos contienen una cantidad de agua que oscila entre el 10 y el 50%, por peso de la muestra. Ante el contacto con agua, la tensión superficial generada mantiene las partículas del suelo arcilloso unidas entre sí, cuando la capa de agua se hace más delgada, la tensión superficial aumenta y se hace mayor el efecto de adherencia.

2.4.1.3 Suelos limosos

Es un tipo de suelo muy compacto, sin llegar a ser tanto como el suelo arcilloso. Proceden de la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por las aguas o depositadas por el viento.

Figura 9. Plano de arquitectura – Corte. Adaptado de “Proyectos multifamiliares”, por Mabie Ingeniería estructural, 2013

La distribución arquitectónica típica para los cinco niveles se detalla en la Figura 8, mientras que en la Figura 9 se expone la sección A de la edificación. En el Anexo I y II del presente documento se presenta en formato PDF la vista en planta y elevación de la estructura en cuestión.

3.2 Criterios de estructuración

Las estructuras de muros de ductilidad limitada al igual que las de albañilería confinada, son aquellas que poseen una importante densidad de muros portantes en ambas direcciones de análisis, característica que será aprovechada en el desarrollo de la presente tesis teniendo en cuenta los siguientes criterios de estructuración.

El artículo 17 de la Norma E.070 Albañilería establece que todo muro portante de la edificación debe de tener por lo menos 1.20 m de longitud para ser considerado como contribuyente a la resistencia de fuerzas horizontales.

Para ambos sistemas se consideró la edificación como una sola estructura, en la que la transmisión de esfuerzos se efectúa a través de los diafragmas rígidos de cada entrepiso.

El artículo 14.4 de la Norma E.070 recomienda para edificaciones de albañilería el uso de losa macizas o aligeradas en dos direcciones, con el objetivo de incrementar la ductilidad y resistencia a corte de los muros a los que el diafragma rígido transfiere cargas de gravedad; por ello, y por efectos prácticos de comparación se consideró para ambos sistemas estructurales una losa maciza de 15 cm de espesor.

Todo muro no estructural fue aislado del análisis sísmico con el objetivo de representar rigidez nula en el sistema. Se consideró una separación de media pulgada entre los elementos estructurales y no estructurales, ver “Detalle de interfase tabique - muro estructural” en plano E-02 presentado en el Anexo IV

Para ambos sistemas estructurales, los alféizares de ventanas poseen juntas de dilatación con el objetivo de evitar movimientos relativos producto de contracciones por fragua o efectos sísmicos.

Dado que los muros laterales de la edificación D1, D2, D3 y D4, poseen una reducida capacidad de respuesta sísmica en la dirección de análisis X-X, solo fueron considerados en la dirección Y-Y durante el análisis sísmico y diseño estructural.

estructuración establecidos previamente. En la Figura 10 se presenta la distribución en planta

3.3.1 Muros de ductilidad limitada

Con el objetivo de validar la densidad de muros expuesta en el pre dimensionamiento, se realizó la comparación entre la fuerza basal estática y la resistencia a la fuerza cortante desarrollada por el concreto de los muros considerados como portantes

Para la estimación del peso de la estructura se consideró un ratio de 1.0 t/m² para todos los entresijos, el peso estimado se calculó en 1 265 toneladas. Ver Tabla 1.

Tabla 1

Cálculo del peso de la edificación

Peso estimado de la edificación			
Piso	Área (m2)	γ (t/m2)	Peso (t)
Piso 1	230.0	1.0	230.0
Piso 2	230.0	1.0	230.0
Piso 3	230.0	1.0	230.0
Piso 4	230.0	1.0	230.0
Piso 5	230.0	1.0	230.0
Azotea	230.0	0.5	115.0
Sub total (t)	230.0	5.00	
Peso estimado de la edificación (t)			1265.0

Nota: Elaboración propia.

Considerando los parámetros y requisitos estipulados en la Norma E.030 2016 se procedió al cálculo de la fuerza cortante basal estática mediante la siguiente expresión:

$$V_{basal} = \frac{ZUCS}{R} * P$$

Para los valores requeridos fueron analizados los siguientes parámetros sismo resistentes:

- **Zonificación (Z)**

Dado que la estructura en análisis se encuentra ubicada en el departamento de Piura, así como en la provincia y distrito del mismo nombre (Zona 4), el parámetro “Z” correspondiente es de 0.45.

- **Factor de uso (U)**

El uso de la edificación es de vivienda multifamiliar, por lo tanto el parámetro “U” es igual a 1.0.

- **Parámetros de sitio (S)**

Dado que el tipo de suelo predominante en la ciudad de Piura es clasificado como “Suelo blando (S₃)”, el parámetro “S” es igual a 1.10.

- **Factor de amplificación sísmica (C)**

Debido a que el periodo de vibración de una edificación de baja altura es por lo general menor al periodo que define la plataforma del factor “C”, “Tp”, se asume “C” es igual a 2.50.

- **Coefficiente de reducción (R)**

Dado que no se evidencia irregularidad considerable a nivel de pre dimensionamiento, el coeficiente de reducción sísmica “Ro” es igual a 4.

La cortante basal estática de la edificación a nivel de pre dimensionamiento es:

$$V_{basal} = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.1}{4} * 1\,265 = 391\,t$$

Considerando el peralte efectivo de los muros portantes como el 80% de su longitud total, la comparación entre la resistencia a corte proporcionada por el concreto y la fuerza cortante

basal estática en ambas direcciones de análisis, se realizó en función de la siguiente expresión:

$$V_u \leq 0.85 * V_c$$

$$391\ 000 \leq 0.85 * 0.53 * \sqrt{f'c} * Acw$$

$$391\ 000 \leq 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 0.80 * Acw$$

$$Acw \geq 7.5\ m^2$$

Habiendo considerado un espesor de 15 cm para los muros expuestos en el pre dimensionamiento, las áreas de concreto resistente a corte “Acw” en las direcciones de análisis X-X e Y-Y son de 7.4 m² y 10.0 m² respectivamente. Visto los resultados, se concluye que la distribución y pre dimensionamiento de muros portantes para el sistema MDL es válida.

3.3.2 Albañilería confinada

Con el propósito de validar el pre dimensionamiento de los muros de albañilería confinada, se toma en consideración la densidad mínima de muros reforzados estipulada en la Norma E.070 2006 acápite 19.2b.

$$\frac{\sum Ac}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}, \text{ donde } Ac = L * t$$

Conocido los valores correspondientes para los parámetros sismo resistentes Z=0.45, U=1.0, S=1.1 y N=5 (número de plantas en la edificación), se obtiene:

$$\frac{ZUSN}{56} = \frac{0.45 * 1.0 * 1.1 * 5}{56} = 0.044$$

El espesor efectivo “t” de los muros de albañilería se obtiene mediante la expresión:

$$t \geq \frac{h}{20}, \text{ para la zona sísmica 4} \quad t \geq \frac{2.60}{20} \quad t \geq 0.13m$$

La densidad de muros para las direcciones de diseño X-X e Y-Y se presentan a continuación en la Tabla 2 y Tabla 3 respectivamente. Para el cálculo de “Ac” se considera la longitud del muro portante y el espesor efectivo de 0.13 m.

Tabla 2

Área de corte de muros reforzados, dirección X-X. Albañilería confinada.

Predimensionamiento - Dirección X-X			
Muro	L (m)	t (m)	Ac (m2)
X1	1.2	0.13	0.16
X2	0.7	0.13	0.09
X3	1.2	0.13	0.16
X4	1.2	0.13	0.16
X5	0.7	0.13	0.09
X6	1.2	0.13	0.16
X7	0.8	0.13	0.10
X8	0.8	0.13	0.10
X9	0.8	0.13	0.10
X10	0.8	0.13	0.10
X11	2.2	0.13	0.29
X12	3.0	0.13	0.39
X13	3.0	0.13	0.39
X14	2.2	0.13	0.29
X15	3.0	0.13	0.39
X16	3.0	0.13	0.39
X17	1.2	0.13	0.16
X18	1.2	0.13	0.16
X19	3.0	0.13	0.39
X20	2.4	0.13	0.31
X21	3.0	0.13	0.39
X22	12.7	0.13	1.65
Área de corte de muros reforzados en X-X (m2)			6.41

Nota: Elaboración propia.

Tabla 3

Área de corte de muros reforzados, dirección Y-Y. Albañilería confinada.

Predimensionamiento - Dirección Y-Y			
Muro	L (m)	t (m)	Ac (m2)
Y1	5.4	0.13	0.70
Y2	3.5	0.13	0.46
Y3	1.0	0.13	0.13
Y4	3.5	0.13	0.46
Y5	1.0	0.13	0.13
Y6	5.4	0.13	0.70
Y7	5.2	0.13	0.67
Y8	2.5	0.13	0.32
Y9	2.5	0.13	0.32
Y10	5.2	0.13	0.67
Y11	0.7	0.13	0.09
Y12	3.0	0.13	0.39
Y13	5.4	0.13	0.70
Y14	3.0	0.13	0.39
Y15	0.7	0.13	0.09
D1	6.1	0.13	0.79
D2	6.1	0.13	0.79
D3	3.2	0.13	0.42
D4	3.2	0.13	0.42
Área de corte de muros reforzados en Y-Y (m2)			8.63

Nota: Elaboración propia.

Del cociente de la sumatoria de áreas de los muros confinados y el área de planta típica, 230 m², se obtiene para ambas direcciones de análisis los siguientes valores:

$$\text{Dirección de análisis X – X:} \quad \frac{\sum Ac}{A_p} = \frac{6.41}{230} = 0.028$$

$$\text{Dirección de análisis Y – Y:} \quad \frac{\sum Ac}{A_p} = \frac{8.68}{230} = 0.038$$

De los resultados, se da por válida la distribución de muros portantes del pre dimensionamiento; sin embargo, ante la necesidad de un mayor número de muros, se concluye que para ambas direcciones de análisis es necesario incorporar elementos de

concreto armado a fin de proporcionar a la estructura la rigidez necesaria para cumplir los requerimientos sísmicos normativos.

3.4 Análisis estructural

3.4.1 Cargas de gravedad

La edificación en análisis es estructuralmente solicitada por tres cargas actuantes: cargas muertas o permanentes, cargas vivas o sobrecarga y cargas sísmicas.

3.4.1.1 Carga muerta

La carga muerta es aquella carga de gravedad permanente en la estructura durante toda su vida útil, esta es la sumatoria del peso de los elementos estructurales, los acabados y la tabiquería.

A continuación, se presenta el metrado de carga muerta del primer entrepiso de la edificación diseñada bajo el sistema de muros de ductilidad limitada, el mismo que representó un peso de 209.3 toneladas.

Tabla 4

Carga muerta 1° piso – Peso propio muros X-X. Sistema MDL.

Carga muerta 1° piso - Peso propio de muros en X-X					
Muro	h (cm)	L (cm)	t (cm)	γ (t/m3)	Peso (t)
X1	260	120	15	2.4	1.1
X2	260	70	15	2.4	0.7
X3	260	120	15	2.4	1.1
X4	260	120	15	2.4	1.1
X5	260	70	15	2.4	0.7
X6	260	120	15	2.4	1.1
X7	260	220	13	2.4	1.8
X8	260	300	13	2.4	2.4
X9	260	300	13	2.4	2.4
X10	260	220	13	2.4	1.8
X11	260	300	10	2.4	1.9
X12	260	300	10	2.4	1.9
X13	260	300	10	2.4	1.9
X14	260	300	10	2.4	1.9
X15	260	635	10	2.4	4.0
X16	260	635	10	2.4	4.0
Carga muerta 1° piso - Peso propio de muros en X-X (t)					29.7

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5

Carga muerta 1° piso – Peso propio muros Y-Y. Sistema MDL.

Carga muerta 1° piso - Peso propio de muros en Y-Y					
Muro	h (cm)	L (cm)	t (cm)	γ (kg/m3)	Peso (t)
Y1	260	540	13	2.4	4.4
Y2	260	350	15	2.4	3.3
Y3	260	350	15	2.4	3.3
Y4	260	540	13	2.4	4.4
Y5	260	515	10	2.4	3.2
Y6	260	515	10	2.4	3.2
Y7	260	300	10	2.4	1.9
Y8	260	535	10	2.4	3.3
Y9	260	300	10	2.4	1.9
D1	260	610	15	2.4	5.7
D2	260	610	15	2.4	5.7
D3	260	320	13	2.4	2.6
D4	260	320	13	2.4	2.6
Carga muerta 1° piso - Peso propio de muros en Y-Y (t)					45.4

Nota: Elaboración propia.

Tabla 6

Carga muerta 1° piso – Peso propio losa. Sistema MDL.

Carga muerta 1° piso - Peso propio de losa				
Piso	Área (m ²)	e (m)	γ (kg/m ³)	Peso (t)
Piso 1	230	0.15	2.4	82.8
Carga muerta 1° piso - Peso propio de losa (t)				82.8

Nota: Elaboración propia.

Tabla 7

Carga muerta 1° piso – Acabados. Sistema MDL.

Carga muerta 1° piso - Acabados			
	Área (m ²)	Ratio (t/m ²)	Peso (t)
Acabados	230	0.10	23.0
Carga muerta 1° piso - Acabados (t)			23.0

Nota: Elaboración propia.

Tabla 8

Carga muerta 1° piso – Tabiquería. Sistema MDL.

Carga muerta 1° piso - Tabiquería			
	Volumen (m ³)	Ratio (t/m ³)	Peso (t)
Tabiquería	15.8	1.8	28.5
Carga muerta 1° piso - Tabiquería (t)			28.5

Nota: Elaboración propia.

3.4.1.2 Carga viva

La carga viva es aquella carga de gravedad móvil en la estructura, esta puede ser el peso de las personas, muebles, equipos, etc. Los valores de dichas cargas están estipulados en la Norma E.020 y dependen del uso de la estructura.

Dado el uso vivienda de la presente edificación, se consideró una sobrecarga de 0.20 t/m² para los entresijos típicos, corredores y escaleras, así como un ratio de 0.10 t/m² para la

azotea. En la Tabla 9 se presenta el metrado de carga viva del primer entrepiso de la estructura.

Tabla 9

Carga viva 1° piso. Sistema MDL.

Carga viva 1° piso			
	Area (m2)	Ratio (t/m2)	Peso (t)
Losa	217.3	0.20	43.5
Corredor	8.2	0.20	1.6
Escalera	4.5	0.20	0.9
Subtotal			46.0

Nota: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el metrado de carga muerta y carga viva de los cinco entrepisos de la estructura diseñada bajo el sistema de muros de ductilidad limitada, representando un valor total de aproximadamente 1 380 toneladas.

Tabla 10

Carga total de la edificación. Sistema MDL.

Metrado de cargas por entrepiso			
Piso	CM (t)	CV (t)	Sub total (t)
Piso 1	209.3	46.0	255.3
Piso 2	209.3	46.0	255.3
Piso 3	209.3	46.0	255.3
Piso 4	209.3	46.0	255.3
Piso 5	209.3	46.0	255.3
	81.7	23.0	104.7
Sub total (t)	1128.4	253.0	
Metrado de carga total (t)			1381.4

Nota: Elaboración propia.

3.4.2 Parámetros sismo resistentes

Los parámetros sismo resistentes utilizados para el análisis sísmico de la edificación y que están especificados en la Norma E.030 2016 son los que se detallan a continuación:

3.4.2.1 Zonificación (Z)

Dado que la estructura en diseño se encuentra ubicada en el departamento de Piura, así como en la provincia y distrito del mismo nombre (Zona 4), el parámetro “Z” expuesto en la Norma E.030 2016 es de 0.45. Parámetro obtenido de la Tabla 11 y Tabla 12.

Tabla 11

Zona sísmica según ubicación geopolítica.

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
PIURA	PIURA	CASTILLA	4	TODOS LOS DISTRITOS
		CATACAOS		
		CURA MORI		
		EL TALLÁN		
		LA ARENA		
		LA UNIÓN		
		LAS LOMAS		
		PIURA		
		TAMBO GRANDE		

Nota: Zonificación sísmica. Adaptado de “Norma E.030 Diseño sismorresistente”, por SENCICO, 2016.

Tabla 12

Parámetro de zona “Z”.

FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Nota: Factores de zona “Z”. Adaptado de “Norma E.030 Diseño sismorresistente”, por SENCICO, 2016.

3.4.2.2 Factor de uso (U)

Ya que la estructura en cuestión es un proyecto de vivienda multifamiliar, la norma de sismo resistencia lo cataloga como una edificación común tipo C con un parámetro U igual a 1.0. Expresión detallada en la Tabla 13.

Tabla 13

Uso de la edificación.

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
C	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
Edificaciones Comunes		

Nota: Categoría de las edificaciones y factor "U". Adaptado de "Norma E.030 Diseño sismorresistente", por SENCICO, 2016.

3.4.2.3 Parámetros de sitio (S)

Dado que el tipo de suelo predominante en la ciudad de Piura es clasificado como "Suelo blando (S_3)" por la Norma E.030 2016, y en concordancia a lo establecido en la Tabla 14, el valor del factor de amplificación del suelo es $S=1.10$.

Tabla 14

Parámetro de sitio.

FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA \ SUELO	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z_3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z_2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z_1	0,80	1,00	1,60	2,00

Nota: Factor de suelo "S". Adaptado de "Norma E.030 Diseño sismorresistente", por SENCICO, 2016.

3.4.2.4 Factor de amplificación sísmica (C)

Para cada sistema estructural el factor de amplificación sísmica se obtuvo de la comparación del periodo del modo con mayor porcentaje de masa participativa y el periodo que define la plataforma del espectro de pseudo aceleraciones de la estructura.

Muros de ductilidad limitada	$T_{(\text{modo } 1)}$	0.22 segundos
Albañilería confinada	$T_{(\text{modo } 1)}$	0.26 segundos
Periodo de la plataforma "Tp"		1.00 segundo

Para ambos casos $T < T_p$ por lo que el parámetro de amplificación sísmica es $C=2.5$.

3.4.2.5 Coeficiente de reducción (R)

Dado que no se evidencia irregularidad en planta o elevación a nivel de pre-dimensionamiento la estructura es considerada inicialmente como regular. Sabiendo que la Norma E.030 2016 asigna un valor de $R_o=4$ al sistema estructural MDL, ver Tabla 15, el coeficiente de reducción sísmico "R" obtuvo el mismo valor, cuatro.

Tabla 15

Coeficiente básico de reducción sísmica. Sistema MDL.

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_o (*)
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Nota: Sistemas estructurales. Adaptado de "Norma E.030 Diseño sismorresistente", por SENCICO, 2016.

Para el sistema de albañilería confinada, los parámetros sismorresistentes son los mismos a excepción del coeficiente básico de reducción sísmica. El mismo que corresponde al valor de tres. Ver Tabla 16.

Tabla 16

Coeficiente básico de reducción sísmica. Albañilería confinada.

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_g (*)
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Nota: Sistemas estructurales. Adaptado de “Norma E.030 Diseño sismorresistente”, por SENCICO, 2016.

3.4.3 Análisis sísmico – Sistema muros de ductilidad limitada

3.4.3.1 Espectro de diseño

Para determinar las solicitaciones sísmicas en ambas direcciones de análisis, se hizo uso del espectro de pseudo aceleraciones que se estipula en la Norma E.030 2016, el mismo que se encuentra en función de la variación del parámetro de amplificación sísmica conforme el periodo de vibración de la estructura varía en el tiempo, en nuestro análisis de 0 a 4 segundos. El espectro de pseudo aceleraciones se rige mediante la expresión siguiente:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g$$

Inicialmente se asumió la inexistencia de irregularidades en planta y en altura, cuya verificación se realizó más adelante. La gráfica de pseudo aceleraciones para el sistema MDL se expone en la Figura 11.

Figura 11. Espectro de pseudo aceleraciones, $R=4.00$. Sistema MDL. Elaboración propia.

3.4.3.2 Análisis de modos de vibración

A continuación, en la Tabla N °17 se presenta el porcentaje de masa participativa correspondiente a los modos de vibración del sistema de muros de ductilidad limitada.

La respuesta de los modos de vibración de la estructura se realizó haciendo uso del criterio de combinación cuadrática completa (CQC).

Tabla 17

Porcentaje de masa participativa. Sistema MDL.

Porcentaje de la masa participativa					
Caso	N°	Periodo (seg)	X (%)	UY (%)	RZ (%)
Modo	1	0.22	63.0%	0.0%	10.4%
Modo	2	0.15	0.0%	73.2%	0.0%
Modo	3	0.12	12.7%	0.0%	63.2%
Modo	4	0.06	15.8%	0.0%	2.9%
Modo	5	0.04	0.0%	20.1%	0.0%
Modo	6	0.03	1.7%	0.0%	16.7%
Modo	7	0.03	4.4%	0.0%	0.9%
Modo	8	0.02	1.8%	0.0%	0.1%
Modo	9	0.02	0.0%	4.9%	0.0%
Modo	10	0.02	0.2%	0.0%	4.3%
Modo	11	0.02	0.4%	0.0%	0.0%
Modo	12	0.01	0.0%	1.5%	0.0%
Modo	13	0.01	0.1%	0.0%	1.3%
Modo	14	0.01	0.0%	0.3%	0.0%
Modo	15	0.01	0.0%	0.0%	0.3%
Total			100%	100%	100%

Nota: Elaboración propia.

De los resultados, se concluye que los tres primeros modos de vibración hacen referencia a los ejes X, Y, y Z; presentando una masa participativa de 63.0%, 73.2% y 63.2% respectivamente. Así mismo, se evidencia que la sumatoria de porcentajes de masas participativas del análisis es mayor al 90% de la masa total, requisito estipulado por la Norma E.030 para considerar el modelamiento de la estructura adecuado.

3.4.3.3 Verificación de irregularidades

En el presente índice se realizó la verificación de irregularidad en altura y en planta de la estructura, “Ia” e “Ip” respectivamente, con el propósito de analizar si es necesario modificar el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas, y por ende el espectro de pseudo aceleraciones para el sistema MDL. Se conoce que el coeficiente de reducción sísmica se encuentra expresado como:

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Por lo que de presentarse irregularidad en planta y/o en altura el coeficiente básico de reducción sísmica “Ro” deberá ser multiplicado por el factor correspondiente a la irregularidad existente.

Tabla 18

Verificación de irregularidad en altura. Sistema MDL.

Factor Ia	Irregularidades en altura								Resultado	
	Irregularidad de rigidez - Piso blando	Comb	Dirección	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	1ª ecuación	2ª ecuación
0.75	$\delta_i > 1.4 * \delta_{i+1}$	SPEC X-X	X	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	Regular	Regular
			Y	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	Regular	Regular
	$\delta_i > 1.25 * \frac{\sum \delta_{i+1,i+2,i+3}}{n}$	SPEC Y-Y	X	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Regular	Regular
			Y	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	Regular	Regular
	Irregularidad de resistencia - Piso débil									
0.5	$V_i < 0.8 * V_{i+1}$	SPEC X-X	X	294	276	239	182	101	Regular	
		SPEC Y-Y	Y	325	305	265	202	111	Regular	
	Irregularidad extrema de rigidez									
	$\delta_i > 1.6 * \delta_{i+1}$	SPEC X-X	X	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	Regular	Regular
			Y	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	Regular	Regular
0.9	$\delta_i > 1.4 * \frac{\sum \delta}{n}$	SPEC Y-Y	X	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Regular	Regular
			Y	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	Regular	Regular
	Irregularidad extrema de resistencia									
	$V_i < 0.65 * V_{i+1}$	SPEC X-X	X	294	276	239	182	101	Regular	
		SPEC Y-Y	Y	325	305	265	202	111	Regular	
0.8	Irregularidad de masa o peso									
	$1.5 * Ps_{i-1} < Ps_{i+1} < 1.5 * Ps_{i+2}$	CM+0.25CV	X	1125	900	676	451	227	Regular	
		CM+0.25CV	Y	1125	900	676	451	227	Regular	
	Irregularidad geométrica vertical									
	$1.3 * A_{i-1} < A_i < 1.3 * A_{i+1}$	Area	X	243	243	243	243	243	Regular	
0.6		Area	Y	243	243	243	243	243	Regular	
	Discontinuidad en los sistemas resistentes									
	Muros discontinuos cuyas fuerzas superen al 10% de la cortante basal (no hay presencia de muros discontinuos)			No aplica esta irregularidad					Regular	
	Discontinuidad extrema en los sistemas resistentes									
	Muros discontinuos cuyas fuerzas superen al 25% de la cortante basal (no hay presencia de muros discontinuos)			No aplica esta irregularidad					Regular	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 19

Verificación de irregularidad en planta. Sistema MDL.

Factor Ip	Irregularidades en planta							Resultado	
	Irregularidad torsional	Comb	Dirección	Δ_{max}	Δ_{CM}	Entrantes	Total/Diafra	1ª ecuación	2ª ecuación
0.75	$\Delta_{max} > 1.2 * \Delta_{CM}$	SPEC X-X	X	9.196	6.135			Irregular	
		SPEC Y-Y	Y	4.489	3.373			Irregular	
0.6	Irregularidad torsional extrema								
	$\Delta_{max} > 1.5 * \Delta_{CM}$	SPEC X-X	X	9.196	6.135			Regular	
0.9		SPEC Y-Y	Y	4.489	3.373			Regular	
	Esquinas entrantes								
0.85	$L_{ent} > 0.2 * L_{total}$	Longitud	X			3.41	22.97	Regular	
		Longitud	Y			3.94	14.59	Irregular	
0.75	Discontinuidad de diafragma								
	$A_e > 0.5 * A_d$	Area				14.55	244.24	Regular	
0.75	Sistema no paralelos								
	Los muros diagonales tienen un ángulo respecto a la vertical menor de 30° (6° aprox)			No aplica esta irregularidad					Regular

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 18 se evidencia la inexistencia de irregularidad en altura; sin embargo, en la Tabla 19 se denota la presencia de irregularidad torsional en ambas direcciones de análisis. De esta forma, el coeficiente de reducción sísmica para el sistema MDL se modifica de la siguiente manera:

$$R = R_o * I_a * I_p$$

$$R = 4.00 * 1.00 * 0.75$$

$$R = 3.00$$

Generando así un nuevo espectro de pseudo aceleraciones, expuesto a continuación en la Figura 12.

Figura 12. Espectro de pseudo aceleraciones, R=3.00. Sistema MDL. Elaboración propia.

3.4.3.4 Verificación de la fuerza cortante mínima

Conocida la presencia de irregularidad torsional en la edificación, la Norma E.030 2016 estipula que, para cada una de las direcciones de análisis, la fuerza cortante en el primer

entrepiso no debe ser menor al 90% de la cortante basal estática, por lo que para cada dirección de análisis se debe amplificar la fuerza cortante proveniente del análisis dinámico por factores que logren satisfacer el porcentaje mínimo requerido.

En la Tabla 20 se visualiza los valores correspondientes a la cortante estática calculada por el programa ETABS, el 90% de la misma, la cortante dinámica proveniente del análisis y los factores de amplificación correspondientes a cada dirección para el sistema MDL.

Tabla 20

Cortante mínima. Sistema MDL

Cortante mínima - Sistema de muros de ductilidad limitada		
Expresión	Fuerza (t)	
	Sentido X-X	Sentido Y-Y
Cortante estática	439.3	439.3
90% de la cortante estática	395.4	395.4
Cortante dinámica	291.1	333.2
Factor	1.36	1.19

Nota: Elaboración propia.

De los resultados, para la dirección de análisis X-X el factor de amplificación es de 1.36 y para la dirección Y-Y, el mismo es de 1.19.

Una vez obtenidos los factores de amplificación, fueron multiplicados al valor de la gravedad en la casilla *Scale Factor* de la extensión *Modal Cases* para los *Load Cases* dinámicos de la estructura en el programa ETABS.

3.4.3.5 Desplazamientos de respuesta

Modificado el coeficiente de reducción sísmica conocida la irregularidad torsional en la estructura y, amplificada la cortante basal dinámica a la mínima solicitada por norma, se realizó el análisis dinámico modal espectral haciendo uso del programa ETABS.

Una vez ejecutado, se procedió al cálculo de los desplazamientos de respuesta de la edificación tales como: las distorsiones, los desplazamientos laterales relativos y los desplazamientos laterales absolutos, los mismos que se obtuvieron de la multiplicación de los resultados obtenidos del análisis lineal elástico con las solicitaciones de carga sísmica reducida, por el parámetro de reducción sísmica; condición expuesta en el inciso 5.1 de la Norma E.030.

Cabe resaltar que el análisis sísmico se llevó a cabo en función a la distribución optimizada de muros expuesta en la Figura 13, dicha distribución se obtuvo de un proceso iterativo que se llevó a cabo con el objetivo de poseer un diseño técnico económico que satisfaga las verificaciones propias del sistema expuestas en la Norma E.070 2006, dicho proceso iterativo se detalla en el inciso 4.1. de esta tesis.

La relación entre el área de muros y el área de entrepiso para las direcciones de análisis X-X e Y-Y son de 2.1% y 3.2% respectivamente, valores que representan una alta densidad de muros portantes, según Muñoz (2006).

Figura 13. Muros portantes. Sistema MDL. Elaboración propia.

En la Tabla 21 y Tabla 22 se presenta las distorsiones de entrepiso, los desplazamientos laterales relativos y los desplazamientos absolutos obtenidos del análisis sísmico.

Tabla 21

Desplazamientos de respuesta, X-X. Sistema MDL.

Desplazamientos de respuesta - Dirección X-X. Sistema MDL			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	2.3	6.4	27.9
Piso 4	2.5	7.1	21.6
Piso 3	2.3	6.4	14.5
Piso 2	1.9	5.3	8.1
Piso 1	1.0	2.8	2.8

Nota: Elaboración propia.

Tabla 22

Desplazamientos de respuesta, Y-Y. Sistema MDL.

Desplazamientos de respuesta - Dirección Y-Y. Sistema MDL			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	1.0	2.7	11.6
Piso 4	1.0	2.8	8.9
Piso 3	1.0	2.7	6.1
Piso 2	0.8	2.2	3.4
Piso 1	0.4	1.2	1.2

Nota: Elaboración propia.

3.4.4 Análisis sísmico – Sistema albañilería confinada

3.4.4.1 Espectro de diseño

En el caso del sistema de albañilería confinada, las verificaciones estipuladas en la NTE E.070 2006, hacen necesaria dos condiciones sísmicas en la edificación, la excitación de la estructura ante un “sismo severo” y uno “moderado”. Es así como, los eventos telúricos menos intensos y de mayor ocurrencia son representados en la condición “moderada”, mientras que los de mayor tiempo de retorno e intensidad se representan en la condición “severa”.

La Norma E.070 establece que los coeficientes de reducción sísmica para las condiciones de “sismo severo” y “sismo moderado” sean de $R_o=3.00$ y $R_o=6.00$ respectivamente. Inicialmente, al igual que en el análisis sísmico del sistema MDL, se consideró la inexistencia de irregularidades en planta y/o en altura en la estructura, premisa que se validó en el subíndice 3.4.4.3. En la Figura 14 y Figura 15, se presentan los espectros de pseudo aceleraciones para las condiciones de “sismo severo” y “sismo moderado” respectivamente.

Figura 14. Espectro de pseudo aceleraciones, $R=3.00$. Albañilería confinada. Elaboración propia.

Figura 15. Espectro de pseudo aceleraciones, $R=6.00$. Albañilería confinada. Elaboración propia.

3.4.4.2 Análisis de modos de vibración

A continuación, en la Tabla 23 se presenta el porcentaje de masa participativa correspondiente a los modos de vibración del sistema albañilería confinada. La respuesta de los modos de vibración de la estructura se realizó haciendo uso del criterio de combinación cuadrática completa (CQC).

Tabla 23

Porcentaje de masa participativa. Albañilería confinada.

Porcentaje de la masa participativa					
Caso	N°	Periodo (seg)	X (%)	UY (%)	RZ (%)
Modo	1	0.26	55.9%	0.0%	18.9%
Modo	2	0.19	0.0%	76.9%	0.0%
Modo	3	0.15	19.3%	0.0%	59.3%
Modo	4	0.07	13.0%	0.0%	4.7%
Modo	5	0.06	0.0%	16.7%	0.0%
Modo	6	0.04	3.8%	0.0%	11.8%
Modo	7	0.03	4.2%	0.0%	1.0%
Modo	8	0.03	0.0%	4.5%	0.0%
Modo	9	0.02	0.9%	0.0%	3.1%
Modo	10	0.02	1.9%	0.0%	0.2%
Modo	11	0.02	0.0%	1.5%	0.0%
Modo	12	0.02	0.2%	0.0%	0.3%
Modo	13	0.02	0.8%	0.0%	0.7%
Modo	14	0.02	0.0%	0.4%	0.0%
Modo	15	0.01	0.2%	0.0%	0.1%
Total			100%	100%	100%

Nota: Elaboración propia.

De los resultados se concluye que los tres primeros modos de vibración hacen referencia a los ejes X, Y, y Z; presentando una masa participativa de 55.9%, 76.9% y 59.3% respectivamente. Al igual que el sistema MDL, la sumatoria de porcentajes de masas participativas del análisis es mayor al 90% de la masa total, por lo que se cumple lo requerido por norma.

3.4.4.3 Verificación de irregularidades

En el presente índice se realizó la verificación de irregularidad en altura y planta de la estructura (“Ia” e “Ip” respectivamente), con el propósito de analizar si es necesario modificar el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas, y por ende el espectro de pseudo aceleraciones para el sistema de albañilería confinada.

Se conoce que el coeficiente de reducción sísmica se encuentra expresado como:

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Por lo que de presentarse irregularidad en planta y/o en altura el coeficiente básico de reducción sísmica “Ro” deberá ser multiplicado por el factor correspondiente a la irregularidad existente.

Tabla 24

Verificación de irregularidad en altura. Albañilería confinada.

Factor Ia	Irregularidades en altura								Resultado	
	Irregularidad de rigidez - Piso blando	Comb	Dirección	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	1ª ecuación	2ª ecuación
0.75	$\delta_i > 1.4 * \delta_{i+1}$	SPEC X-X	X	0.0020	0.0037	0.0042	0.0042	0.0038	Regular	Regular
			Y	0.0012	0.0020	0.0023	0.0022	0.0020	Regular	Regular
	$\delta_i > 1.25 * \frac{\sum \delta_{i+1+i+2+i+3}}{n}$	SPEC Y-Y	X	0.0006	0.0009	0.0010	0.0010	0.0009	Regular	Regular
			Y	0.0010	0.0016	0.0018	0.0017	0.0015	Regular	Regular
	Irregularidad de resistencia - Piso débil									
	$V_i < 0.8 * V_{i+1}$	SPEC X-X	X	1206.28	1199.49	1074.12	1057.68	1051.42	Regular	Regular
0.5			Y	891.11	910.97	850.11	834.42	819.22	Regular	Regular
	Irregularidad extrema de rigidez									
	$\delta_i > 1.6 * \delta_{i+1}$	SPEC X-X	X	0.0020	0.0037	0.0042	0.0042	0.0038	Regular	Regular
			Y	0.0012	0.0020	0.0023	0.0022	0.0020	Regular	Regular
	$\delta_i > 1.4 * \frac{\sum \delta}{n}$	SPEC Y-Y	X	0.0006	0.0009	0.0010	0.0010	0.0009	Regular	Regular
			Y	0.0010	0.0016	0.0018	0.0017	0.0015	Regular	Regular
0.9	Irregularidad extrema de resistencia									
	$V_i < 0.65 * V_{i+1}$	SPEC X-X	X	1206.28	1199.49	1074.12	1057.68	1051.42	Regular	Regular
			Y	891.11	910.97	850.11	834.42	819.22	Regular	Regular
	Irregularidad de masa o peso									
	$1.5 * P_{Si-1} < P_{sismo_i} > 1.5 * P_{Si+1}$	CM+0.25CV	X	1268.48	1013.84	759.18	504.52	249.86	Regular	Regular
		CM+0.25CV	Y	1268.48	1013.84	759.18	504.52	249.86	Regular	Regular
0.8	Irregularidad geométrica vertical									
	$1.3 * A_{i-1} < A_i > 1.3 * A_{i+1}$	Area	X	242.94	242.94	242.94	242.94	242.94	Regular	Regular
		Area	Y	242.94	242.94	242.94	242.94	242.94	Regular	Regular
	Discontinuidad en los sistemas resistentes									
0.6	Muros discontinuos cuyas fuerzas superen al 10% de la cortante basal (no hay presencia de muros discontinuos)			No aplica esta irregularidad					Regular	
	Discontinuidad extrema en los sistemas resistentes									
	Muros discontinuos cuyas fuerzas superen al 25% de la cortante basal (no hay presencia de muros discontinuos)			No aplica esta irregularidad					Regular	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 25

Verificación de irregularidad en planta. Albañilería confinada.

Factor I_p	Irregularidades en planta							Resultado
	Irregularidad torsional	Comb	Dirección	Δ_{max}	Δ_{CM}	Entrantes	Total/Diafra	
0.75	$\Delta_{max} > 1.2 * \Delta_{CM}$	SPEC X-X	X	7.435	4.978			Irregular
		SPEC Y-Y	Y	4.366	3.488			Irregular
0.6	Irregularidad torsional extrema							
	$\Delta_{max} > 1.5 * \Delta_{CM}$	SPEC X-X	X	7.435	4.978			Regular
		SPEC Y-Y	Y	4.366	3.488			Regular
0.9	Esquinas entrantes							
	$L_{ent} > 0.2 * L_{total}$	Longitud	X			3.41	22.97	Regular
		Longitud	Y			3.94	14.59	Irregular
0.85	Discontinuidad de diafragma							
	$A_e > 0.5 * A_d$	Area				14.55	244.24	Regular
0.75	Sistema no paralelos							
	Los muros diagonales tienen un ángulo respecto a la vertical menor de 30° (6° aprox)			No aplica esta irregularidad				Regular

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 24 se evidencia la inexistencia de irregularidad en altura; sin embargo, en la Tabla 25 se denota la presencia de irregularidad torsional en ambas direcciones de análisis.

De esta forma, los coeficientes de reducción sísmica para el sistema albañilería confinada se modifican de la siguiente manera:

Sismo severo

$$R = R_o * I_a * I_p$$

$$R = 3.00 * 1.00 * 0.75$$

$$R = 2.25$$

Sismo moderado

$$R = R_o * I_a * I_p$$

$$R = 6.00 * 1.00 * 0.75$$

$$R = 4.50$$

Los mismos que generan nuevos espectros de pseudo aceleraciones, expuestos a continuación en la Figura 16 y Figura 17.

Figura 16. Espectro de pseudo aceleraciones, $R=2.25$. Albañilería confinada. Elaboración propia.

Figura 17. Espectro de pseudo aceleraciones, $R=4.50$. Albañilería confinada. Elaboración propia.

3.4.4.4 Verificación de la fuerza cortante mínima

Conocida también la presencia de irregularidad torsional en la edificación, en la Tabla 26 se visualiza los valores correspondientes a la cortante estática calculada por el programa

ETABS, el 90% de la misma, la cortante dinámica proveniente del análisis y los factores de amplificación correspondientes a cada dirección para el sistema de albañilería confinada.

Tabla 26

Cortante mínima. Albañilería confinada.

Fuerza cortante mínima - Sistema albañilería confinada		
Expresión	Fuerza (t)	
	Sentido X-X	Sentido Y-Y
Cortante estática	665.3	665.3
90% de la cortante estática	598.8	598.8
Cortante dinámica	410.2	525.3
Factor	1.46	1.14

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 26, para la dirección de análisis X-X el factor de amplificación es de 1.46 y para la dirección Y-Y, el mismo es de 1.14. Una vez obtenidos los factores de amplificación, fueron multiplicados al valor de la gravedad en la casilla *Scale Factor* de la extensión *Modal Cases* para los *Load Cases* dinámicos de la estructura en el programa ETABS.

3.4.4.5 Desplazamientos de respuesta

En la Figura 18 se presenta la distribución optimizada de muros portantes de la edificación. Dicha distribución se obtuvo de un proceso iterativo que se realizó con el objetivo de poseer un diseño técnico económico que satisfaga las verificaciones propias del sistema expuestas en la Norma E.070 2006, dicho proceso iterativo se detalla en el inciso 4.2. de esta tesis.

En la Tabla 27 y Tabla 28 se presenta las distorsiones de entrepiso, los desplazamientos laterales relativos y los desplazamientos laterales absolutos para ambas direcciones de análisis, los mismos que se obtuvieron de la multiplicación de los resultados obtenidos del análisis lineal elástico con las solicitaciones de carga sísmica reducidas, por el parámetro de reducción sísmica; condición expuesta en el inciso 5.1 de la Norma E.030.

Tabla 28

Desplazamientos de respuesta, Y-Y. Albañilería confinada

Desplazamientos de respuesta - Dirección Y-Y, Sistema Albañilería confinada			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	1.3	3.6	18.6
Piso 4	1.5	4.2	15.0
Piso 3	1.6	4.4	10.9
Piso 2	1.4	4.0	6.5
Piso 1	0.9	2.5	2.5

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE MUROS PORTANTES Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

4.1 Sistema muros de ductilidad limitada

El diseño de la edificación se realizó en función a la distribución optimizada de muros portantes expuesta en la Figura 13 del Capítulo 3 de la presente tesis; esta, se obtuvo producto de un proceso iterativo que se llevó a cabo con el objetivo de lograr un diseño técnico económico que cumpla los requerimientos que establecen las Normas E.030 2016 y E.060 2009.

Por fines académicos, dicho proceso iterativo se expone a continuación mediante la presentación de dos de las varias distribuciones de muros portantes que se consideraron conforme se validaba cumplieran o no lo estipulado por Norma.

La verificación por irregularidad, el diseño por flexo-compresión y diseño por corte, expuestos en los incisos 3.4.3.3, 4.1.1.1 y 4.1.1.2 del presente documento, fueron los requerimientos normativos que influyeron con mayor incidencia en el proceso iterativo que se realizó.

- **Iteración A:**

A continuación, en la Figura 19 y Tabla 29 se presenta una de las primeras distribuciones de muros portantes que se adoptó en el diseño de la edificación bajo el sistema de muros de ductilidad limitada.

En esta, resalta la consideración del muro X22 como un solo elemento conectado a los muros Y12, Y13 e Y14, criterio que además de incrementar sus esfuerzos de corte y momento flector, principalmente incrementó la excentricidad entre el centro de masa de la estructura y su centro de rigidez.

Debido a la importante rigidez del muro X22, la estructura presentó irregularidad torsional extrema, característica inadmisibles para edificaciones Tipo C cimentadas en Zona 4 según la Norma E.030 2016. Por ello, fue necesario realizar modificaciones al momento de realizar iteraciones futuras.

Figura 19. Muros portantes – Iteración A. Sistema MDL. Elaboración propia.

Tabla 29

Muros portantes – Iteración A. Sistema MDL.

Iteración A - Dirección X-X				Iteración A - Dirección Y-Y			
Muro	hm (cm)	L (cm)	t (cm)	Muro	hm (cm)	L (cm)	t (cm)
X1	1340	120	15	Y1	1340	540	15
X2	1340	70	15	Y2	1340	350	15
X3	1340	120	15	Y3	1340	100	15
X4	1340	120	15	Y4	1340	350	15
X5	1340	70	15	Y5	1340	100	15
X6	1340	120	15	Y6	1340	540	15
X7	1340	80	15	Y7	1340	515	15
X8	1340	80	15	Y8	1340	245	15
X9	1340	80	15	Y9	1340	245	15
X10	1340	80	15	Y10	1340	515	15
X11	1340	220	15	Y11	1340	70	15
X12	1340	300	15	Y12	1340	300	15
X13	1340	300	15	Y13	1340	535	15
X14	1340	220	15	Y14	1340	300	15
X15	1340	300	15	Y15	1340	70	15
X16	1340	300	15				
X17	1340	120	15	D1	1340	610	15
X18	1340	120	15	D2	1340	610	15
X19	1340	300	15	D3	1340	320	15
X20	1340	240	15	D4	1340	320	15
X21	1340	300	15				
X22	1340	1270	15				

Nota: Elaboración propia.

• Iteración B:

Vista las restricciones existentes en la Iteración A, con el objetivo de reducir la excentricidad de la estructura y así eliminar la irregularidad torsional extrema, se consideró a bien:

- Dividir el muro X22 en dos elementos.
- Separar el muro X22 del muro Y13
- Reducir el espesor efectivo de los muros posteriores e incrementar el espesor de los muros delanteros de la edificación.

A continuación, en la Figura 20 y Tabla 30 se presenta la distribución y dimensión de muros correspondiente, así como los desplazamientos de respuesta obtenidos del análisis sísmico en la Tabla 31 y Tabla 32.

Figura 20. Muros portantes – Iteración B. Sistema MDL. Elaboración propia.

Tabla 30

Muros portantes – Iteración B. Sistema MDL.

Iteración B - Dirección X-X			
Muro	hm (cm)	L (cm)	t (cm)
X1	1340	120	15
X2	1340	70	15
X3	1340	120	15
X4	1340	120	15
X5	1340	70	15
X6	1340	120	15
X7	1340	80	13
X8	1340	80	13
X9	1340	80	13
X10	1340	80	13
X11	1340	220	13
X12	1340	300	13
X13	1340	300	13
X14	1340	220	13
X15	1340	300	10
X16	1340	300	10
X17	1340	120	10
X18	1340	120	10
X19	1340	300	10
X20	1340	240	10
X21	1340	300	10
X22	1340	635	10
X23	1340	635	10

Iteración B - Dirección Y-Y			
Muro	hm (cm)	L (cm)	t (cm)
Y1	1340	540	13
Y2	1340	350	15
Y3	1340	100	15
Y4	1340	350	15
Y5	1340	100	15
Y6	1340	540	13
Y7	1340	515	10
Y8	1340	245	10
Y9	1340	245	10
Y10	1340	515	10
Y11	1340	70	10
Y12	1340	300	10
Y13	1340	535	10
Y14	1340	300	10
Y15	1340	70	10

D1	1340	610	15
D2	1340	610	15
D3	1340	320	13
D4	1340	320	13

Nota: Elaboración propia.

Tabla 31

Desplazamientos de respuesta, X-X – Iteración B. Sistema MDL.

Desplazamientos de respuesta - Dirección X-X. Sistema MDL (Iteración B)			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	2.5	6.9	26.1
Piso 4	2.3	6.6	19.2
Piso 3	2.1	5.9	12.6
Piso 2	1.7	4.6	6.7
Piso 1	0.8	2.1	2.1

Nota: Elaboración propia.

Tabla 32

Desplazamientos de respuesta, Y-Y – Iteración B. Sistema MDL.

Desplazamientos de respuesta - Dirección Y-Y. Sistema MDL (Iteración B)			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	0.8	2.3	9.0
Piso 4	0.8	2.2	6.7
Piso 3	0.7	2.0	4.4
Piso 2	0.6	1.6	2.4
Piso 1	0.3	0.8	0.8

Nota: Elaboración propia.

Si bien se eliminó la irregularidad torsional extrema, se observa que los valores de distorsión de entrepiso son bastante menores a lo máximo permitido por norma; por lo que, con el objetivo de lograr un diseño técnico económico, se optimizó el diseño reduciendo la cantidad de muros portantes a la necesaria para cumplir los criterios de rigidez y poder soportar la losa de entrepiso.

- **Iteración final:**

Finalmente, en la Figura 21 y Tabla 33 se presenta la distribución y dimensión final de muros portantes del sistema de muros de ductilidad limitada, que satisfacen las verificaciones del análisis sísmico y el diseño estructural detallado en breve.

Figura 21. Muros portantes – Iteración final. Sistema MDL. Elaboración propia.

Tabla 33

Muros portantes – Iteración final. Sistema MDL.

Iteración Final - Dirección X-X			
Muro	hm (cm)	L (cm)	t (cm)
X1	1340	120	15
X2	1340	70	15
X3	1340	120	15
X4	1340	120	15
X5	1340	70	15
X6	1340	120	15
X7	1340	220	13
X8	1340	300	13
X9	1340	300	13
X10	1340	220	13
X11	1340	300	10
X12	1340	300	10
X13	1340	300	10
X14	1340	300	10
X15	1340	635	10
X16	1340	635	10

Iteración Final - Dirección Y-Y			
Muro	hm (cm)	L (cm)	t (cm)
Y1	1340	540	13
Y2	1340	350	15
Y3	1340	350	15
Y4	1340	540	13
Y5	1340	515	10
Y6	1340	515	10
Y7	1340	300	10
Y8	1340	535	10
Y9	1340	300	10

D1	1340	610	15
D2	1340	610	15
D3	1340	320	13
D4	1340	320	13

Nota: Elaboración propia.

4.1.1 Diseño estructural

En el presente inciso se presenta el diseño de los muros portantes en ambas direcciones de análisis. En el desarrollo de este, se considera como ejemplo el muro X7 debido a la presencia de alas en uno de sus extremos, característica que por fines académicos se consideró a bien detallar.

El resultado del diseño de la edificación bajo el sistema de muros de ductilidad limitada se expone en el plano adjunto en el Anexo III de la presente tesis.

4.1.1.1 Diseño por flexo compresión

La resistencia a flexo-compresión de los muros estructurales sometidos a una combinación de carga axial y flexión, se determinó en función a lo dispuesto en el índice 21.9.6 de la Norma E.060 2009 y de acuerdo con los requerimientos de los acápites 10.2 y 10.3 de la misma.

Para cada uno de los muros portantes de la distribución expuesta en la Figura 13 se realizó el diagrama de interacción de diseño, gráfica que asocia la resistencia a compresión axial y el momento flector resistente de la sección y cuantía de acero de refuerzo vertical de un elemento, considerando según sea su comportamiento, los factores de reducción de resistencia correspondientes.

El capítulo 21.9.7.5 de la Norma E.060 2009, establece que deberá existir elementos de borde en los muros de concreto armado cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema, correspondiente a las fuerzas amplificadas incluyendo los efectos del sismo, sobrepase el 20% de la resistencia a la compresión axial del concreto (f'_c). Establecido ello, se consideró a bien realizar la identificación de los muros que requieran elementos de borde mediante el cálculo del esfuerzo de compresión máximo expresado como:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_u * Y_c}{I}$$

Siendo:

σ_{max} : Esfuerzo de compresión máximo.

P_u : Carga axial amplificada.

M_u : Momento flector amplificado.

y_c : Centro de gravedad del elemento.

I : Momento de inercia en la dirección de análisis.

El acápite 21.9.6.3 de la Norma E.060 solicita que para el diseño de muros con alas se debe considerar el ancho efectivo del muro perpendicular al de análisis, cuya longitud se calcula del menor valor entre el 10% de la altura total del muro o la mitad de la distancia al alma adyacente.

Para el diseño del muro X7 el ancho efectivo del ala perpendicular se obtuvo del menor valor entre los siguientes dos criterios:

La mitad de la distancia entre la cara del alma del muro en análisis (X7) al extremo del muro perpendicular (Y5) = 1.26m.

El 10% de la altura total del muro, 1.39m. (El muro es continuo en toda la altura de la edificación 13.90m)

Figura 22. Longitud efectiva de alas, muro X7. Sistema MDL. Elaboración propia.

Es importante resaltar que el cálculo del ancho efectivo de los muros con alas se debe realizar para ambas direcciones de análisis, por lo que es necesario poseer dos modelos estructurales que representen la interacción muro - ala según sea el sentido de diseño, X-X e Y-Y. Dicho procedimiento es requerimiento normativo del acápite 4.2 de la Norma E.030 2016.

En la Tabla 34 se presenta el cálculo del esfuerzo de compresión máximo en cada extremo de los muros portantes del sistema; y así, la identificación de los muros en los que es necesario incorporar elementos de borde, los mismos que según el inciso 21.9.7.2 de la Norma E.060 2009 poseerán como mínimo un espesor de 150 mm.

Tabla 34

Verificación de requerimiento de elementos de borde. Sistema MDL.

Dirección X-X											
Muro	P	A	M	yc	yt	I	Oci	Ocd	0.2*Fc	¿Necesita elemento de borde izquierdo?	¿Necesita elemento de borde derecho?
	(t)	(cm2)	(t-m)	(cm)	(cm)	(cm4)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)		
X01	211	1800	43	27	93	5.79E+06	137	186	42	Sí	Sí
X02	106	1125	16	18	57	1.22E+06	118	168	42	Sí	Sí
X03	26	1800	19	60	60	2.16E+06	67	67	42	Sí	Sí
X04	25	1800	19	60	60	2.16E+06	67	67	42	Sí	Sí
X05	106	1125	16	57	18	1.22E+06	167	118	42	Sí	Sí
X06	211	1800	45	93	27	5.79E+06	189	138	42	Sí	Sí
X07	151	2860	109	159	61	2.63E+07	119	78	42	Sí	Sí
X08	69	3900	139	150	150	2.93E+07	89	89	42	Sí	Sí
X09	69	3900	139	150	150	2.93E+07	89	89	42	Sí	Sí
X10	150	2860	111	61	159	2.63E+07	78	120	42	Sí	Sí
X11	53	2900	87	145	145	2.44E+08	23	23	42	No	No
X12	53	2900	87	145	145	2.44E+08	23	23	42	No	No
X13	122	2900	114	191	99	3.88E+07	98	71	42	Sí	Sí
X14	122	2900	107	99	191	3.88E+07	69	95	42	Sí	Sí
X15	247	6300	360	330	300	2.16E+08	94	89	42	Sí	Sí
X16	247	6300	358	300	330	2.16E+08	89	94	42	Sí	Sí

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 34 se concluye que al igual que el muro X7, varios otros requieren elementos de borde en sus extremos.

Las dimensiones de la sección de concreto y cuantía de refuerzo vertical se obtuvo de la comparación entre la fuerza axial actuante y la resistente en cada elemento de borde, garantizando que esta última sea mayor que la primera.

Tal comparación se realizó según la expresión siguiente.

$$Ax_r \geq Ax_a$$

$$Ax_a = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{L - b}$$

$$Ax_r = 0.7 * (0.8 * (0.85 * f'c * (Ac - As) + As * fy))$$

Donde:

- A_{x_r} : Carga axial resistente.
- A_{x_a} : Carga axial actuante.
- P_u : Carga axial amplificada.
- M_u : Momento flector amplificado.
- A_c : Área de concreto de los elementos de borde.
- A_s : Área de acero utilizado en los elementos de borde.
- L : Longitud del muro.
- b : Peralte del elemento de borde.

Realizada las iteraciones necesarias a fin de satisfacer lo establecido previamente, se obtiene los resultados de la Tabla 35.

Tabla 35

Diseño de elementos de borde. Sistema MDL

Muro	L cm	P_u t	M_u t-m	A_{x_a} t	t cm	b cm	A_{con} cm ²	Cant #	ϕ pulg	A_s cm ²	A_{x_r} t	¿Cumple?	Tipo
X1	120	211	43	106	15	60	900	8	5/8	15.8	126	Sí	P-1
X2	75	106	16	53	15	35	525	6	1/2	7.6	70	Sí	P-2
X3	120	26	19	13	15	30	450	4	1/2	5.1	56	Sí	EB-01
X4	120	25	19	13	15	30	450	4	1/2	5.1	56	Sí	EB-01
X5	75	106	16	53	15	35	525	6	1/2	7.6	70	Sí	P-2
X6	120	211	45	106	15	60	900	8	5/8	15.8	126	Sí	P-1
X7	220	151	109	76	15	40	600	6	1/2	7.6	77	Sí	EB-02
X8	300	69	139	35	15	30	450	4	1/2	5.1	56	Sí	EB-01
X9	300	69	139	35	15	30	450	4	1/2	5.1	56	Sí	EB-01
X10	220	150	111	76	15	40	600	6	1/2	7.6	77	Sí	EB-02
X13	290	122	114	61	15	40	600	6	1/2	7.6	77	Sí	EB-02
X14	290	122	107	61	15	40	600	6	1/2	7.6	77	Sí	EB-02
X15	630	247	360	124	15	60	900	8	5/8	15.8	126	Sí	EB-03
X16	630	247	358	124	15	60	900	8	5/8	15.8	126	Sí	EB-03

Nota: Elaboración propia.

De esta se concluye que para los elementos de borde del muro X7 es necesario una sección de concreto de 15 cm x 40 cm y un refuerzo vertical compuesto por 6 varillas ASTM A 615 de 1/2 pulgada.

Los tipos, sección y refuerzo de los elementos de borde del sistema se presentan en la Figura 23; sin embargo, su ubicación en los muros portantes se detalla en el plano E-01 del Anexo III.

Figura 23. Elementos de borde. Sistema MDL. Elaboración propia.

Conocido el refuerzo vertical de los elementos de borde aplicables a los muros que lo requieran, se procedió a su diseño por flexo compresión. Los diagramas de interacción se obtuvieron mediante el uso de la extensión *Section Designer* del programa ETABS, herramienta que permite agilizar el proceso de iteración a fin de cumplir los requerimientos normativos.

El acápite 21.9.6.5 de la Norma E.060, establece para muros sometidos a flexión y carga axial, una cuantía mínima longitudinal necesaria para garantizar una resistencia de diseño a flexo compresión por lo menos igual al momento de agrietamiento, asumiendo la sección bruta del muro de concreto y un comportamiento lineal elástico de la estructura, parámetros que se encuentran en el alcance de la presente investigación.

Sin embargo, el acápite 10.5.1 menciona que para toda sección sometida a flexión que requiera refuerzo de acero en tracción, la cuantía que se proporcione deberá ser la necesario

para garantizar una resistencia de diseño por lo menos 1.2 veces el momento de agrietamiento de la sección bruta. Vista ambas disposiciones se consideró a bien desarrollar el diseño por flexo compresión considerando una cuantía mínima acorde a lo señalado en el inciso 10.5.1 de la Norma E.060 2009.

El cálculo del momento de agrietamiento se rige por la siguiente expresión:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{Y_t}$$

$$f_r = 2 * \sqrt{f'_c} \quad [kg/cm^2]$$

Donde:

- f_r : Módulo de ruptura del concreto.
- I_g : Momento de inercia de la sección bruta.
- Y_t : Distancia del eje centroidal al extremo de la fibra a tracción.

El inciso 21.10.2.2.i. de la Norma E.060 2009, establece para edificios de más de tres niveles diseñados con el sistema MDL, el uso de acero de refuerzo corrugado en el tercio inferior de la estructura y malla electrosoldada en los niveles superiores restantes.

Puesto que para la edificación en análisis el primer tercio lo componen los dos primeros entresijos, en la Figura 24 se presenta la distribución tentativa de acero de refuerzo ASTM A615 para el muro X7, nótese la inclusión de los elementos de borde y la longitud de alas, ver además Figura 22.

Figura 24. Refuerzo vertical, muro X7 1° y 2° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.

Refuerzo vertical muro X7:

- Muro X7 : 1 varilla de ½" pulgada cada 0.20m
- Alas muro X7 : 1 varilla de ½" pulgada cada 0.30m
- Elementos de borde EB-02 : 6 varillas de ½" pulgada

El diagrama de interacción correspondiente a los 0° y 180° grados asociados a la sección de concreto y acero de refuerzo vertical propuesto en la Figura 25 se presenta a continuación.

Figura 25. Diagrama de interacción, muro X7. Sistema MDL. Elaboración propia.

En la Tabla 36 se presenta las combinaciones de carga mayoradas correspondientes a los dos primeros niveles de la estructura obtenidas del análisis dinámico modal espectral.

El diagrama de interacción de diseño correspondiente a los 0° y 180° grados que incluye las combinaciones de carga de la Tabla 36 se presenta a continuación en la Figura 26.

Finalmente, para los dos primeros entresijos se concluye que el acero de refuerzo ASTM A615 propuesto en la Figura 24 cumple lo solicitado por Norma.

Tabla 36

Combinaciones de carga, muro X7, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.

Dirección X-X				
Piso	Combinaciones	P (t)	V (t)	M (t-m)
2 Piso	1.4CM + 1.7CV	70.8	-0.2	-2.3
	1.25(CM + CV) + CSX Max	0.4	21.2	-65.4
	1.25(CM + CV) + CSX Min	121.8	-21.5	61.3
	0.9CM + CSX Max	-24.0	21.4	-64.6
	0.9CM + CSX Min	97.4	-21.4	62.1
1 Piso	1.4CM + 1.7CV	86.2	0.1	-1.1
	1.25(CM + CV) + CSX Max	-2.0	25.5	-111.1
	1.25(CM + CV) + CSX Min	150.6	-25.3	109.1
	0.9CM + CSX Max	-31.7	25.5	-110.6
	0.9CM + CSX Min	120.9	-25.3	109.6

Nota: Elaboración propia.

Figura 26. Diagrama de interacción de diseño, muro X7 1° y 2° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió al diseño por flexocompresión de los niveles tres, cuatro y cinco considerando el uso de la malla electrosoldada QE-196 del proveedor Prodac.

Es importante mencionar que la malla electrosoldada de varilla lisa QE-196 se fabrica cumpliendo el estándar ASTM A1064, el mismo que establece para productos electrosoldados un esfuerzo de fluencia de 5000 kg/cm² y una resistencia a la rotura de 5600

kg/cm²; sin embargo, el inciso 21.10.2.2.ii de la Norma E.060 2009 dispone para el diseño de muros que posean malla electrosoldada, un esfuerzo de fluencia máximo de 4200 kg/cm², disposición contemplada en el desarrollo de nuestra tesis.

En la Figura 27 se presenta la dimensión de cocada, diámetro de varilla y peso por metro cuadrado de la malla electrosoldada considerada en el diseño.

DESCRIP.	MEDIDAS (m)	COCADA (mm)	DIAM. (mm)	PESO MALLA	PESO Kg/m ²
MALLAS PARA LOSAS, MUROS DE CONTENCIÓN, ZAPATAS					
MALLA SOLDADA R-80	2.40 x 6.00	200 x 330	4.5 / 3.0	11.387	0.949
MALLA SOLDADA QE-106	2.40 x 5.00	150 x 150	4.5	19.878	1.657
MALLA SOLDADA Q-139	2.40 x 6.00	100 x 100	4.2	31.200	2.167
MALLA SOLDADA Q-158	2.40 x 6.00	150 x 150	5.5	35.809	2.487
MALLA SOLDADA Q-188	2.40 x 6.00	150 x 150	6.0	42.621	2.960
MALLA SOLDADA Q-238	2.40 x 6.00	100 x 100	5.5	53.710	3.730
MALLA SOLDADA Q-257	2.40 x 6.00	150 x 150	7.0	58.004	4.028
MALLAS PARA MUROS DE EDIFIC. DE DUCTIBILIDAD LIMITADA (Con Puntas Largas)					
MALLA SOLDADA QE-159/196	2.40 x 3.05	100 x 100	4.5 / 5.0	17.643	2.410
MALLA SOLDADA QE-196	2.40 x 3.05	100 x 100	5.0	19.546	2.670
MALLAS PARA SUPLES (Encuentro de Muros) o DOWELS (Arranque de Muros)					
MALLA SOLDADA RE-61/196	0.80 x 2.40	150 x 100	3.4 / 5.0	3.294	1.716
MALLA SOLDADA RE-84/257	0.80 x 2.40	150 x 150	4.0 / 7.0	4.340	2.260

Figura 27. Especificaciones técnicas de malla electrosoldada QE-196. Sistema MDL. Adaptado de “Malla electrosoldada”, por Prodac, 2014.

En la Tabla 37 se presentan las combinaciones de carga correspondientes a los entrepisos tres, cuatro y cinco de la estructura obtenidas del análisis dinámico modal espectral.

Los estudios realizados por los ingenieros San Bartolomé y Muñoz en los años 2005 y 2006 demostraron la influencia del uso de acero de refuerzo en los extremos de los muros en el control de falla por deslizamiento y resistencia a flexión en el sistema MDL.

Tabla 37

Combinaciones de carga, muro X7, X-X, 3° al 5° nivel. Sistema MDL.

Dirección X-X				
Piso	Combinaciones	P (t)	V (t)	M (t-m)
5 Piso	1.4CM + 1.7CV	17.4	-1.0	-0.7
	1.25(CM + CV) + CSX Max	7.3	6.3	-6.1
	1.25(CM + CV) + CSX Min	23.0	-8.0	4.8
	0.9CM + CSX Max	1.7	6.8	-6.0
	0.9CM + CSX Min	17.5	-7.5	5.0
4 Piso	1.4CM + 1.7CV	35.2	-1.0	-0.8
	1.25(CM + CV) + CSX Max	8.9	12.7	-17.8
	1.25(CM + CV) + CSX Min	51.9	-14.3	16.3
	0.9CM + CSX Max	-2.9	13.1	-17.6
	0.9CM + CSX Min	40.1	-13.9	16.5
3 Piso	1.4CM + 1.7CV	52.9	-0.7	-1.2
	1.25(CM + CV) + CSX Max	6.1	17.1	-36.9
	1.25(CM + CV) + CSX Min	85.3	-18.2	34.7
	0.9CM + CSX Max	-12.0	17.4	-36.5
	0.9CM + CSX Min	67.2	-17.9	35.1

Nota: Elaboración propia.

Conocido ello, se consideró a bien incorporar elementos de borde secundarios en los niveles superiores del muro X7, ver Figura 28 y Figura 29, los mismos que junto al refuerzo de la malla electrosoldada y las combinaciones de carga generan el diagrama de interacción correspondiente a los 0° y 180° grados de la Figura 30. La ubicación de los elementos de borde secundarios en los muros portantes del sistema en los entresijos tres, cuatro y cinco se detalla en el plano E-01 del Anexo III.

Figura 28. Elementos de borde secundarios. Sistema MDL. Elaboración propia.

Figura 29. Refuerzo vertical, muro X7 3° al 5° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.

Figura 30. Diagrama de interacción de diseño, muro X7, 3° al 5° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.

Visto los resultados, se concluye que tanto el acero de refuerzo y la malla electrosoldada junto a los elementos de borde, según sea el entrepiso, cumplen los criterios de diseño por flexo compresión establecidos en la Norma E.060 2009.

4.1.1.2 Diseño por corte

El diseño de los muros portantes de la edificación sometidos a fuerza cortante perpendicular a su plano se realizó basado en el diseño por resistencia estipulado en la Norma E.060 2009 en sus capítulos 11 y 21:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Donde “ V_u ” es la fuerza cortante amplificada y “ V_n ” es la resistencia nominal a corte, obtenida de la suma de resistencia a corte del concreto “ V_c ” y del acero “ V_s ”.

Conocido el requerimiento de acero de refuerzo en los dos primeros niveles, que satisfaga el inciso 21.3.3 de la norma de concreto armado, se procede a detallar el diseño por corte de los entrepisos 1 y 2.

La Norma E.060 2009 establece en su inciso 11.10.5 que la contribución de la resistencia a corte del concreto “ V_c ” no debe ser mayor a:

$$V_c \leq A_{cw} * \alpha_c * \sqrt{f'_c}$$

Donde:

- $\alpha_c = 0.80$ para $h_m/l_m \leq 1.5$
- $\alpha_c = 0.53$ para $h_m/l_m \geq 2.0$
- $\alpha_c =$ variación entre 0.8 y 0.53 para h_m/l_m entre 1.5 y 2.0.

A fin de contar con un diseño más conservador, la resistencia a corte del concreto es calculada sin considerar el aporte de la carga axial que representa en esta. Para tales fines se considera la expresión del inciso 11.3.1.1:

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

Sin embargo, el inciso 11.3.2.3 de la Norma E.060 establece que, de existir fuerzas de tracción axial en el elemento, la resistencia a corte del concreto en este se verá reducida. La expresión para su cálculo es la siguiente:

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 - \frac{Nu}{35Ag}\right) * bw * d$$

Tabla 38

Resistencia a corte del concreto, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.

Dirección X-X											
Muro	f'c	Acw	hm	lm	hm / lm	ac	Acw + ac + $\sqrt{f'c}$	bw	d	Vc	¿Cumple?
	(Kg/cm2)	(cm2)	(cm)	(cm)			(t)	(cm)	(cm)	(t)	
X1	210	1800	1375	120	11.46	0.53	13.8	15	117	13.5	Sí
X2	210	1050	1375	70	19.64	0.53	8.1	15	67	7.7	Sí
X3	210	1800	1375	120	11.46	0.53	13.8	15	117	11.5	Sí
X4	210	1800	1375	120	11.46	0.53	13.8	15	117	11.5	Sí
X5	210	1050	1375	70	19.64	0.53	8.1	15	67	7.7	Sí
X6	210	1800	1375	120	11.46	0.53	13.8	15	117	13.5	Sí
X7	210	2860	1375	220	6.25	0.53	22.0	13	217	21.7	Sí
X8	210	3900	1375	300	4.58	0.53	30.0	13	297	25.2	Sí
X9	210	3900	1375	300	4.58	0.53	30.0	13	297	25.2	Sí
X10	210	2860	1375	220	6.25	0.53	22.0	13	217	21.7	Sí
X11	210	3000	1375	300	4.58	0.53	23.0	10	297	19.4	Sí
X12	210	3000	1375	300	4.58	0.53	23.0	10	297	19.4	Sí
X13	210	3000	1375	300	4.58	0.53	23.0	10	297	19.4	Sí
X14	210	3000	1375	300	4.58	0.53	23.0	10	297	19.4	Sí
X15	210	6350	1375	635	2.17	0.53	48.8	10	632	48.5	Sí
X16	210	6350	1375	635	2.17	0.53	48.8	10	632	48.5	Sí

Nota: Elaboración propia.

Tabla 39

Resistencia a corte del concreto, Y-Y, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.

Dirección Y-Y											
Muro	f'c	Acw	hm	lm	hm / lm	ac	Acw + ac + $\sqrt{f'c}$	bw	d	Vc	¿Cumple?
	(Kg/cm2)	(cm2)	(cm)	(cm)			(t)	(cm)	(cm)	(t)	
Y1	210	7020	1375	540	2.55	0.53	53.9	13	537	53.6	Sí
Y2	210	5250	1375	350	3.93	0.53	40.3	15	347	34.0	Sí
Y3	210	5250	1375	350	3.93	0.53	40.3	15	347	34.0	Sí
Y4	210	7020	1375	540	2.55	0.53	53.9	13	537	53.6	Sí
Y5	210	5150	1375	515	2.67	0.53	39.6	10	512	39.3	Sí
Y6	210	5150	1375	515	2.67	0.53	39.6	10	512	39.3	Sí
Y7	210	3000	1375	300	4.58	0.53	23.0	10	297	22.8	Sí
Y8	210	5350	1375	535	2.57	0.53	41.1	10	532	34.7	Sí
Y9	210	3000	1375	300	4.58	0.53	23.0	10	297	22.8	Sí
D1	210	9375	1375	625	2.20	0.53	72.0	15	622	71.7	Sí
D2	210	9375	1375	625	2.20	0.53	72.0	15	622	71.7	Sí
D3	210	4225	1375	325	4.23	0.53	32.4	13	322	27.3	Sí
D4	210	4225	1375	325	4.23	0.53	32.4	13	322	27.3	Sí

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 38 y Tabla 39 se presenta la resistencia a corte del concreto para las direcciones de análisis X-X e Y-Y respectivamente.

Obtenida la contribución de la resistencia a corte del concreto, se procede al cálculo de la fuerza cortante de diseño para cada uno de los muros del sistema. El inciso 21.9.5.3 de la Norma E.060 establece dicha fuerza como la fuerza de corte proveniente del análisis elástico ajustada a la capacidad nominal resistente a flexión en todo aquel muro donde se espere fluencia del refuerzo vertical como consecuencia de los esfuerzos que se susciten en el elemento producto de su respuesta sísmica no lineal.

Su cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$V_u \geq V_{ua} * \frac{M_n}{M_{ua}}$$

Siendo:

V_{ua} : Cortante amplificada proveniente del análisis.

M_{ua} : Momento amplificado proveniente del análisis.

M_n : Momento nominal resistente del muro asociado a la carga P_u .

En donde la relación M_n/M_{ua} no debe exceder el parámetro de reducción sísmica utilizado para la determinación de las fuerzas laterales del sismo “R”. Ver Verificación de irregularidades del sistema MDL.

Esta amplificación a la fuerza cortante proveniente del análisis elástico está limitada a los dos primeros entrepisos de la estructura, al ser dicha altura la mayor entre los valores que se exponen en el inciso 21.9.5.3.

A continuación, se detalla el cálculo de la fuerza cortante de diseño del muro X7 para los entrepisos 1 y 2 de la edificación.

Figura 31. Diagrama de interacción nominal, muro X7, 1° y 2° nivel. Sistema MDL. Elaboración propia.

En la Figura 31 se presenta el diagrama de interacción nominal correspondiente a los 0° y 180° grados y las combinaciones de carga que se suscitan en dichos niveles.

Posteriormente, se procede a multiplicar la cortante amplificada de cada una de las combinaciones de carga (ver Tabla 36) por la relación entre la resistencia nominal resistente del muro (obtenida del diagrama de interacción) y el momento amplificado asociado a dicha cortante.

Para el caso del muro X7 la mayor fuerza cortante de diseño se obtuvo de los siguientes valores:

Vua : 25.5 (Cortante amplificada del análisis).

Mua : 111.0 (Momento asociado a Vua proveniente del análisis).

Mn : 180.0 (Momento nominal asociado a Mua).

$$Vu = 25.5 * \frac{180.0}{111.0} = 41.4 (t)$$

Es así como, la fuerza cortante de diseño para el muro X7 en el primer nivel es de 41.4 toneladas. El mismo procedimiento fue realizado al resto de muros portantes en ambas direcciones de análisis para los entresijos 1 y 2.

Obtenida la fuerza cortante de diseño para cada muro portante del sistema, se continúa con el cálculo del acero de refuerzo horizontal cumpliendo lo establecido en la Norma E.060 2009.

El inciso 11.10.7 establece que la cuantía mínima de acero de refuerzo horizontal será no menor a 0.0020 de cumplirse la siguiente expresión:

$$Vu \leq 0.27 * \sqrt{f'c} * Acw$$

Para las fuerzas cortantes de diseño “Vu” que no cumplen con lo requerido en 11.10.7, el acápite 11.10.10.1 establece que el refuerzo horizontal deberá calcularse según lo siguiente, siendo la cuantía horizontal no menor a 0.0025 y el espaciamiento del refuerzo no mayor a tres veces el espesor del muro o en su defecto 40 cm.

$$V_s = A_{cw} * p_h * f_y$$

Dónde: A_{cw} = área de la sección de concreto resistente al corte.

p_h = cuantía del refuerzo horizontal.

En la Tabla 40 y Tabla 41 se presenta para los dos primeros niveles de la edificación, el cálculo de la cuantía de acero de refuerzo horizontal de cada uno de los muros portantes del sistema.

Tabla 40

Cuantía de refuerzo horizontal, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.

Dirección X-X											
Piso	Muro	f'_c	A_{cw}	$0.27 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cw}$	V_u	¿Cuantía mínima?	V_c	V_s	f_y	p_h	V_s
		(kg/cm ²)	(cm ²)	(t)	(t)		(t)	(t)	(kg/cm ²)		(t)
Piso 1 y 2	X1	210	1800	7.0	48.4	No	13.5	43.5	4200	0.0057	43.5
	X2	210	1050	4.1	30.7	No	7.7	28.3	4200	0.0064	28.3
	X3	210	1800	7.0	10.6	No	11.5	1.1	4200	0.0025	18.9
	X4	210	1800	7.0	10.6	No	11.5	1.1	4200	0.0025	18.9
	X5	210	1050	4.1	30.7	No	7.7	28.3	4200	0.0064	28.3
	X6	210	1800	7.0	48.4	No	13.5	43.5	4200	0.0057	43.5
	X7	210	2860	11.2	43.7	No	21.7	29.7	4200	0.0025	30.0
	X8	210	3900	15.3	37.2	No	25.2	18.6	4200	0.0025	41.0
	X9	210	3900	15.3	37.2	No	25.2	18.6	4200	0.0025	41.0
	X10	210	2860	11.2	43.7	No	21.7	29.7	4200	0.0025	30.0
	X11	210	3000	11.7	29.1	No	19.4	14.9	4200	0.0025	31.5
	X12	210	3000	11.7	29.1	No	19.4	14.9	4200	0.0025	31.5
	X13	210	3000	11.7	36.9	No	19.4	24.1	4200	0.0025	31.5
	X14	210	3000	11.7	36.9	No	19.4	24.1	4200	0.0025	31.5
	X15	210	6350	24.8	157.7	No	48.5	137.0	4200	0.0051	137.0
	X16	210	6350	24.8	157.7	No	48.5	137.0	4200	0.0051	137.0

Nota: Elaboración propia.

Tabla 41

Cuantía de refuerzo horizontal, Y-Y, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.

Dirección Y-Y											
Piso	Muro	f'c	Acw	0.27 * √f'c * Acw	Vu	¿Cuantía mínima?	Vc	Vs	fy	ph	Vs
		(kg/cm2)	(cm2)	(t)	(t)		(t)	(t)	(kg/cm2)		(t)
Piso 1 y 2	Y1	210	7020	27.5	102.9	No	53.6	67.5	4200	0.0025	73.7
	Y2	210	5250	20.5	34.4	No	34.0	6.5	4200	0.0025	55.1
	Y3	210	5250	20.5	34.4	No	34.0	6.5	4200	0.0025	55.1
	Y4	210	7020	27.5	102.9	No	53.6	67.5	4200	0.0025	73.7
	Y5	210	5150	20.2	68.2	No	39.3	40.9	4200	0.0025	54.1
	Y6	210	5150	20.2	68.2	No	39.3	40.9	4200	0.0025	54.1
	Y7	210	3000	11.7	48.8	No	22.8	34.6	4200	0.0027	34.6
	Y8	210	5350	20.9	62.9	No	34.7	39.3	4200	0.0025	56.2
	Y9	210	3000	11.7	48.8	No	22.8	34.6	4200	0.0027	34.6
	D1	210	9375	36.7	167.8	No	71.7	125.8	4200	0.0032	125.8
	D2	210	9375	36.7	167.8	No	71.7	125.8	4200	0.0032	125.8
	D3	210	4225	16.5	30.9	No	27.3	9.0	4200	0.0025	44.4
	D4	210	4225	16.5	30.9	No	27.3	9.0	4200	0.0025	44.4

Nota: Elaboración propia.

El inciso 11.10.10.3 de la Norma E.060 establece la cuantía de refuerzo vertical no menor a 0.0025 ni mayor a la cuantía horizontal obtenida del diseño por corte del muro. Sin embargo, la distribución de acero de refuerzo vertical producto del diseño por flexo-compresión es mucho mayor, por lo que esta última es la predominante en el diseño de estos.

Obtenidos la resistencia a corte del concreto “Vc” y la resistencia a corte del acero “Vs”, se procede a la verificación de la resistencia nominal de los muros establecida en 11.10.4 como:

$$Vn \leq 2.6 * \sqrt{f'c} * Acw$$

En la Tabla 42 y Tabla 43 se presenta la resistencia nominal a corte de los muros en ambas direcciones de análisis para los dos primeros entresijos. El requerimiento de norma se cumple en la totalidad de elementos.

Tabla 42

Resistencia a corte nominal, X-X, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.

Piso	Muro	Dirección X-X							
		f'c	Acw	$2.6 \cdot \sqrt{f'c} \cdot Acw$	Vc	Vs	Vn	ϕVn	¿Cumple?
		(Kg/cm2)	(cm2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	
Piso 1 y 2	X1	210	1800	67.8	13.5	43.5	56.9	48.4	Sí
	X2	210	1050	39.6	7.7	28.3	36.1	30.7	Sí
	X3	210	1800	67.8	11.5	18.9	30.4	25.8	Sí
	X4	210	1800	67.8	11.5	18.9	30.4	25.8	Sí
	X5	210	1050	39.6	7.7	28.3	36.1	30.7	Sí
	X6	210	1800	67.8	13.5	43.5	56.9	48.4	Sí
	X7	210	2860	107.8	21.7	30.0	51.7	43.9	Sí
	X8	210	3900	146.9	25.2	41.0	66.2	56.2	Sí
	X9	210	3900	146.9	25.2	41.0	66.2	56.2	Sí
	X10	210	2860	107.8	21.7	30.0	51.7	43.9	Sí
	X11	210	3000	113.0	19.4	31.5	50.9	43.3	Sí
	X12	210	3000	113.0	19.4	31.5	50.9	43.3	Sí
	X13	210	3000	113.0	19.4	31.5	50.9	43.3	Sí
	X14	210	3000	113.0	19.4	31.5	50.9	43.3	Sí
	X15	210	6350	239.3	48.5	137.0	185.5	157.7	Sí
	X16	210	6350	239.3	48.5	137.0	185.5	157.7	Sí

Nota: Elaboración propia.

Tabla 43

Resistencia a corte nominal, Y-Y, 1° y 2° nivel. Sistema MDL.

Piso	Muro	Dirección Y-Y							
		f'c	Acw	$2.6 \cdot \sqrt{f'c} \cdot Acw$	Vc	Vs	Vn	ϕVn	¿Cumple?
		(Kg/cm2)	(cm2)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	
Piso 1 y 2	Y1	210	7020	264.5	53.6	73.7	127.3	108.2	Sí
	Y2	210	5250	197.8	34.0	55.1	89.1	75.7	Sí
	Y3	210	5250	197.8	34.0	55.1	89.1	75.7	Sí
	Y4	210	7020	264.5	53.6	73.7	127.3	108.2	Sí
	Y5	210	5150	194.0	39.3	54.1	93.4	79.4	Sí
	Y6	210	5150	194.0	39.3	54.1	93.4	79.4	Sí
	Y7	210	3000	113.0	22.8	34.6	57.4	48.8	Sí
	Y8	210	5350	201.6	34.7	56.2	90.9	77.3	Sí
	Y9	210	3000	113.0	22.8	34.6	57.4	48.8	Sí
	D1	210	9375	353.2	71.7	125.8	197.5	167.8	Sí
	D2	210	9375	353.2	71.7	125.8	197.5	167.8	Sí
	D3	210	4225	159.2	27.3	44.4	71.7	60.9	Sí
	D4	210	4225	159.2	27.3	44.4	71.7	60.9	Sí

Nota: Elaboración propia.

En los entrepisos 3, 4 y 5 la cuantía proporcionada por la malla electrosoldada QE-196 varía entre 0.0013 y 0.0019 produciendo una fuerza resistente a corte que, sumada a la resistencia a corte del concreto, satisface el diseño por resistencia ante las fuerzas cortantes del análisis elástico que se suscitan dichos niveles.

4.1.2 Estimación económica

En el presente acápite se presenta la estimación económica de la edificación en función al metrado de la partida estructuras, en la que se contempla las subpartidas de concreto armado, acero corrugado, malla electrosoldada, encofrado y desencofrado metálico.

Para tal fin se presenta a continuación los análisis de precios unitarios de las subpartidas en referencia, los que fueron desarrollados con cotizaciones de proveedores de la zona y cuentan con el costo de mano de obra por escala de trabajador obtenido de la revista Constructivo edición Junio - Julio 2018.

Tabla 44

APU – Concreto premezclado $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Sistema MDL.

Partida	01.01	Concreto placas $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ - Premezclado				
Rendimiento	m ² /día	MO. 20.00	EQ. 20.00	Costo unitario directo por: m ³		S/., 292.50
Código	Descripción recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010001	Capataz	hh	0.10	0.040	26.99	1.08
0101010002	Operario	hh	1.00	0.400	20.76	8.30
0101010003	Oficial	hh	1.00	0.400	16.83	6.73
0101010004	Peón	hh	3.00	1.200	15.15	18.18
						34.30
Materiales						
0201010007	Gasolina 84	gal		0.020	8.89	0.18
0201010008	Concreto premezclado $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	m ³		1.030	214.00	220.42
0201010009	Servicio de bomba para concreto	m ³		1.030	33.00	33.99
						254.59
Equipos						
0301010001	Herramienta	%mo		3%	34.30	1.03
0301010003	Vibrador de concreto 4HP 1.25"	hm	1.00	0.400	6.48	2.59
						3.62

Nota: Elaboración propia.

Tabla 45

APU – Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$. Sistema MDL.

Partida	01.02	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm²						
Rendimiento	kg/día	MO. 250.00	EQ. 250.00	Costo unitario directo por: kg			S/. 3.64	
Código	Descripción recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra								
0101010001	Capalaz			hh	0.10	0.003	26.99	0.09
0101010002	Operario			hh	1.00	0.032	20.76	0.66
0101010003	Oficial			hh	1.00	0.032	16.83	0.54
								1.29
Materiales								
0201010002	Alambre negro N°16			kg		0.047	2.09	0.10
0201010003	Acero corrugado fy = 4200 kg/cm2 Grado 60			kg		1.050	2.10	2.21
								2.30
Equipos								
0301010002	Cortadora eléctrica de fierro			hm	0.33	0.011	4.56	0.05
								0.05

Nota: Elaboración propia.

Tabla 46

APU – Encofrado y desencofrado de placas (Metálico). Sistema MDL.

Partida	01.04	Encofrado y desencofrado de placas - Metal						
Rendimiento	m²/día	MO. 15.00	EQ. 15.00	Costo unitario directo por: m²		S/. 37.01		
Código	Descripción recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra								
0101010001	Capataz			hh	0.05	0.027	26.99	0.72
0101010002	Operario			hh	1.00	0.533	20.76	11.07
0101010003	Oficial			hh	1.00	0.533	16.83	8.98
0101010004	Peón			hh	0.50	0.267	15.15	4.04
								24.81
Materiales								
0201010001	Alambre negro N°8			kg		0.040	3.29	0.13
0201010005	Desmoldante para encofrado			gal		0.040	105.93	4.24
0201010006	Curador de concreto			gal		0.040	16.32	0.65
								5.02
Equipos								
0301010001	Herramienta			%mo		3%	24.81	0.74
0301010004	Encofrado metálico			m2		1.000	6.44	6.44
								7.18

Nota: Elaboración propia.

Tabla 47

APU – Mala electrosoldada QE-196. Sistema MDL.

Partida	01.03	Malla electrosoldada QE-196						
Rendimiento	m²/día	MO. 80.00	EQ. 80.00	Costo unitario directo por: m²		S/. 33.78		
Código	Descripción recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra								
0101010001	Capataz			hh	0.10	0.053	26.99	1.44
0101010002	Operario			hh	1.00	0.533	20.76	11.07
0101010004	Peón			hh	1.00	0.533	15.15	8.08
								20.59
Materiales								
0201010002	Alambre negro N°16			kg		0.047	2.09	0.10
0201010004	Malla electrosoldada QE-196			m2		1.000	12.47	12.47
								12.57
Equipos								
0301010001	Herramienta			%mo		3%	20.59	0.62
								0.62

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 48, se presenta la estimación económica del costo directo de la edificación de ser construida bajo el sistema de muros de ductilidad limitada, el valor asciende a S/. 358,627.

Tabla 48

Estimación económica. Sistema MDL.

Estimación económica - Sistema Muros de ductilidad limitada						
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	P.U. (S/)	Parcial	
01	Estructuras				S/.	358,627
01.01	Concreto placas f'c=210 kg/cm2 - Premezclado	m ³	344	292.50	S/.	100,621
01.02	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm2	kg	20774	3.64	S/.	75,630
01.04	Encofrado y desencofrado de placas - Metal	m ²	4168	37.01	S/.	154,272
01.03	Malla electrosoldada QE-196	m ²	832	33.78	S/.	28,103

Nota: Elaboración propia.

4.2 Sistema albañilería confinada

El diseño de la edificación se realizó en función a la distribución optimizada de muros portantes expuesta en la Figura 18 del Capítulo 3 de la presente tesis; esta, se obtuvo producto de un proceso iterativo que se llevó a cabo con el objetivo de lograr un diseño técnico económico que cumpla los requerimientos que establecen las Normas E.030 2016 y E.070 2006.

Por fines académicos, dicho proceso iterativo se expone a continuación mediante la presentación de dos de las varias distribuciones de muros portantes que se consideraron conforme se validaba cumplieran o no lo estipulado por Norma.

Las verificaciones por irregularidad, control de fisuración y resistencia al corte del edificio expuestas en los incisos 3.4.4.3, 4.2.1.5 y 4.2.1.6 del presente documento, fueron los requerimientos normativos que influyeron con mayor incidencia en el proceso iterativo que se realizó.

- **Iteración A:**

Visto los resultados en el proceso iterativo de diseño de la edificación bajo el sistema MDL y presentada una distribución de muros bastante similar, se consideró a bien establecer para el sistema de albañilería confinada los siguientes criterios de estructuración:

- Muros MX10 y MX11 separados entre sí.
- Muros MX10 y MX11 separados del muro MY10.

En la Figura 32 y Tabla 49 se presenta la distribución en planta y dimensiones de los muros portantes del sistema. Nótese que en ambas direcciones de análisis predominan los muros de albañilería confinada de aparejo de sogá, consideración bastante común en las edificaciones de baja altura en nuestro país.

Figura 32. Muros portantes – Iteración A. Albañilería confinada. Elaboración propia.

Tabla 49

Muros portantes – Iteración A. Albañilería confinada.

Muros de albañilería - Iteración A					
Muro	L	t	Muro	L	t
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)
MX01	230	13	MY01	560	13
MX02	310	13	MY02	350	13
MX03	310	13	MY03	350	13
MX04	230	13	MY04	560	13
MX05	310	13	MY05	560	13
MX06	310	13	MY06	240	13
MX07	310	13	MY07	240	13
MX08	250	13	MY08	560	13
MX09	310	13	MY09	310	13
MX10	635	13	MY10	520	13
MX11	635	13	MY11	310	13
			MD01	625	13
			MD02	625	13
			MD03	325	13
			MD04	325	13

Muros de concreto armado - Iteración A					
Muro	L	t	Muro	L	t
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)
PX01	120	15	PY01	100	15
PX02	70	15	PY02	100	15
PX03	120	15	PY03	60	15
PX04	120	15	PY04	60	15
PX05	70	15	PY05	70	15
PX06	120	15	PY06	70	15
PX07	80	15			
PX08	80	15			
PX09	80	15			
PX10	80	15			
PX11	110	15			
PX12	60	15			
PX13	60	15			
PX14	110	15			

Nota: Elaboración propia.

Realizado el análisis sísmico, se presenta en la Tabla 50 y Tabla 51 los desplazamientos de respuesta de la estructura.

Tabla 50

Desplazamientos de respuesta, X-X – Iteración A. Albañilería confinada.

Desplazamientos de respuesta - Dirección X-X. Sistema Albañilería confinada (Iteración A)			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	3.7	10.3	53.3
Piso 4	4.3	12.0	43.0
Piso 3	4.5	12.6	31.1
Piso 2	4.1	11.5	18.5
Piso 1	2.5	6.9	6.9

Nota: Elaboración propia.

Tabla 51

Desplazamientos de respuesta, Y-Y – Iteración A. Albañilería confinada.

Desplazamientos de respuesta - Dirección Y-Y. Sistema Albañilería confinada (Iteración A)			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	1.6	4.4	24.8
Piso 4	1.9	5.4	20.4
Piso 3	2.1	5.7	15.0
Piso 2	1.9	5.4	9.3
Piso 1	1.4	3.8	3.8

Nota: Elaboración propia.

Visto los resultados se observa que la máxima distorsión de entrepiso se suscita en la dirección de análisis X-X en el tercer nivel de la estructura alcanzando un valor de 0.0045.

Puesto que la distorsión de entrepiso es por poco menor a la máxima permitida por la Norma E.030 2016, se prevé que varios de los muros del primer nivel no cumplan el control de fisuración establecido en la Norma E.070 2006, el mismo que tiene como objetivo evitar que los muros portantes de la edificación se fisuren ante las solicitaciones de fuerza cortante de un “sismo moderado”.

Resuelto ello, se presenta en la Tabla 52 la verificación por control de fisuración de los muros de albañilería correspondientes a la Iteración A.

Tabla 52

Control de fisuración, X-X, 1° nivel – Iteración A. Albañilería confinada.

Piso	Muro	Dirección X-X									
		vm (kg/cm ²)	L (cm)	Ve (t)	Me (t-m)	t (cm)	α	Pg (t)	Vm (t)	0.55 * Vm (t)	¿Cumple?
Piso 1	MX01	8.1	230	9.7	48.9	13	0.46	44.3	15.7	8.7	No
	MX02	8.1	310	11.4	60.1	13	0.59	38.3	18.4	10.1	No
	MX03	8.1	310	11.4	60.1	13	0.59	38.3	18.4	10.1	No
	MX04	8.1	230	9.7	48.9	13	0.46	44.3	15.7	8.6	No
	MX05	8.1	310	10.9	62.3	13	0.54	43.7	18.9	10.4	No
	MX06	8.1	310	10.9	62.3	13	0.54	43.7	18.9	10.4	No
	MX07	8.1	310	10.3	49.5	13	0.65	47.0	21.4	11.7	Sí
	MX08	8.1	250	8.7	31.1	13	0.70	42.4	19.0	10.4	Sí
	MX09	8.1	310	10.3	49.5	13	0.64	47.0	21.3	11.7	Sí
	MX10	8.1	635	26.4	186.1	13	0.90	53.7	42.5	23.3	No
	MX11	8.1	635	26.4	186.1	13	0.90	53.7	42.5	23.4	No

Nota: Elaboración propia.

Visto los valores se concluye que ocho de los once muros de albañilería correspondientes a la dirección X-X del primer nivel no cumplen el control de fisuración para sismos moderados, validando así lo establecido en el pre dimensionamiento, ver acápite 3.3.2 de este documento.

De los resultados se concluye la necesidad de incorporar elementos de concreto armado a fin de redistribuir los esfuerzos de corte y cumplir los requerimientos normativos.

- **Iteración B:**

Vista las restricciones existentes en la Iteración A, con el objetivo de reducir los esfuerzos de corte y así asegurar el control de fisuración de los muros de albañilería del primer nivel, se consideró a bien:

- Modificar el asentado de sogas a aparejo de cabeza en los muros MD01, MD02, MD03, MD04, MX06 y MX07.
- Modificar los elementos MX02, MX03, MX05, MX06, MY06 y MY07 de muro de albañilería a muros de concreto armado.

En la Figura 33 y Tabla 53 se presenta la distribución en planta y dimensiones de los muros portantes del sistema considerando lo expuesto previamente.

Figura 33. Muros portantes – Iteración B. Albañilería confinada. Elaboración propia.

Tabla 53

Muros portantes – Iteración B. Albañilería confinada.

Muros de albañilería - Iteración B					
Muro	L	t	Muro	L	t
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)
MX01	230	13	MY01	560	13
MX02	230	13	MY02	350	13
MX03	310	13	MY03	350	13
MX04	250	13	MY04	560	13
MX05	310	13	MY05	560	13
MX06	635	23	MY06	560	13
MX07	635	23	MY07	310	13
			MY08	520	13
			MY09	310	13
			MD01	625	23
			MD02	625	23
			MD03	325	23
			MD04	325	23

Muros de concreto armado - Iteración B					
Muro	L	t	Muro	L	t
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)
PX01	120	15	PY01	100	15
PX02	70	15	PY02	100	15
PX03	120	15	PY03	240	15
PX04	120	15	PY04	60	15
PX05	70	15	PY05	60	15
PX06	120	15	PY06	240	15
PX07	80	15	PY07	70	15
PX08	80	15	PY08	70	15
PX09	80	15			
PX10	80	15			
PX11	310	15			
PX12	310	15			
PX13	310	15			
PX14	310	15			
PX15	110	15			
PX16	60	15			
PX17	60	15			
PX18	110	15			

Nota: Elaboración propia.

Realizado el análisis sísmico, se presenta en la Tabla 54 y Tabla 55 los desplazamientos de respuesta de la estructura.

Tabla 54

Desplazamientos de respuesta, X-X – Iteración B. Albañilería confinada.

Desplazamientos de respuesta - Dirección X-X. Sistema Albañilería confinada (Iteración A)			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	3.0	8.4	40.0
Piso 4	3.3	9.3	31.6
Piso 3	3.4	9.5	22.3
Piso 2	2.9	8.2	12.8
Piso 1	1.6	4.6	4.6

Nota: Elaboración propia.

Tabla 55

Desplazamientos de respuesta, Y-Y – Iteración B. Albañilería confinada.

Desplazamientos de respuesta - Dirección Y-Y. Sistema Albañilería confinada (Iteración A)			
Piso	Distorsión de entrepiso (%)	Desplazamiento lateral relativo (mm)	Desplazamiento lateral absoluto (mm)
Piso 5	1.4	3.9	20.9
Piso 4	1.7	4.6	17.0
Piso 3	1.7	4.9	12.4
Piso 2	1.6	4.5	7.5
Piso 1	1.1	3.0	3.0

Nota: Elaboración propia.

Visto los resultados se observa que la máxima distorsión de entrepiso identificada en el tercer nivel para la dirección de análisis X-X disminuye considerablemente.

A continuación, en la Tabla 56 se presenta la verificación por control de fisuración de los muros del primer entrepiso en la dirección X-X.

Tabla 56

Control de fisuración, X-X, 1° nivel – Iteración B. Albañilería confinada.

Dirección X-X											
Piso	Muro	vm	L	Ve	Me	t	α	Pg	Vm	0.55 * Vm	¿Cumple?
		(kg/cm ²)	(cm)	(t)	(t-m)	(cm)		(t)	(t)	(t)	
Piso 1	MX01	8.1	230	5.7	31.4	13	0.41	38.6	13.9	7.7	Sí
	MX02	8.1	230	5.7	31.4	13	0.42	38.6	13.9	7.7	Sí
	MX03	8.1	310	5.5	30.4	13	0.56	44.1	19.2	10.6	Sí
	MX04	8.1	250	4.7	18.5	13	0.63	40.3	17.6	9.7	Sí
	MX05	8.1	310	5.4	30.4	13	0.56	44.1	19.2	10.6	Sí
	MX06	8.1	635	22.0	91.9	23	1.00	60.8	73.1	40.2	Sí
	MX07	8.1	635	22.0	91.8	23	1.00	60.9	73.1	40.2	Sí

Nota: Elaboración propia.

De los resultados se observa que el íntegro de los muros de albañilería cumplen la verificación por control de fisuración establecida en Norma.

Posteriormente, se procedió a la verificación de la resistencia a corte del edificio, en la que se compara la sumatoria de resistencia a corte de los muros de albañilería confinada y los muros de concreto armado sin considerar el aporte del refuerzo horizontal, versus la fuerza cortante del entrepiso correspondiente al sismo severo.

En la Tabla 57 y Tabla 58 se presenta el cálculo de la fuerza cortante mínima de la estructura según la distribución de muros de la Iteración B, así como la contribución de resistencia a corte de los elementos de concreto armado respectivamente.

Tabla 57

Cortante mínima – Iteración B. Albañilería confinada.

Fuerza cortante mínima - Albañilería confinada - Iteración B		
Expresión	Fuerza (t)	
	Sentido X-X	Sentido Y-Y
Cortante estática	632.5	632.5
90% de la cortante estática	569.3	569.3
Cortante dinámica	400.9	505.5
Factor	1.42	1.13

Nota: Elaboración propia.

Tabla 58

Resistencia a corte de placas – Iteración B. Albañilería confinada.

Piso	Muro	Dirección X-X			
		f'c (kg/cm2)	bw (cm)	d (cm)	Vc (t)
Piso 1	PX01	210	15	116	13.4
	PX02	210	15	66	7.6
	PX03	210	15	116	13.4
	PX04	210	15	116	13.4
	PX05	210	15	66	7.6
	PX06	210	15	116	13.4
	PX07	210	15	76	8.8
	PX08	210	15	76	8.8
	PX09	210	15	76	8.8
	PX10	210	15	76	8.8
	PX11	210	15	306	35.3
	PX12	210	15	306	35.3
	PX13	210	15	306	35.3
	PX14	210	15	306	35.3
	PX15	210	15	106	12.2
	PX16	210	15	56	6.5
	PX17	210	15	56	6.5
	PX18	210	15	106	12.2
					282

Nota: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 59 se presenta la verificación de la resistencia a corte del primer entrepiso de la estructura en la dirección de análisis X-X.

Tabla 59

Verificación de resistencia global, X-X, 1° nivel – Iteración B. Albañilería confinada.

Dirección X-X						
Piso	Muro	V _{mi}	ΣV _{mi}	VE I	Σ V _{mi} ≥ VEI	¿Cumple?
		(t)	(t)	(t)		
Piso 1	MX01	13.9	512	569	No	
	MX02	13.9				
	MX03	19.2				
	MX04	17.6				
	MX05	19.2				
	MX06	73.1				
	MX07	73.1				
	PX01	13.4				
	PX02	7.6				
	PX03	13.4				
	PX04	13.4				
	PX05	7.6				
	PX06	13.4				
	PX07	8.8				
	PX08	8.8				
	PX09	8.8				
	PX10	8.8				
	PX11	35.3				
	PX12	35.3				
	PX13	35.3				
	PX14	35.3				
	PX15	12.2				
	PX16	6.5				
	PX17	6.5				
	PX18	12.2				

Nota: Elaboración propia.

De los resultados se concluye que el primer entrepiso de la estructura no cumple la verificación de la resistencia corte global, por lo que es necesario incorporar un mayor número de elementos de concreto armado a fin de redistribuir los esfuerzos de corte y cumplir los requerimientos normativos.

- **Iteración final:**

Finalmente, en la Figura 34 y Tabla 60 se presenta la distribución y dimensión final de muros portantes del sistema de albañilería confinada, que satisfacen las verificaciones del análisis sísmico y el diseño estructural detallado en breve.

Tabla 60

Muros portantes – Iteración final. Albañilería confinada.

Muros de albañilería - Iteración B					
Muro	L	t	Muro	L	t
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)
MX01	230	13	MY01	560	13
MX02	230	13	MY02	560	13
MX03	635	23	MY03	560	13
MX04	635	23	MY04	560	13
			MY05	310	13
			MY06	520	13
			MY07	310	13
			MD01	625	23
			MD02	625	23
			MD03	325	23
			MD04	325	23

Muros de concreto armado - Iteración B					
Muro	L	t	Muro	L	t
	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)
PX01	120	20	PY01	100	15
PX02	70	15	PY02	100	15
PX03	120	15	PY03	350	20
PX04	120	15	PY04	350	20
PX05	70	15	PY05	240	15
PX06	120	20	PY06	60	15
PX07	80	15	PY07	60	15
PX08	80	15	PY08	240	15
PX09	80	15	PY09	70	15
PX10	80	15	PY10	70	15
PX11	310	20			
PX12	310	20			
PX13	310	15			
PX14	310	15			
PX15	110	20			
PX16	60	15			
PX17	310	15			
PX18	250	15			
PX19	310	15			
PX20	60	15			
PX21	110	20			

Nota: Elaboración propia.

4.2.1 Diseño estructural

En el presente inciso se presenta el diseño de todos los muros portantes de albañilería en la dirección de análisis Y-Y. Cabe resaltar que el mismo proceso de diseño y verificación se llevó a cabo a los muros portantes de albañilería de la dirección perpendicular X-X.

Dentro de este capítulo se incluye además el diseño de los muros de concreto armado del sistema, los mismos que presentan predominancia en la dirección de análisis X-X.

El resultado del diseño de la edificación bajo el sistema de albañilería confinada se expone en los planos adjuntos en los Anexos IV y V de la presente tesis.

4.2.1.1 Cálculo de resistencia al agrietamiento diagonal

La fuerza resistente a corte de los muros de albañilería “ V_m ” se encuentra asociada a la resistencia al agrietamiento diagonal de los mismos, que según el artículo 26.3 de la Norma E.070 2006 se establece como:

$$V_m = 0.5v'_m * \alpha * t * L + 0.23P_g$$

Siendo:

- v'_m : resistencia característica a corte de la albañilería.
- P_g : carga de servicio con sobrecarga reducida.
- L : longitud total del muro incluyendo columnas de confinamiento.
- α : factor de reducción de resistencia al corte por esbeltez de fuerzas.

Donde:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e * L}{M_e} \leq 1$$

- V_e = fuerza cortante del muro obtenida del análisis elástico.
- M_e = momento flector del muro obtenido del análisis elástico.
- t = espesor efectivo del muro.

El factor de reducción " α " que interactúa en el cálculo de resistencia a corte del muro de albañilería, representa la esbeltez de fuerzas y por ende el distinto comportamiento que desarrolla los primeros entrepisos en comparación a los superiores. Esto debido a “que el momento flector genera tracciones normales que incrementan al esfuerzo principal de tracción diagonal producido por la fuerza cortante, con lo cual, la flexión acelera el agrietamiento diagonal de la albañilería.”, San Bartolomé (2005).

4.2.1.2 Cálculo de fuerzas internas

El artículo 27.c) de la Norma E.070 2006 establece que las fuerzas internas para el diseño de los muros de cada entrepiso serán las del “sismo severo”. Estas serán calculadas mediante la amplificación de la cortante ante el “sismo moderado” “ V_{ei} ” por la relación entre la resistencia al agrietamiento diagonal del muro “ V_{m1} ” y la cortante producida en el mismo por el “sismo moderado” siempre en el primer nivel “ V_{e1} ”. Esta relación no será menor a 2 ni mayor a 3.

$$V_{ui} = V_{ei} * \frac{V_{m1}}{V_{e1}}$$

$$M_{ui} = M_{ei} * \frac{V_{m1}}{V_{e1}}$$

$$2 \leq \frac{V_{m1}}{V_{e1}} \leq 3$$

Conocido el efecto de esbeltez de fuerzas presente en los entrepisos inferiores debido a la presencia de mayor momento flector, este cálculo de fuerzas internas representa el incremento de la intensidad del “sismo moderado” en el rango elástico hasta alcanzar la cortante de agrietamiento y por ende el ingreso del muro al rango inelástico en el “sismo severo”.

4.2.1.3 Cálculo de refuerzo horizontal

Todo aquel muro confinado cuya cortante de diseño para “sismo severo” sea mayor o igual a su respectiva resistencia a corte “ V_m ” o posea un esfuerzo a compresión axial mayor a $0.05 f'_m$, el artículo 27.1 de la Norma de albañilería establece que será necesario dicho muro posea refuerzo horizontal, el mismo que estará anclado en las columnas de confinamiento 12.5 cm con un gancho a 90° de 10 cm de longitud. En estructuras con más de tres pisos, es obligatoria la presencia de dicho refuerzo en el primer nivel.

La cuantía nominal del refuerzo horizontal será de 0.001. En los comentarios a la Norma E.070 que realiza el Ing. San Bartolomé, establece que una mayor cuantía de refuerzo no incrementa considerablemente la capacidad de resistencia a corte del muro sino más bien, siendo este el principal objetivo, mejora el comportamiento inelástico del muro incremento su ductilidad.

4.2.1.4 Verificación por esfuerzo axial máximo

El artículo 19.1.b de la Norma E.070 2006 establece para la verificación del esfuerzo axial máximo en los muros portantes del sistema la siguiente expresión:

$$\sigma_m = \frac{P_m}{L * t} \leq 0.2 * f'_m * \left(1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right) \leq 0.15 * f'_m$$

Donde:

- L : longitud total del muro incluyendo columnas de confinamiento.
- P_m : carga de gravedad de servicio incluyendo el 100% de sobrecarga

Expresión que prevé las fallas por pandeo debido a cargas axiales en muros con esbeltez considerable, así como la reducción de la ductilidad del muro ante la acción de un sismo de categoría severa.

En la Tabla 61 se presenta la verificación del esfuerzo axial máximo para cada uno de los muros portantes del primer piso en la dirección de análisis Y-Y, cumpliéndose para todos los casos lo requerido por norma.

Tabla 61

Verificación por esfuerzo axial máximo, Y-Y. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y										
Piso	Muro	P _m (t)	L (cm)	t (cm)	f _m	h (cm)	σ _{máx}	$0.2 \cdot f' \cdot m \cdot \left(1 - \left(\frac{h}{35t}\right)^2\right) (kg/cm^2)$	$0.15 \cdot f' \cdot m (kg/cm^2)$	¿Cumple?
		(t)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	
Piso 1	MY01	43.8	560	13	65	265	6.0	8.6	9.8	Sí
	MY02	43.8	560	13	65	265	6.0	8.6	9.8	Sí
	MY03	36.1	560	13	65	265	5.0	8.6	9.8	Sí
	MY04	36.1	560	13	65	265	5.0	8.6	9.8	Sí
	MY05	15.7	310	13	65	265	3.9	8.6	9.8	Sí
	MY06	24.6	520	13	65	265	3.6	8.6	9.8	Sí
	MY07	15.7	310	13	65	265	3.9	8.6	9.8	Sí
	MD01	43.0	625	23	65	265	3.0	11.6	9.8	Sí
	MD02	43.0	625	23	65	265	3.0	11.6	9.8	Sí
	MD03	24.2	325	23	65	265	3.2	11.6	9.8	Sí
	MD04	24.2	325	23	65	265	3.2	11.6	9.8	Sí

Nota: Elaboración propia.

4.2.1.5 Verificación por control de fisuración

La verificación por control de fisuración tiene como objetivo evitar que los muros portantes de la edificación se fisuren ante las solicitaciones de fuerza cortante de un “sismo moderado”. Para ello, se compara un porcentaje de la resistencia a corte del muro con la fuerza cortante proveniente del análisis dinámico ante las solicitaciones de un “sismo moderado”, debiendo cumplirse lo siguiente:

$$V_e \leq 0.55 \cdot V_m$$

En las Tablas 62, 63, 64, 65 y 66 se presentan en la dirección de análisis Y-Y, los resultados de la verificación por control de fisuración de los muros portantes del sistema en cada uno de los entresijos de la estructura.

De los resultados se concluye que ante las solicitudes de fuerza cortante del “sismo moderado” el íntegro de los muros portantes de albañilería cumple lo requerido en Norma.

Tabla 62

Control de fisuración, Y-Y, 1° nivel. Albañilería confinada.

Piso	Muro	Dirección Y-Y									
		vm (kg/cm ²)	L (cm)	Ve (t)	Me (t-m)	t (cm)	α	Pg (t)	Vm (t)	0.55 * Vm (t)	¿Cumple?
Piso 1	MY01	8.1	560	15.0	96.4	13	0.9	40.2	35.0	19.2	Sí
	MY02	8.1	560	15.0	96.4	13	0.9	40.2	35.0	19.2	Sí
	MY03	8.1	560	16.5	103.5	13	0.9	35.4	34.5	19.0	Sí
	MY04	8.1	560	16.5	103.5	13	0.9	35.4	34.5	19.0	Sí
	MY05	8.1	310	8.3	29.7	13	0.9	15.3	17.6	9.7	Sí
	MY06	8.1	520	13.3	67.4	13	1.0	25.3	33.2	18.3	Sí
	MY07	8.1	310	8.3	29.7	13	0.9	15.3	17.6	9.7	Sí
	MD01	8.1	625	32.1	225.9	23	0.9	46.4	62.4	34.3	Sí
	MD02	8.1	625	32.1	225.7	23	0.9	46.4	62.4	34.3	Sí
	MD03	8.1	325	14.7	66.3	23	0.7	25.6	27.7	15.2	Sí
	MD04	8.1	325	14.7	66.3	23	0.7	25.6	27.7	15.2	Sí

Nota: Elaboración propia.

Tabla 63

Control de fisuración, Y-Y, 2° nivel. Albañilería confinada.

Piso	Muro	Dirección Y-Y									
		vm (kg/cm ²)	L (cm)	Ve (t)	Me (t-m)	t (cm)	α	Pg (t)	Vm (t)	0.55 * Vm (t)	¿Cumple?
Piso 2	MY01	8.1	560	18.9	75.9	13	1.00	29.7	36.3	20.0	Sí
	MY02	8.1	560	18.9	75.9	13	1.00	29.7	36.3	20.0	Sí
	MY03	8.1	560	20.8	78.4	13	1.00	28.1	36.0	19.8	Sí
	MY04	8.1	560	20.8	78.4	13	1.00	28.1	36.0	19.8	Sí
	MY05	8.1	310	10.5	25.2	13	1.00	11.6	19.0	10.4	Sí
	MY06	8.1	520	16.3	53.5	13	1.00	19.5	31.9	17.5	Sí
	MY07	8.1	310	10.5	25.2	13	1.00	11.6	19.0	10.4	Sí
	MD01	8.1	625	38.1	173.7	23	1.00	37.1	66.8	36.7	Sí
	MD02	8.1	625	38.1	173.6	23	1.00	37.1	66.8	36.7	Sí
	MD03	8.1	325	12.8	50.1	23	0.83	20.1	29.8	16.4	Sí
	MD04	8.1	325	12.8	50.1	23	0.83	20.1	29.8	16.4	Sí

Nota: Elaboración propia.

Tabla 64

Control de fisuración, Y-Y, 3° nivel. Albañilería confinada.

Piso	Muro	Dirección Y-Y									¿Cumple?
		vm (kg/cm ²)	L (cm)	Ve (t)	Me (t-m)	t (cm)	α	Pg (t)	Vm (t)	0.55 * Vm (t)	
Piso 3	MY01	8.1	560	17.5	48.9	13	1.00	21.2	34.4	18.9	Sí
	MY02	8.1	560	17.5	48.9	13	1.00	21.2	34.4	18.9	Sí
	MY03	8.1	560	19.5	49.8	13	1.00	20.9	34.3	18.9	Sí
	MY04	8.1	560	19.5	49.8	13	1.00	20.9	34.3	18.9	Sí
	MY05	8.1	310	9.9	18.2	13	1.00	8.5	18.3	10.1	Sí
	MY06	8.1	520	14.8	35.5	13	1.00	14.6	30.7	16.9	Sí
	MY07	8.1	310	9.9	18.2	13	1.00	8.5	18.3	10.1	Sí
	MD01	8.1	625	32.9	108.3	23	1.00	27.8	64.6	35.5	Sí
	MD02	8.1	625	32.9	108.2	23	1.00	27.8	64.6	35.5	Sí
	MD03	8.1	325	9.3	25.8	23	1.00	14.9	33.7	18.5	Sí
	MD04	8.1	325	9.3	25.8	23	1.00	14.9	33.7	18.5	Sí

Nota: Elaboración propia.

Tabla 65

Control de fisuración, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.

Piso	Muro	Dirección Y-Y									¿Cumple?
		vm (kg/cm ²)	L (cm)	Ve (t)	Me (t-m)	t (cm)	α	Pg (t)	Vm (t)	0.55 * Vm (t)	
Piso 4	MY01	8.1	560	14.2	26.2	13	1.00	13.6	32.6	17.9	Sí
	MY02	8.1	560	14.2	26.2	13	1.00	13.6	32.6	17.9	Sí
	MY03	8.1	560	16.0	26.2	13	1.00	13.9	32.7	18.0	Sí
	MY04	8.1	560	16.0	26.3	13	1.00	13.9	32.7	18.0	Sí
	MY05	8.1	310	8.0	11.6	13	1.00	5.5	17.6	9.7	Sí
	MY06	8.1	520	11.6	20.4	13	1.00	9.9	29.7	16.3	Sí
	MY07	8.1	310	8.0	11.5	13	1.00	5.5	17.6	9.7	Sí
	MD01	8.1	625	23.7	54.2	23	1.00	18.5	62.5	34.4	Sí
	MD02	8.1	625	23.7	54.2	23	1.00	18.5	62.5	34.4	Sí
	MD03	8.1	325	5.4	9.5	23	1.00	10.0	32.6	17.9	Sí
	MD04	8.1	325	5.4	9.5	23	1.00	10.0	32.6	17.9	Sí

Nota: Elaboración propia.

Tabla 66

Control de fisuración, Y-Y, 5° nivel. Albañilería confinada.

Piso	Muro	Dirección Y-Y									¿Cumple?
		vm (kg/cm ²)	L (cm)	Ve (t)	Me (t-m)	t (cm)	α	Pg (t)	Vm (t)	0.55 * Vm (t)	
Piso 5	MY01	8.1	560	9.6	9.6	13	1.00	6.5	31.0	17.0	Sí
	MY02	8.1	560	9.6	9.6	13	1.00	6.5	31.0	17.0	Sí
	MY03	8.1	560	11.0	9.9	13	1.00	7.1	31.1	17.1	Sí
	MY04	8.1	560	11.0	9.9	13	1.00	7.1	31.1	17.1	Sí
	MY05	8.1	310	5.4	5.9	13	1.00	2.7	16.9	9.3	Sí
	MY06	8.1	520	7.3	8.8	13	1.00	5.6	28.7	15.8	Sí
	MY07	8.1	310	5.4	5.9	13	1.00	2.7	16.9	9.3	Sí
	MD01	8.1	625	12.0	17.7	23	1.00	9.3	60.4	33.2	Sí
	MD02	8.1	625	12.0	17.7	23	1.00	9.3	60.4	33.2	Sí
	MD03	8.1	325	1.4	3.0	23	1.00	5.0	31.4	17.3	Sí
	MD04	8.1	325	1.4	3.0	23	1.00	5.0	31.4	17.3	Sí

Nota: Elaboración propia.

De no cumplirse la verificación por control de fisuración, situación que durante el proceso iterativo de diseño se presentó constantemente en varios de los muros, se deberá incrementar la resistencia al agrietamiento diagonal “Vm” de los mismos mediante:

- **El incremento de su espesor:**

Los muros MD01, MD02, MD03, MD04, MX03 y MX04, pasaron de aparejo de soga a aparejo de cabeza, incrementado su espesor efectivo “t” de 13 cm a 23 cm.

- **El aumento de su rigidez:**

Los muros PX11, PX12, PX13, PX14, PX17, PX18, PX19, PY05 y PY08, considerados inicialmente muros de albañilería fueron convertidos a muros de concreto armado, incrementando su rigidez considerablemente.

Cabe resaltar que todo cambio en masa y rigidez durante el proceso de diseño exige un re análisis sísmico de la estructura, proceso iterativo que se llevó a cabo en el diseño de la edificación de la presente tesis.

4.2.1.6 Verificación de la resistencia al corte del edificio

La verificación de resistencia a corte de cada entrepiso “i” se establece en el artículo 26.4 de la Norma E.070 2006 como:

$$\sum V_{mi} \leq V_{Ei}$$

Donde " V_{Ei} " es la fuerza cortante actuante en el entrepiso “i” producida por el sismo severo y " $\sum V_{mi}$ " es la sumatoria de resistencia a corte de los muros de albañilería confinada y los muros de concreto armado sin considerar el aporte del refuerzo horizontal.

Esta disposición, como lo explica el Ing. San Bartolomé en sus comentarios a la Norma de albañilería, logra cumplir las consideraciones generales de la Norma E.070, asegurando que la estructura se comporte elásticamente ante “sismos moderados”, y ante “sismos severos” no sobrepasen de 0.005 sus distorsiones inelásticas mediante una adecuada resistencia y rigidez en ambas direcciones del edificio.

Una vez verificada la resistencia a corte global del edificio, todo aquel muro de albañilería no considerado en " $\sum V_{mi}$ " podrá abstenerse de la necesidad de columnas de confinamiento, incluso aquellos muros portantes de carga gravitacional, debido a que están conectados a los muros portantes de carga sísmica mediante el diafragma de entrepiso.

En las Tablas 67, 68, 69, 70 y 71 se presentan para la dirección de análisis Y-Y, la verificación de resistencia a corte de cada entrepiso. Se observa el cumplimiento de lo requerido por norma.

Tabla 67

Verificación de resistencia global, Y-Y, 1° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	Vmi	ΣVmi	VE i	$\Sigma Vmi \geq VEi$	¿Cumple?
		(t)	(t)	(t)		
Piso 1	MY01	35.0	600	599	Sí	
	MY02	35.0				
	MY03	34.5				
	MY04	34.5				
	MY05	17.6				
	MY06	33.2				
	MY07	17.6				
	MD01	62.4				
	MD02	62.4				
	MD03	27.7				
	MD04	27.7				
	PY01	11.2				
	PY02	11.2				
	PY03	53.4				
	PY04	53.4				
	PY05	27.4				
	PY06	6.7				
	PY07	6.6				
	PY08	27.4				
	PY09	7.8				
	PY10	7.8				

Nota: Elaboración propia.

Tabla 68

Verificación de resistencia global, Y-Y, 2° nivel. Albañilería confinada

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	Vmi	ΣVmi	VE i	$\Sigma Vmi \geq VEi$	¿Cumple?
		(t)	(t)	(t)		
Piso 2	MY01	36.3	620	559	Sí	
	MY02	36.3				
	MY03	36.0				
	MY04	36.0				
	MY05	19.0				
	MY06	31.9				
	MY07	19.0				
	MD01	66.8				
	MD02	66.8				
	MD03	29.8				
	MD04	29.8				
	PY01	11.2				
	PY02	11.2				
	PY03	53.4				
	PY04	53.4				
	PY05	27.4				
	PY06	6.7				
	PY07	6.6				
	PY08	27.4				
	PY09	7.8				
	PY10	7.8				

Nota: Elaboración propia.

Tabla 69

Verificación de resistencia global, Y-Y, 3° nivel. Albañilería confinada

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	V _{mi}	ΣV _{mi}	VE i	Σ V _{mi} ≥ VE _i	¿Cumple?
		(t)	(t)	(t)		
Piso 3	MY01	34.4	614	478	Sí	
	MY02	34.4				
	MY03	34.3				
	MY04	34.3				
	MY05	18.3				
	MY06	30.7				
	MY07	18.3				
	MD01	64.6				
	MD02	64.6				
	MD03	33.7				
	MD04	33.7				
	PY01	11.2				
	PY02	11.2				
	PY03	53.4				
	PY04	53.4				
	PY05	27.4				
	PY06	6.7				
	PY07	6.6				
	PY08	27.4				
	PY09	7.8				
	PY10	7.8				

Nota: Elaboración propia.

Tabla 70

Verificación de resistencia global, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	V _{mi}	ΣV _{mi}	VE i	Σ V _{mi} ≥ VE _i	¿Cumple?
		(t)	(t)	(t)		
Piso 4	MY01	32.6	598	355	Sí	
	MY02	32.6				
	MY03	32.7				
	MY04	32.7				
	MY05	17.6				
	MY06	29.7				
	MY07	17.6				
	MD01	62.5				
	MD02	62.5				
	MD03	32.6				
	MD04	32.6				
	PY01	11.2				
	PY02	11.2				
	PY03	53.4				
	PY04	53.4				
	PY05	27.4				
	PY06	6.7				
	PY07	6.6				
	PY08	27.4				
	PY09	7.8				
	PY10	7.8				

Nota: Elaboración propia.

Tabla 71

Verificación de resistencia global, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	V _{mi}	ΣV _{mi}	VE i	Σ V _{mi} ≥ VE i	¿Cumple?
		(t)	(t)	(t)		
Piso 5	MY01	31.0	583	182	Sí	
	MY02	31.0				
	MY03	31.1				
	MY04	31.1				
	MY05	16.9				
	MY06	28.7				
	MY07	16.9				
	MD01	60.4				
	MD02	60.4				
	MD03	31.4				
	MD04	31.4				
	PY01	11.2				
	PY02	11.2				
	PY03	53.4				
	PY04	53.4				
	PY05	27.4				
	PY06	6.7				
	PY07	6.6				
	PY08	27.4				
	PY09	7.8				
	PY10	7.8				

Nota: Elaboración propia.

4.2.1.7 Verificación del agrietamiento diagonal en los entrepisos superiores

El artículo 27.2 de la Norma de Albañilería establece que en cada entrepiso superior al primero, se debe verificar que la fuerza cortante última actuante en cada muro confinado ($V_{ui}=V_{ei}*V_{m1}/V_{e1}$) no exceda su resistencia a corte “V_m”.

$$V_{mi} > V_{ui}$$

De no cumplir lo requerido, los elementos de confinamiento de los muros agrietados de los pisos superiores deberán diseñarse igual a los elementos de confinamiento del primer nivel.

Para la dirección de análisis Y-Y, en las Tablas 72, 73, 74, 75, y 76 se presenta para cada muro según sea el entrepiso, la necesidad de refuerzo horizontal y la verificación por agrietamiento diagonal.

Tabla 72

Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 1° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	V _m	V _u	M _u	¿Necesita refuerzo horizontal?	¿Se agrieta el muro?
Piso 1	MY01	35.0	35.0	224.4	Sí	Sí
	MY02	35.0	35.0	224.4	Sí	Sí
	MY03	34.5	34.5	216.0	Sí	Sí
	MY04	34.5	34.5	216.1	Sí	Sí
	MY05	17.6	17.6	63.2	Sí	Sí
	MY06	33.2	33.2	168.0	Sí	Sí
	MY07	17.6	17.6	63.2	Sí	Sí
	MD01	62.4	64.2	451.8	Sí	Sí
	MD02	62.4	64.2	451.3	Sí	Sí
	MD03	27.7	29.4	132.6	Sí	Sí
	MD04	27.7	29.4	132.6	Sí	Sí

Nota: Elaboración propia.

Tabla 73

Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 2° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	V _m	V _u	M _u	¿Necesita refuerzo horizontal?	¿Se agrieta el muro?
Piso 2	MY01	36.3	43.9	176.8	Sí	Sí
	MY02	36.3	43.9	176.7	Sí	Sí
	MY03	36.0	43.5	163.7	Sí	Sí
	MY04	36.0	43.5	163.6	Sí	Sí
	MY05	19.0	22.4	53.5	Sí	Sí
	MY06	31.9	40.5	133.4	Sí	Sí
	MY07	19.0	22.4	53.5	Sí	Sí
	MD01	66.8	76.2	347.5	Sí	Sí
	MD02	66.8	76.2	347.3	Sí	Sí
	MD03	29.8	25.6	100.1	No	No
	MD04	29.8	25.6	100.1	No	No

Nota: Elaboración propia.

Tabla 74

Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 3° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	Vm	Vu	Mu	¿Necesita refuerzo horizontal?	¿Se agrieta el muro?
Piso 3	MY01	34.4	40.8	113.8	Sí	Sí
	MY02	34.4	40.8	113.8	Sí	Sí
	MY03	34.3	40.7	104.0	Sí	Sí
	MY04	34.3	40.7	104.0	Sí	Sí
	MY05	18.3	21.0	38.7	Sí	Sí
	MY06	30.7	36.8	88.5	Sí	Sí
	MY07	18.3	21.0	38.7	Sí	Sí
	MD01	64.6	65.7	216.6	Sí	Sí
	MD02	64.6	65.7	216.4	Sí	Sí
	MD03	33.7	18.6	51.6	No	No
	MD04	33.7	18.6	51.6	No	No

Nota: Elaboración propia.

Tabla 75

Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 4° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	Vm	Vu	Mu	¿Necesita refuerzo horizontal?	¿Se agrieta el muro?
Piso 4	MY01	32.6	33.1	61.0	Sí	Sí
	MY02	32.6	33.1	61.0	Sí	Sí
	MY03	32.7	33.3	54.8	Sí	Sí
	MY04	32.7	33.3	54.8	Sí	Sí
	MY05	17.6	17.0	24.6	No	No
	MY06	29.7	28.9	50.8	No	No
	MY07	17.6	17.0	24.5	No	No
	MD01	62.5	47.4	108.5	No	No
	MD02	62.5	47.5	108.4	No	No
	MD03	32.6	10.9	19.0	No	No
	MD04	32.6	10.8	18.9	No	No

Nota: Elaboración propia.

Tabla 76

Verificación del agrietamiento diagonal, Y-Y, 5° nivel. Albañilería confinada.

Dirección Y-Y						
Piso	Muro	Vm	Vu	Mu	¿Necesita refuerzo horizontal?	¿Se agrieta el muro?
Piso 5	MY01	31.0	22.3	22.4	No	No
	MY02	31.0	22.3	22.4	No	No
	MY03	31.1	22.9	20.6	No	No
	MY04	31.1	22.9	20.7	No	No
	MY05	16.9	11.4	12.6	No	No
	MY06	28.7	18.1	21.8	No	No
	MY07	16.9	11.4	12.6	No	No
	MD01	60.4	23.9	35.4	No	No
	MD02	60.4	24.0	35.5	No	No
	MD03	31.4	2.8	5.9	No	No
	MD04	31.4	2.8	5.9	No	No

Nota: Elaboración propia.

De los resultados, se concluye la presencia de muros agrietados en la edificación hasta en el cuarto entrepiso producto del incremento de la fuerza sísmica debido a las aceleraciones propias de un suelo blando; situación que se presenta a pesar de la consideración de muros de concreto armado, evidenciando la incidencia del tipo de suelo y los esfuerzos de corte que este genera en los muros en el sistema de albañilería confinada.

4.2.1.8 Diseño de los elementos de confinamiento de los muros del primer piso y de los muros agrietados de pisos superiores

4.2.1.8.1 Diseño de las columnas de confinamiento

Según lo estipulado en la norma NTE E.070 artículo 27 subíndice 27.3, se debe calcular las fuerzas internas de las columnas de confinamiento, procedimiento realizado con la finalidad de verificar que las columnas externas funcionen como topes que contengan el deslizamiento de las franjas agrietadas, con el objetivo de lograr que dichas franjas continúen aportando resistencia a corte.

Así mismo, es importante verificar que las columnas de confinamiento sean los suficientemente resistentes para soportar las solicitaciones en caso el muro de albañilería se agriete.

En la Tabla 77, se presenta las fórmulas que expone la Norma E.070 para el diseño de los elementos de confinamiento del sistema:

Tabla 77

Fuerzas internas en columnas de confinamiento. Albañilería confinada.

FUERZAS INTERNAS EN COLUMNAS DE CONFINAMIENTO			
COLUMNA	V_c (fuerza cortante)	T (tracción)	C (compresión)
Interior	$\frac{V_{m1} \cdot L_m}{L(N_c + 1)}$	$V_{m1} \frac{h}{L} - P_c$	$P_c - \frac{V_{m1} \cdot h}{2L}$
Extrema	$1,5 \frac{V_{m1} \cdot L_m}{L(N_c + 1)}$	$F - P_c$	$P_c + F$

Nota: Fuerzas internas de confinamiento. Adaptado de “Norma E.070 Albañilería”, por SENCICO, 2006.

Dónde:

- $M = Mu1 - 0.5 \cdot V_{m1} \cdot h$ ("h" es la altura del primer piso)
- $F = \frac{M}{L}$ = Fuerza axial en las columnas extremas producidas por "M".
- N_c = de columnas de confinamiento (en muros de un paño $N_c=2$)
- L_m = Longitud del paño mayor o 0.5 L, el de mayor longitud.
- P_c = Sumatoria de las cargas gravitacionales

Por fines académicos, se presenta el diseño para los elementos correspondientes al primer entrepiso; sin embargo, cabe resaltar que todo aquel muro existente en un entrepiso superior que se agriete debido a la acción del sismo severo $V_u > V_m$, verificación realizada en el

subcapítulo 4.2.1.7 del presente informe, deberá también ser diseñado con las consideraciones del presente inciso. Las fuerzas internas de las columnas de confinamiento interiores y exteriores para el primer piso son los expuestos en la Tabla 78 y Tabla 79, respectivamente:

Tabla 78

Fuerzas internas en columnas de confinamiento int. Albañilería confinada.

PRIMER PISO			
Interior	V (Cortante)	T (Tracción)	C (Compresión)
	(t)	(t)	(t)
MX03	8.13	5.62	5.62
MX04	8.13	5.62	5.62
MY01	6.56	-13.39	13.39
MY02	6.56	-13.39	13.39
MY03	4.16	5.47	3.17
MY04	4.16	5.47	3.17
MY06	4.79	9.44	-0.50
MD01	8.61	12.46	1.51
MD02	8.62	12.50	1.49

Nota: Elaboración propia.

Tabla 79

Fuerzas internas en columnas de confinamiento ext. Albañilería confinada.

PRIMER PISO			
Exterior	V (Cortante)	T (Tracción)	C (Compresión)
	(t)	(t)	(t)
MX01	9.46	-16.29	2.63
MX02	9.45	-16.27	2.63
MX03	12.20	37.09	70.82
MX04	12.20	37.03	70.76
MY01	6.56	17.93	44.71
MY02	6.56	17.93	44.71
MY03	6.25	18.14	41.75
MY04	6.25	18.14	41.75
MY05	8.81	4.78	20.10
MY06	7.18	14.93	31.82
MY07	8.80	4.79	20.11
MD01	12.91	42.83	73.80
MD02	12.92	42.75	73.70
MD03	14.90	16.10	41.66
MD04	14.90	16.10	41.67

Nota: Elaboración propia.

La Norma E.070 estipula que la sección de la columna de confinamiento de un muro deberá ser la mayor de las que proporcionen los diseños de compresión y corte fricción, pero no menor a 15 veces el espesor de la columna en centímetros cuadrados.

4.2.1.8.1.1 Diseño por compresión

El área de la sección de concreto se calculó según Norma asumiendo que la columna se encuentra arriostrada por el paño de albañilería que la confina, así como el de los muros ortogonales de ser el caso.

El área del núcleo (A_n) bordeado por los estribos se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$A_n = A_s + \frac{C/\phi - A_s * f_y}{0.85 * \delta * f'_c}$$

Dónde:

- $\phi = 0.7$ para estribos cerrados.
- $\phi = 0.75$ para zunchos.
- $\delta = 0.8$ y 1 para columnas sin muros transversales.
- $\delta = 1$ para columnas con muros transversales.

Para los cálculos de la sección de la columna de confinamiento se le adiciona a la misma el recubrimiento respectivo según norma equivalente a 2 cm para muros a tarrajear y 3 cm para muros caravista, para el caso en análisis los muros del proyecto poseen un recubrimiento de 2 cm.

En la Tabla 80 y Tabla 81 se presenta, para los muros del primer nivel, el diseño por compresión de las columnas de confinamiento internas y externas respectivamente.

Tabla 80

Diseño por compresión de columnas de confinamiento interiores, 1° nivel. Albañilería confinada.

PRIMER PISO							
Interior	δ	As	C	An	t	b	Ac
		(cm ²)	(t)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm ²)
MX03	0.80	2.85	5.88	-22.20	23	3	66
MX04	0.80	2.85	5.88	-22.20	23	3	66
MY01	0.80	2.85	14.02	59.25	13	11	138
MY02	0.80	2.85	14.02	59.26	13	11	138
MY03	0.80	2.85	2.72	-53.72	13	-2	-26
MY04	0.80	2.85	2.73	-53.71	13	-2	-26
MY06	0.80	2.85	0.17	-79.23	13	-5	-63
MD01	0.80	2.85	0.27	-78.28	23	0	-3
MD02	0.80	2.85	0.26	-78.36	23	0	-3

Nota: Elaboración propia.

Tabla 81

Diseño por compresión de columnas de confinamiento extremas, 1° nivel. Albañilería confinada.

PRIMER PISO							
Exterior	δ	As	C	An	t	b	Ac
		(cm ²)	(t)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm ²)
MX01	0.80	2.85	16.39	82.94	13	13	172
MX02	0.80	2.85	16.38	82.84	13	13	172
MX03	0.80	2.85	54.45	463.71	23	28	654
MX04	0.80	2.85	54.40	463.26	23	28	653
MY01	0.80	2.85	33.36	252.74	13	32	418
MY02	0.80	2.85	33.36	252.73	13	32	418
MY03	0.80	2.85	32.15	240.61	13	31	400
MY04	0.80	2.85	32.15	240.69	13	31	400
MY05	0.80	2.85	5.88	-22.15	13	2	20
MY06	0.80	2.85	31.84	237.57	13	30	396
MY07	0.80	2.85	5.90	-21.98	13	2	21
MD01	0.80	2.85	60.67	525.98	23	32	729
MD02	0.80	2.85	60.57	525.01	23	32	728
MD03	0.80	2.85	40.34	322.58	13	40	518
MD04	0.80	2.85	40.35	322.70	13	40	519

Nota: Elaboración propia.

Cabe mencionar que de manera preliminar se asumió un área de acero “As” correspondiente a 4 varillas de 3/8” por lo que, en algunos casos, el área de las columnas de confinamiento se detalla en negativo; sin embargo, todos estos valores aún deben compararse con la sección de concreto que requiere el diseño por corte fricción detallado a continuación.

4.2.1.8.1.2 Diseño por corte fricción

La NTE E.070 establece para el cálculo de la sección de concreto resistente al efecto corte fricción, la siguiente expresión:

$$A_{cf} = \frac{V_c}{0.2 * f'_c * 0.85}$$

En la Tabla 82 y Tabla 83 se presenta, para los muros del primer nivel, el diseño por corte fricción de las columnas de confinamiento internas y externas respectivamente.

Tabla 82

Diseño por corte fricción de columnas de confinamiento internas, 1° nivel. Albañilería confinada.

PRIMER PISO						
Interior	Vc	Acf	Ac	t	15t	Acol
	(t)	(cm2)	(cm2)	(cm)	(cm)	(cm2)
MX03	8.50	238.05	66	23	345	345
MX04	8.50	238.05	66	23	345	345
MY01	7.34	205.65	138	13	195	206
MY02	7.34	205.65	138	13	195	206
MY03	4.57	127.97	-26	13	195	195
MY04	4.57	127.97	-26	13	195	195
MY06	4.83	135.25	-63	13	195	195
MD01	9.53	267.04	-3	23	345	345
MD02	9.53	267.02	-3	23	345	345

Nota: Elaboración propia.

Tabla 83

Diseño por corte fricción de columnas de confinamiento externas, 1° nivel. Albañilería confinada.

PRIMER PISO						
Exterior	Vc	Acf	Ac	t	15t	Acol
	(t)	(cm2)	(cm2)	(cm)	(cm2)	(cm2)
MX01	9.71	271.90	172	13	195	272
MX02	9.70	271.58	172	13	195	272
MX03	12.75	357.07	654	23	345	654
MX04	12.75	357.08	653	23	345	653
MY01	7.34	205.65	418	13	195	418
MY02	7.34	205.65	418	13	195	418
MY03	6.85	191.96	400	13	195	400
MY04	6.85	191.96	400	13	195	400
MY05	9.97	279.31	20	13	195	279
MY06	7.24	202.87	396	13	195	396
MY07	9.97	279.31	21	13	195	279
MD01	14.30	400.56	729	23	345	729
MD02	14.30	400.52	728	23	345	728
MD03	15.74	440.86	518	13	195	518
MD04	15.74	440.87	519	13	195	519

Nota: Elaboración propia.

Es preciso mencionar que en la columna “Acol”, el valor expuesto para cada muro es el correspondiente al mayor obtenido mediante el diseño por compresión y corte-fricción, siendo estos no menores al área mínima estipulada por Norma.

4.2.1.8.1.3 Determinación del refuerzo vertical

El refuerzo vertical colocado en las columnas de confinamiento debe ser capaz de soportar la acción conjunta de las fuerzas de corte-fricción y tracción. Cabe resaltar que las fuerzas ya mencionadas actúan simultáneamente en la zona del nudo que se encuentra en la unión de la columna con la solera. A continuación, se mostrará las fórmulas a utilizar expuestas en la NTE E.070.

$$Asf = \frac{Vc}{fy*\mu*\phi}$$

$$Ast = \frac{T}{fy*\phi}$$

$$As = Asf + Ast$$

Dónde:

- $\phi = 0.85$
- $\mu = 0.8$ y 1 para juntas con tratamiento y no respectivamente

A continuación, se presenta en la Tabla 84 y Tabla 85 el acero longitudinal necesario para las columnas de confinamiento interior y exterior del primer entreciso, respectivamente.

Tabla 84

Cálculo del refuerzo vertical en columnas de confinamiento internas, 1° nivel. Albañilería confinada.

Interior	PRIMER PISO						
	Vc (ton)	Asf (cm2)	T (ton)	Ast (cm2)	As' (cm2)	As min (cm2)	As (cm2)
MX03	8.13	2.85	5.62	1.57	4.42	-0.51	4.42
MX04	12.20	4.27	5.62	1.57	5.85	-0.08	5.85
MY01	6.56	2.30	-13.39	3.75	6.05	0.19	6.05
MY02	6.56	2.30	-13.39	3.75	6.05	0.19	6.05
MY03	6.25	2.19	5.47	1.53	3.72	-0.56	3.72
MY04	6.25	2.19	5.47	1.53	3.72	-0.56	3.72
MY06	7.18	2.52	9.44	2.64	5.16	-0.75	5.16
MD01	12.91	4.52	12.46	3.49	8.01	-0.32	8.01
MD02	12.92	4.52	12.50	3.50	8.03	-0.33	8.03

Nota: Elaboración propia.

Tabla 85

Cálculo del refuerzo vertical en columnas de confinamiento externas, 1° nivel. Albañilería confinada.

Exterior	PRIMER PISO						
	Vc (ton)	Asf (cm2)	T (ton)	Ast (cm2)	As' (cm2)	As min (cm2)	As (cm2)
MX01	9.46	3.31	-16.29	4.56	7.88	-1.11	7.88
MX02	9.45	3.31	-16.27	4.56	7.87	-1.11	7.87
MX03	12.20	4.27	37.09	10.39	14.66	3.45	14.66
MX04	12.20	4.27	37.03	10.37	14.64	3.44	14.64
MY01	6.56	2.30	17.93	5.02	7.32	1.94	7.32
MY02	6.56	2.30	17.93	5.02	7.32	1.94	7.32
MY03	6.25	2.19	18.14	5.08	7.27	1.72	7.27
MY04	6.25	2.19	18.14	5.08	7.27	1.72	7.27
MY05	8.81	3.09	4.78	1.34	4.42	0.16	4.42
MY06	7.18	2.52	14.93	4.18	6.70	1.00	6.70
MY07	8.80	3.08	4.79	1.34	4.43	0.16	4.43
MD01	12.91	4.52	42.83	12.00	16.52	3.63	16.52
MD02	12.92	4.52	42.75	11.98	16.50	3.62	16.50
MD03	14.90	5.22	16.10	4.51	9.73	1.68	9.73
MD04	14.90	5.22	16.10	4.51	9.73	1.68	9.73

Nota: Elaboración propia.

4.2.1.8.1.4 Determinación de los estribos de confinamiento

Los estribos de confinamiento son en su mayoría cerrados con un gancho de 135°; sin embargo, estos pueden ser reemplazados por zunchos con ganchos a 180°. Estos zunchos son mayormente utilizados en columnas en la cuales la colocación de los estribos con gancho es difícil de colocar.

Para la determinación de los estribos se determinará mediante las siguientes fórmulas; el resultado obtenido deberá utilizarse hasta una altura de 45 cm de la cara inmediata.

$$s_1 = \frac{A_v * f_y}{0.3 * t_n * f'c * \left(\frac{A_c}{A_n} - 1\right)}$$

$$s_2 = \frac{A_v * f_y}{0.12 * t_n * f'c}$$

$$s_3 = \frac{d}{4} \geq 5cm$$

$$s_4 = 10 \text{ cm}$$

Dónde:

- Av = La suma de las ramas paralelas del estribo
- d = Peralte de la columna en la dirección de sismo

Dando como resultado los valores expuestos en la Tabla 86 y Tabla 87 pertenecientes al primero piso de las columnas de confinamiento interiores y exteriores respectivamente.

Tabla 86

Distribución de estribos en columnas de confinamiento internas, 1° nivel. Albañilería confinada.

PRIMER PISO					
Interior	s1	s2	s3	s4	s
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
MX03	-1.04	5.56	5	10	5.00
MX04	-0.57	5.56	5	10	5.00
MY01	-0.27	11.73	5	10	5.00
MY02	-0.27	11.73	5	10	5.00
MY03	-2.73	11.73	5	10	5.00
MY04	-2.73	11.73	5	10	5.00
MY06	-3.37	11.73	5	10	5.00
MD01	-0.84	5.56	5	10	5.00
MD02	-0.84	5.56	5	10	5.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 87

Distribución de estribos en columnas de confinamiento externas, 1° nivel. Albañilería confinada.

PRIMER PISO					
Exterior	s1	s2	s3	s4	s
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
MX01	7.4	11.7	8.1	10	7.4
MX02	7.4	11.7	8.1	10	7.4
MX03	6.4	5.6	9.3	10	5.6
MX04	6.4	5.6	9.3	10	5.6
MY01	7.4	11.7	8.1	10	7.4
MY02	7.4	11.7	8.1	10	7.4
MY03	7.4	11.7	8.1	10	7.4
MY04	7.4	11.7	8.1	10	7.4
MY05	7.0	11.7	6.8	10	6.8
MY06	7.4	11.7	8.1	10	7.4
MY07	7.0	11.7	6.8	10	6.8
MD01	6.8	5.6	10.6	10	5.6
MD02	6.8	5.6	10.6	10	5.6
MD03	6.4	5.6	9.3	10	5.6
MD04	6.4	5.6	9.3	10	5.6

Nota: Elaboración propia.

4.2.1.8.2 Diseño de vigas soleras

Las vigas soleras serán diseñadas a tracción pura para soportar las cargas originadas por el sismo; para ello, la NTE E.070 estipula que la fuerza a tracción y el área de acero requerido se calculan con las siguientes fórmulas:

$$T_s = V_{m1} * \frac{L_m}{2L}$$

$$A_s = \frac{T_s}{\phi f_y} \geq 0.1 \frac{0.1 * f'c * A_{cs}}{f_y}, \text{ donde } \phi = 0.9$$

En la Tabla 88 se presenta, para los muros del primer nivel, el diseño de vigas soleras de la edificación.

Tabla 88

Diseño de vigas solera, 1° nivel. Albañilería confinada.

Exterior	PRIMER PISO						
	Vm1 (ton)	Ts (ton)	Asc (cm2)	tn (cm)	Acs (cm2)	As mín (cm2)	As (cm2)
MX01	18.92	9.46	2.50	9	135	0.675	2.50
MX02	18.90	9.45	2.50	9	135	0.675	2.50
MX03	50.59	16.26	4.30	19	285	1.425	4.30
MX04	50.60	16.26	4.30	19	285	1.425	4.30
MY01	34.98	8.74	2.31	9	135	0.675	2.31
MY02	34.98	8.74	2.31	9	135	0.675	2.31
MY03	34.55	8.33	2.20	9	135	0.675	2.20
MY04	34.54	8.33	2.20	9	135	0.675	2.20
MY05	17.63	8.81	2.33	9	135	0.675	2.33
MY06	33.20	9.58	2.53	9	135	0.675	2.53
MY07	17.61	8.80	2.33	9	135	0.675	2.33
MD01	62.38	17.22	4.55	19	285	1.425	4.55
MD02	62.43	17.23	4.56	19	285	1.425	4.56
MD03	27.66	14.90	3.94	19	285	1.425	3.94
MD04	27.66	14.90	3.94	19	285	1.425	3.94

Nota: Elaboración propia.

4.2.1.9 Diseño de los pisos superiores no agrietados

4.2.1.9.1 Diseño de las columnas de confinamiento

Las columnas extremas en los pisos superiores deberán soportar la tracción producida por el momento flector actuante en el piso de estudio debido a que en estos casos la albañilería soporta el 100% de la fuerza cortante, por ende, en la interfaz columna solera no será necesario el diseño por fricción.

A continuación, se muestran las fórmulas a utilizadas extraídas de la NTE E.070

$$F = \frac{M_u}{L}$$

$$T = F - P_c > 0$$

$$A_s = \frac{T}{\phi f_y} \geq \frac{0.1 * f'_c * A_c}{f_y}$$

Tabla 89

Cálculo del refuerzo vertical en columnas de confinamiento, muros no agrietados.

Albañilería confinada.

QUINTO PISO							
Muro	Mu	L	F	Pc	T	As'	As
	(t-m)	(m)	(t)	(t)	(t)	(cm2)	(cm2)
MX01	2.20	2.30	0.96	1.45	-0.49	-0.13	0.00
MX02	2.20	2.30	0.96	1.44	-0.49	-0.13	0.00
MX03	84.10	6.30	13.35	3.69	9.66	2.56	2.56
MX04	84.30	6.30	13.38	3.69	9.69	2.56	2.56
MY01	17.90	5.60	3.20	2.28	0.92	0.24	0.24
MY02	17.90	5.60	3.20	2.28	0.92	0.24	0.24
MY03	16.93	5.60	3.02	2.44	0.58	0.15	0.15
MY04	16.99	5.60	3.03	2.45	0.58	0.15	0.15
MY05	3.87	3.10	1.25	1.29	-0.04	-0.01	0.00
MY07	3.86	3.10	1.24	1.30	-0.05	-0.01	0.00
MD01	29.59	6.25	4.73	3.17	1.56	0.41	0.41
MD02	29.63	6.25	4.74	3.17	1.57	0.41	0.41
MD03	5.60	3.25	1.72	2.82	-1.10	-0.29	0.00
MD04	5.61	3.25	1.73	2.83	-1.10	-0.29	0.00

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 89 se presenta el cálculo del refuerzo vertical de las columnas de confinamiento de los pisos superiores no agrietados. Se observa que en la mayoría de los elementos el área de acero obtenida es bastante menor, por lo que se dispondrá, según sea el caso, de por lo menos el refuerzo mínimo establecido en la NTE E.070.

Para el cálculo de la sección de las columnas de confinamiento, se determinó la fuerza de compresión actuante en las columnas extremas, la cual se calculará mediante la siguiente expresión:

$$C = P_c + F$$

Siendo los parámetros “Pc” y “F” los mostrados anteriormente en el inciso 29.1. Adicionalmente, las columnas internas podrán tener refuerzo mínimo de ser necesario, como se muestra en la Tabla 90.

Tabla 90

*Determinación de la sección de columnas de confinamiento, muros no agrietados.
Albañilería confinada.*

Muro	QUINTO PISO								
	δ	M_u (ton-m)	F (ton)	P_c (ton)	C (ton)	A_s (cm ²)	t (cm)	b (cm)	A_c (cm ²)
MX01	0.80	2.20	0.96	1.45	2.41	1.27	13	3	35
MX02	0.80	2.20	0.96	1.44	2.40	1.27	13	3	35
MX03	0.80	84.10	13.35	3.69	17.04	1.27	23	11	255
MX04	0.80	84.30	13.38	3.69	17.07	1.27	23	11	255
MY01	0.80	17.90	3.20	2.28	5.47	1.27	13	6	79
MY02	0.80	17.90	3.20	2.28	5.47	1.27	13	6	79
MY03	0.80	16.93	3.02	2.44	5.47	1.27	13	6	79
MY04	0.80	16.99	3.03	2.45	5.49	1.27	13	6	79
MY05	0.80	3.87	1.25	1.29	2.54	1.27	13	3	37
MY06	0.80	18.84	3.62	1.93	5.56	1.27	13	6	80
MY07	0.80	3.86	1.24	1.30	2.54	1.27	13	3	37
MD01	0.80	29.59	4.73	3.17	7.90	1.27	23	6	144
MD02	0.80	29.63	4.74	3.17	7.91	1.27	23	6	144
MD03	0.80	5.60	1.72	2.82	4.55	1.27	13	5	66
MD04	0.80	5.61	1.73	2.83	4.55	1.27	13	5	66

Nota: Elaboración propia.

4.2.1.9.2 Diseño de vigas soleras

El diseño de las vigas soleras se realiza bajo la siguiente expresión:

$$T_s = V_u * \frac{L_m}{2L}$$

En la Tabla 91 se presenta, para los muros agrietados de los entrepisos superiores, el diseño de vigas soleras de la edificación.

Tabla 91

Diseño de vigas soleras, muros no agrietados. Albañilería confinada.

QUINTO PISO							
Muro	Vu (t)	Lm (m)	L (m)	Ts (t)	Asc (cm ²)	tn (cm)	As (cm ²)
MX01	6.30	2.30	2.30	3.15	0.83	9.00	0.83
MX02	6.30	2.30	2.30	3.15	0.83	9.00	0.83
MX03	55.50	4.05	6.30	17.84	4.72	19.00	4.72
MX04	55.50	4.05	6.30	17.84	4.72	19.00	4.72
MY01	22.70	2.80	5.60	5.68	1.50	9.00	1.50
MY02	22.69	2.80	5.60	5.67	1.50	9.00	1.50
MY03	22.38	2.70	5.60	5.40	1.43	9.00	1.43
MY04	22.39	2.70	5.60	5.40	1.43	9.00	1.43
MY05	12.33	3.10	3.10	6.17	1.63	9.00	1.63
MY06	16.33	3.00	5.20	4.71	1.25	9.00	1.25
MY07	12.35	3.10	3.10	6.17	1.63	9.00	1.63
MD01	24.12	3.45	6.25	6.66	1.76	19.00	1.76
MD02	24.17	3.45	6.25	6.67	1.76	19.00	1.76
MD03	2.92	3.50	3.25	1.57	0.42	9.00	0.68
MD04	2.92	3.50	3.25	1.57	0.42	9.00	0.68

Nota: Elaboración propia.

Realizado el diseño de las vigas soleras del proyecto, se presenta en la Figura 35, Figura 36 y Figura 37 los tres tipos de vigas a ejecutarse en obra.

Figura 35. Viga solera VS-101. Albañilería confinada. Elaboración propia.

VS-102

Figura 36. Viga solera VS-102. Albañilería confinada. Elaboración propia.

VS-103

Figura 37. Viga solera VS-103. Albañilería confinada. Elaboración propia.

4.2.1.10 Diseño de muros de concreto armado

Para el diseño de los muros de concreto armado en el sistema de albañilería confinada se toma la consideración expuesta por norma en la que se estipula que dichos elementos deberán fallar por flexión ante la acción del sismo moderado antes que se produzca la rotura por corte de la albañilería ante el sismo severo; por tal motivo, las cargas de diseño obtenidas mediante el sismo moderado fueron amplificadas por combinación.

Como ejemplo se presenta el diseño del muro de concreto armado PX13, ver Figura 18, siendo las combinaciones de mayor incidencia las correspondientes al primer entrepiso, ver Tabla 92.

Tabla 92

Combinaciones de carga, muro PX13, X-X. Albañilería confinada.

Dirección X-X				
Piso	Combinaciones	P (t)	V (t)	M (t-m)
Piso 1	1.4CM + 1.7CV	60.4	-0.4	0.8
	1.25(CM+CV) + CSX	15.9	26.1	161.6
	1.25(CM+CV) - CSX	88.4	-26.8	-160.2
	0.9CM +CSX	-4.5	26.3	161.3
	0.9CM - CSX	68.0	-26.7	-160.5

Nota: Elaboración propia.

Es importante mencionar que previo al diseño del diagrama de interacción, se debe conocer si el muro de concreto armado requiere o no de elementos de borde.

Para la verificación de la necesidad de dichos elementos se hace referencia al acápite 21.9.7.5 de la NTE. E.060, el cual menciona que serán requeridos los elementos en mención cuando los esfuerzos de compresión máximos sean mayores al 20% de la resistencia a la compresión del concreto.

Es así como, realizando el procedimiento desarrollado en el inciso 5.1 del presente informe se obtiene:

$$\sigma_{ci} = 41.3 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_{cd} = 70.3 \frac{Kg}{cm^2}$$

Siendo el valor del esfuerzo derecho (70.2 Kg/cm^2) mayor al 20% de la resistencia a la compresión del concreto igual a 42 Kg/cm^2 , se concluye disponer de elemento de borde únicamente al lado derecho del muro.

El procedimiento para calcular la cuantía vertical para dicho elemento de borde es el mismo al desarrollado en el inciso 4.1.1.1 de la presente tesis. De los valores obtenidos, las dimensiones del elemento de borde para el lado derecho del muro PX13 fueron calculadas en $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$, mientras que el acero longitudinal vertical fue calculado en $4\text{Ø}3/8''$.

Con las características del elemento de borde ingresadas en la extensión *Section Designer*, se procedió a verificar que las combinaciones expuestas anteriormente se encuentren dentro de su correspondiente diagrama de interacción en los 0° y 180° grados, siendo este el presentado en la Figura 38.

Figura 38. Diagrama de interacción de diseño, muro PX13. Albañilería confinada. Elaboración propia.

El diseño por corte del muro de concreto armado PX13 al igual que los demás muros de concreto en sistema de albañilería confinada, se diseña bajo las mismas especificaciones expuestas en el inciso subíndice 4.1.1.2 del presente informe.

4.2.2 Estimación económica:

En el presente acápite se presenta la estimación económica de la edificación en función al metrado de la partida estructuras, en la que se contempla las subpartidas de concreto armado, acero corrugado, encofrado de madera, muro de ladrillo King Kong aparejo de soga y muro de ladrillo King Kong aparejo de cabeza.

Para tal fin se presenta a continuación los análisis de precios unitarios de las subpartidas en referencia, los que fueron desarrollados con cotizaciones de proveedores de la zona y cuentan con el costo de mano de obra por escala de trabajador obtenido de la revista Constructivo edición Junio - Julio 2018.

En la Tabla 98, se presenta la estimación económica del costo directo de la edificación de ser construida bajo el sistema de muros de ductilidad limitada, el valor asciende a S/. 514,380.

Tabla 93

APU – Concreto hecho en obra $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Albañilería confinada.

Partida	01.01	Concreto placas f'c=210 kg/cm ² - Hecho en obra					
Rendimiento	m ³ /día	MO. 5.00	EQ. 5.00	Costo unitario directo por: m ³		S/. 345.40	
Código	Descripción recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
0101010001	Capataz		hh	0.10	0.160	26.99	4.32
0101010002	Operario		hh	1.00	1.600	20.76	33.22
0101010003	Oficial		hh	1.00	1.600	16.83	26.93
0101010004	Peón		hh	4.00	6.400	15.15	96.96
							161.42
Materiales							
0201010007	Arena gruesa		m3		0.400	35.00	14.00
0201010008	Piedra chancada de 1/2" y 3/4"		m3		0.500	50.00	25.00
0201010009	Agua		m3		0.184	6.00	1.10
0201010010	Cemento Portland Tipo I		bl		7.000	15.93	111.51
							151.61
Equipos							
0301010001	Herramienta		%mo		3%	161.42	4.84
0301010003	Mezcladora de conc. (tambor) 11P3, 22HP		hm	0.50	0.800	12.16	9.73
0301010004	Vibrador de concreto 4HP 1.25"		hm	0.50	0.800	6.48	5.18
0301010005	Winche - 2 baldes 3.6 HP		hm	0.50	0.800	15.76	12.61
							32.36

Nota: Elaboración propia.

Tabla 94

APU – Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$. Albañilería confinada.

Partida	01.02	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm²						
Rendimiento	kg/día	MO. 250.00	EQ. 250.00	Costo unitario directo por: kg		S/. 3.64		
Código	Descripción recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra								
0101010001	Capataz			hh	0.10	0.003	26.99	0.09
0101010002	Operario			hh	1.00	0.032	20.76	0.66
0101010003	Oficial			hh	1.00	0.032	16.83	0.54
								1.29
Materiales								
0201010002	Alambre negro N°16			kg		0.047	2.09	0.10
0201010003	Acero corrugado fy = 4200 kg/cm2 Grado 60			kg		1.050	2.10	2.21
								2.30
Equipos								
0301010002	Cortadora eléctrica de fierro			hm	0.33	0.011	4.56	0.05
								0.05

Nota: Elaboración propia.

Tabla 95

APU – Encofrado y desencofrado de placas (Madera). Albañilería confinada.

Partida	01.03	Encofrado y desencofrado de placas - Madera						
Rendimiento	m²/día	MO. 10.00	EQ. 10.00	Costo unitario directo por: m²		S/. 58.32		
Código	Descripción recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra								
0101010001	Capataz			hh	0.10	0.080	26.99	2.16
0101010002	Operario			hh	1.00	0.800	20.76	16.61
0101010003	Oficial			hh	1.00	0.800	16.83	13.46
0101010004	Peón			hh	0.50	0.400	15.15	6.06
								38.29
Materiales								
0201010001	Alambre negro N°8			kg		0.120	3.29	0.39
0201010005	Clavos con cabeza de 4"			kg		0.220	4.24	0.93
0201010006	Madera tornillo			pie2		4.180	4.20	17.56
								18.88
Equipos								
0301010001	Herramienta			%mo		3%	38.29	1.15
								1.15

Nota: Elaboración propia.

Tabla 96

APU – Muro de ladrillo K.K. aparejo de soga. Albañilería confinada.

Partida	01.04	Muro de ladrillo KK Tipo IV sogá M:1:1:4						
Rendimiento	m²/día	MO. 9.50	EQ. 9.50	Costo unitario directo por: m²		S/. 74.62		
Código	Descripción recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra								
0101010001	Capataz			hh	0.10	0.084	26.99	2.27
0101010002	Operario			hh	1.00	0.842	20.76	17.48
0101010004	Peón			hh	0.90	0.758	15.15	11.48
								31.24
Materiales								
0201010004	Clavos con cabeza de 3"			kg		0.020	4.24	0.08
0201010007	Arena gruesa			m3		0.026	35.00	0.91
0201010009	Agua			m3		0.009	6.00	0.05
0201010011	Ladrillo KK Tipo IV 24x13x09 cm			und		39.000	0.88	34.32
0201010010	Cemento Portland Tipo I			bl		0.232	15.93	3.70
0201010012	Cal (Bolsa x 20 kg)			bl		0.145	6.50	0.94
0201010006	Madera tornillo			pie2		0.580	4.20	2.44
								42.44
Equipos								
0301010001	Herramienta			%mo		3%	31.24	0.94
								0.94

Nota: Elaboración propia.

Tabla 97

APU – Muro de ladrillo K.K. aparejo de cabeza. Albañilería confinada.

Partida	01.05	Muro de ladrillo KK Tipo IV cabeza M:1:1:4						
Rendimiento	m²/día	MO. 4.00	EQ. 4.00	Costo unitario directo por: m²		S/. 152.06		
Código	Descripción recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra								
0101010001	Capataz		hh	0.10	0.200	26.99		5.40
0101010002	Operario		hh	1.00	2.000	20.76		41.52
0101010004	Peón		hh	0.90	1.800	15.15		27.27
								74.19
Materiales								
0201010004	Clavos con cabeza de 3"		kg		0.020	4.24		0.08
0201010007	Arena gruesa		m3		0.058	35.00		2.03
0201010009	Agua		m3		0.021	6.00		0.13
0201010011	Ladrillo KK Tipo IV 24x13x09 cm		und		69.000	0.88		60.72
0201010010	Cemento Portland Tipo I		bl		0.513	15.93		8.17
0201010012	Cal (Bolsa x 20 kg)		bl		0.320	6.50		2.08
0201010006	Madera tornillo		pie2		0.580	4.20		2.44
								75.65
Equipos								
0301010001	Herramienta		%mo		3%	74.19		2.23
								2.23

Nota: Elaboración propia.

Tabla 98

Estimación económica. Albañilería confinada.

Estimación económica - Sistema Albañilería confinada					
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	P.U. (\$/)	Parcial
01	Estructuras			S/.	514,380
01.01	Concreto placas f'c=210 kg/cm2 - Hecho en obra	m ³	326	345.40	S/. 112,600
01.02	Acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm2	kg	46122	3.64	S/. 167,913
01.03	Encofrado y desencofrado de placas - Madera	m ²	2653	58.32	S/. 154,732
01.04	Muro de ladrillo KK Tipo IV soga M:1:1:4	m ²	386	74.62	S/. 28,802
01.05	Muro de ladrillo KK Tipo IV cabeza M:1:1:4	m ²	331	152.06	S/. 50,333

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Del diseño de la edificación con los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada, se presenta el análisis de resultados en base a dos criterios: comparación estructural y estimación económica.

5.1 Comparación estructural

Este criterio propone evaluar el comportamiento estructural de la edificación en función a la comparación de distorsiones, desplazamientos laterales y relación entre las fuerzas resistentes y fuerzas actuantes que se suscitan en la edificación para cada uno de los sistemas estructurales.

5.1.1 Comparación de distorsiones

En la Figura 39 y Figura 40 se presenta la comparación de distorsiones entre ambos sistemas estructurales para las direcciones de análisis X-X e Y-Y respectivamente.

Figura 39. Comparación de distorsiones, dirección X-X. Elaboración propia.

Figura 40. Comparación de distorsiones, dirección Y-Y. Elaboración propia.

De la comparación se observa que en ambos sistemas estructurales las distorsiones de entrepiso en la direcciones de análisis Y-Y son mucho menores a la dirección X-X debido a la densidad de muros portantes que presenta la edificación en una dirección y otra. Sin embargo, el análisis fundamental radica en la diferencia que existe entre las distorsiones que presentan el sistema de albañilería confinada y el sistema de muros de ductilidad limitada.

En la Tabla 99 y Tabla 100 se presenta la relación (en porcentaje) de las distorsiones de entrepiso de ambos sistemas.

Tabla 99

Relación de distorsiones, dirección X-X.

Relación de distorsiones - Dirección X-X			
Piso	Sistema albañilería confinada (‰)	Sistema muros de ductilidad limitada (‰)	Relación (%)
Piso 5	2.71	2.28	119%
Piso 4	3.01	2.52	119%
Piso 3	3.04	2.30	132%
Piso 2	2.63	1.90	139%
Piso 1	1.45	0.99	147%

Nota: Elaboración propia.

Tabla 100

Relación de distorsiones, dirección Y-Y.

Relación de distorsiones - Dirección Y-Y			
Piso	Sistema albañilería confinada (‰)	Sistema muros de ductilidad limitada (‰)	Relación (%)
Piso 5	1.29	0.96	134%
Piso 4	1.49	1.01	148%
Piso 3	1.57	0.96	163%
Piso 2	1.42	0.78	182%
Piso 1	0.89	0.43	208%

Nota: Elaboración propia.

De la comparación entre un sistema y otro, se concluye que en los tres primeros niveles las distorsiones del sistema de albañilería confinada en la dirección de análisis X-X son hasta 147% mayores (1.47 veces) que las del sistema MDL; mientras que en la dirección Y-Y, a pesar de la presencia de muros de concreto armado, las mismas llegan a ser hasta 208% (2.08 veces) mayores.

5.1.2 Comparación de desplazamientos laterales

En la Figura 41 y Figura 42 se presenta la comparación de los desplazamientos laterales entre ambos sistemas estructurales diseñados para las direcciones de análisis X-X e Y-Y respectivamente.

Al igual que en la comparación de distorsiones, los desplazamientos laterales en la dirección de análisis Y-Y son mucho menores a la dirección X-X en ambos sistemas estructurales debido a la densidad de muros portantes presentes en la edificación en una dirección y otra. Sin embargo, nuevamente el análisis fundamental radica en la diferencia que existe entre los desplazamientos laterales que presentan el sistema de albañilería confinada y el sistema de muros de ductilidad limitada.

Figura 41. Comparación de desplazamientos laterales, dirección X-X. Elaboración propia.

Figura 42. Comparación de desplazamientos laterales, dirección Y-Y. Elaboración propia.

En la Tabla 101 y Tabla 102 se presenta la relación (en porcentaje) de los desplazamientos laterales de ambos sistemas.

Tabla 101

Relación de desplazamientos laterales, dirección X-X.

Relación de desplazamientos laterales - Dirección X-X			
Piso	Sistema de albañilería confinada (mm)	Sistema de muros de ductilidad limitada (mm)	Relación (%)
Piso 5	35.9	27.9	129%
Piso 4	28.3	21.6	131%
Piso 3	19.9	14.5	137%
Piso 2	11.4	8.1	141%
Piso 1	4.1	2.8	147%

Nota: Elaboración propia.

Tabla 102

Relación de desplazamientos laterales, dirección Y-Y.

Relación de desplazamientos laterales - Dirección Y-Y			
Piso	Sistema de albañilería confinada (mm)	Sistema de muros de ductilidad limitada (mm)	Relación (%)
Piso 5	18.6	11.6	161%
Piso 4	15.0	8.9	169%
Piso 3	10.9	6.1	179%
Piso 2	6.5	3.4	191%
Piso 1	2.5	1.2	208%

Nota: Elaboración propia.

Se concluye que para el sistema de albañilería confinada el desplazamiento lateral del quinto nivel en la dirección de análisis X-X es 129% mayor (1.29 veces) que el del sistema MDL; mientras que en la dirección Y-Y, la relación entre los desplazamientos laterales es de 161% (1.61 veces).

De construirse la edificación bajo el sistema de albañilería confinada y de suscitarse un evento sísmico severo, se concluye que esta presentaría mayores daños y un mayor costo de reparación producto de sus distorsiones y desplazamientos.

5.1.3 Comparación de fuerzas sobre resistentes

El criterio propuesto se basa en la comparación entre la fuerza resistente y actuante presente en la edificación para cada uno de los sistemas estructurales; siendo la primera la sumatoria de resistencia nominal a corte correspondiente a los elementos que lo conforman, y la segunda la fuerza cortante proveniente del análisis dinámico.

Para el caso del sistema de albañilería confinada, la fuerza resistente nominal a corte por entrepiso es la sumatoria de la resistencia a corte de la albañilería confinada “ V_m ” y la resistencia a corte que proporcionan el concreto “ V_c ” y el acero de refuerzo “ V_s ” en los muros de concreto armado. Mientras que para el sistema MDL, la resistencia nominal se expresa como la sumatoria de “ V_c ” y “ V_s ”.

En la Tabla 103 y 104 se presenta en la columna “Factor de sobre resistencia”, la relación entre la fuerza resistente y actuante por entrepiso para los sistemas de albañilería confinada y muros de ductilidad limitada para la dirección de análisis X-X. En la Figura 43 dichos factores se exponen en un gráfico comparativo.

Tabla 103

Factores de sobre resistencia, X-X. Albañilería confinada.

Sistema de albañilería confinada - Dirección X-X						
Piso	Fuerza actuante V_u (t)	V_m (t)	V_c (t)	V_s (t)	Fuerza resistente V_n (t)	Factor de sobre resistencia
Piso 5	187	148	425	478	1051	5.61
Piso 4	361	155	425	478	1058	2.93
Piso 3	483	161	425	488	1074	2.22
Piso 2	562	168	425	623	1216	2.16
Piso 1	599	174	425	623	1222	2.04

Nota: Elaboración propia.

Tabla 104

Factores de sobre resistencia, X-X. Sistema MDL.

Sistema de muros de ductilidad limitada - Dirección X-X					
Piso	Fuerza actuante Vu (t)	Vc (t)	Vs (t)	Fuerza resistente Vn (t)	Factor de sobre resistencia
Piso 5	131	360	328	689	5.26
Piso 4	244	360	328	689	2.82
Piso 3	322	360	328	689	2.14
Piso 2	374	360	724	1084	2.90
Piso 1	399	360	724	1084	2.72

Nota: Elaboración propia.

Figura 43. Comparación de factores de sobre resistencia, X-X. Elaboración propia.

En la Tabla 105 se presenta la relación de factores de sobre resistencia de ambos sistemas estructurales en los dos primeros niveles, entrepisos en donde se presenta la mayor sollicitación de carga sísmica.

Tabla 105

Relación de factores de sobre resistencia, X-X.

Relación de factores de sobre resistencia - Dirección X-X			
Piso	MDL	Albañilería confinada	Relación (%)
Piso 2	2.90	2.16	134%
Piso 1	2.72	2.04	133%

Nota: Elaboración propia.

Visto los resultados se concluye que los factores de sobre resistencia del sistema MDL (relación entre fuerzas resistentes vs fuerzas actuantes) en la dirección de análisis X-X son hasta 133% (1.33 veces) y 134% (1.34 veces) mayores a los del sistema de albañilería confinada en el primer y segundo nivel respectivamente.

A continuación, en la Tabla 106 y 107 se presenta la relación entre la fuerza resistente y actuante por entrepiso de ambos sistemas estructurales en la dirección de análisis Y-Y. En la Figura 44 dichos factores se exponen en un gráfico comparativo.

Tabla 106

Factores de sobre resistencia, Y-Y. Albañilería confinada.

Sistema de albañilería confinada - Dirección Y-Y						
Piso	Fuerza actuante Vu (t)	Vm (t)	Vc (t)	Vs (t)	Fuerza resistente Vn (t)	Factor de sobre resistencia
Piso 5	182	370	213	236	819	4.51
Piso 4	355	386	213	236	834	2.35
Piso 3	478	401	213	236	850	1.78
Piso 2	559	407	213	291	911	1.63
Piso 1	599	388	213	291	891	1.49

Nota: Elaboración propia.

Tabla 107

Factores de sobre resistencia, Y-Y. Sistema MDL.

Sistema de muros de ductilidad limitada - Dirección Y-Y					
Piso	Fuerza actuante Vu (t)	Vc (t)	Vs (t)	Fuerza resistente Vn (t)	Factor de sobre resistencia
Piso 5	132	555	462	1017	7.71
Piso 4	245	555	462	1017	4.15
Piso 3	321	555	462	1017	3.17
Piso 2	372	555	834	1389	3.73
Piso 1	397	555	834	1389	3.50

Nota: Elaboración propia.

Figura 44. Comparación de factores de sobre resistencia, Y-Y. Elaboración propia.

En la Tabla 108 se presenta la relación de factores de sobre resistencia de ambos sistemas estructurales en los dos primeros niveles.

Tabla 108

Relación de factores de sobre resistencia, Y-Y.

Relación de factores de sobre resistencia - Dirección Y-Y			
Piso	MDL	Albañilería confinada	Relación (%)
Piso 2	3.73	1.63	229%
Piso 1	3.50	1.49	235%

Nota: Elaboración propia.

Visto los resultados se concluye que los factores de sobre resistencia del sistema MDL en la dirección de análisis Y-Y son hasta 229% (2.29 veces) y 235% (2.35 veces) mayores a los del sistema de albañilería confinada en el primer y segundo nivel respectivamente.

5.2 Comparación económica

De los datos expuestos en los incisos 4.1.2 y 4.2.2 de la presente tesis, se resume que el costo directo de la edificación de ser diseñada con el sistema MDL ascendería a aproximadamente S/358,627; mientras que, de edificarse con el sistema de albañilería confinada el mismo alcanzaría el valor de aproximadamente S/514,380.

En la Figura 45 se presenta por subpartida la comparación del costo directo entre ambos sistemas estructurales.

Figura 45. Comparación de costo directo. Elaboración propia.

Producto del diseño de una edificación con distribución de muros portantes similares, se observa la similitud de costos en las subpartidas de concreto armado y encofrado. Sin embargo, la subpartida que presenta la variación principal es la habilitación y colocación de acero de refuerzo, representando una diferencia de S/92,283 entre un sistema y otro.

Cabe resaltar que, durante el diseño bajo el sistema de albañilería confinada, se reemplazó muros de aparejo de sogá por muros de aparejo de cabeza y por muros de concreto armado, modificaciones que incrementaron considerablemente el peso de la estructura respecto al obtenido bajo el sistema de muros de ductilidad limitada.

Conocido que las solicitaciones de cargas de gravedad y carga sísmica son directamente proporcionales al peso de la estructura, es consistente concluir que la variación en el metrado y por ende costo de la habilitación y colocación de acero de refuerzo responde a la diferencia de cuantía que presentaron los muros de concreto armado del sistema de albañilería confinada respecto a los muros portantes del sistema MDL.

Finalmente, el costo directo de la edificación por m² de ser diseñada con el sistema de muros de ductilidad limitada sería de S/318.78; mientras que, de edificarse con el sistema de albañilería confinada el mismo alcanzaría el valor de S/457.23.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Habiendo cumplido con el objetivo general y objetivos específicos de la presente tesis, se expone en función al sistema estructural utilizado y el análisis de resultados, las siguientes conclusiones:

6.1 Conclusiones

6.1.1 Muros de ductilidad limitada

- Del análisis de fuerzas sobre resistentes, se observa que en los dos primeros niveles, entresijos en donde se presenta la mayor sollicitación de carga sísmica, la resistencia nominal a corte del sistema de muros de ductilidad limitada es hasta 3.73 veces la fuerza de corte actuante; por ello, se concluye que ante un evento sísmico severo la edificación diseñada bajo el sistema MDL presentaría un mejor comportamiento respecto al sistema de albañilería, debido fundamentalmente a la alta densidad de muros que presenta la estructura.

6.1.2 Albañilería confinada

- El factor de amplificación de suelo, debido a la presencia de suelo flexible, influyó directamente en el comportamiento sísmico de la estructura; dado las distorsiones de entresijo eran superiores a las permitidas por norma, tuvo que ser necesario incrementar la rigidez de la edificación reemplazando muros de albañilería por muros de concreto armado.
- El incremento de la fuerza sísmica producto de las aceleraciones propias de un suelo blando se ve reflejado en la presencia de muros agrietados en el cuarto entresijo de la estructura

- La irregular torsional en planta presente en ambos sistemas dada la distribución de arquitectura, representó ser una consideración fundamental en la elección y definición de espesores de los muros portantes. Sin embargo, su incidencia en el sistema de albañilería confinada fue mayor debido a la necesidad de reducir la fuerza sísmica en los muros de la zona posterior de la estructura.
- Durante el diseño, con el objetivo de cumplir las verificaciones del sistema, se incorporaron muros de albañilería de aparejo de cabeza y muros de concreto armado, proceso que incrementó el peso de la edificación y por ende incidió directamente en las solicitudes de carga gravitacional y sísmica de la estructura.

6.1.3 Análisis de resultados

- De la comparación entre las distorsiones de entrepiso y los desplazamientos laterales de la edificación se concluye que, ante la ocurrencia de un evento sísmico severo, los daños y el costo de reparación de estos serían mucho mayores en una estructura construida con el sistema de albañilería confinada que en una diseñada con el sistema de muros de ductilidad limitada.
- De la estimación económica se concluye que, el costo directo de la edificación construida bajo el sistema MDL sería 30% más económico que de realizarse con el sistema de albañilería confinada, representando para el cliente un ahorro de S/ 155,752.
- Realizado los diseños y analizado el comportamiento estructural y la comparación económica, se concluye la conveniencia del diseño de una edificación de cinco pisos cimentada en suelo flexible en la ciudad de Piura con el sistema de muros de ductilidad limitada.

Dispuestos los objetivos de la tesis, se definió el alcance de diseño a fin de obtener resultados que agregaran valor al análisis propuesto en función a los objetivos establecidos, por lo que el diseño de algunos elementos no ha sido contemplado en el desarrollo de la presente investigación.

A continuación, a manera de recomendaciones se enlista los elementos no considerados en el alcance de nuestra tesis, con la intención de plantear futuras líneas de investigación en problemáticas similares a la desarrollada en este documento.

6.2 Recomendaciones

6.2.1 Cimentación:

En el desarrollo de la tesis no se contempló el diseño de la cimentación del proyecto, debido a que se planteó como objetivo evaluar la incidencia del suelo blando únicamente en el comportamiento sísmico de la estructura considerando el incremento que este representa en la fuerza basal excitadora.

Puesto que el peso de la edificación diseñada bajo ambos sistemas estructurales es relativamente similar producto de la considerable cantidad de muros de concreto armado en el sistema de albañilería, se consideró que la fundación aplicable para ambos casos estaría conformada por una platea de cimentación de características muy parecidas, por lo que su impacto en el comportamiento estructural y en la estimación económica no hubiera representado variación considerable.

Sin embargo, la fundación no es ajena al diseño integral del proyecto, por lo que se recomienda para una futura investigación analizar su diseño planteando soluciones de ingeniería que favorezcan a un sistema u otro en condiciones de suelo blando.

6.2.2 Vigas dintel

Dentro de los criterios de configuración que establece la Norma E.070 para los edificios con diafragma rígido, en el Artículo 15.6 se hace mención al uso de vigas dintel peraltadas para el sistema de albañilería confinada, elementos que tal como lo expresa el Ingeniero San Bartolomé en sus comentarios a la Norma, desarrollan fuerzas internas que contribuyen a contrarrestar los efectos de la carga sísmica, reducir el momento flector en la base de los muros, incrementar la resistencia a corte diagonal de los mismos, reducir el refuerzo vertical en las columnas de confinamiento, entre otros aportes.

Sin embargo, el mismo artículo precisa el uso de dinteles con peralte igual al de la losa de entrepiso para el sistema de albañilería armada, puesto que, al reducirse el momento flector en la base de los muros, la posibilidad de una falla por flexión, prevista en tal sistema, se distancia.

Visto que la falla por flexión inducida en el diseño del sistema de albañilería armada es muy similar a la considerada en el inciso 21.9.5.3 de la Norma E.060 aplicado al cálculo de la resistencia a corte de los muros de ductilidad limitada de nuestra tesis, se consideró a bien no contemplar en el análisis y diseño la presencia de vigas dintel en ambos sistemas estructurales, a fin de centrar la comparación del comportamiento estructural en los muros portantes de la edificación.

Expuesto ello, se recomienda para una futura investigación evaluar la incidencia de las vigas dintel en el análisis sísmico y diseño de edificaciones estructuradas con el sistema de albañilería confinada cimentadas en suelo flexible.

6.2.3 Elementos no estructurales

El Capítulo 6 de la Norma E.030 que establece los criterios de diseño sismorresistente para elementos no estructurales, dispone al cálculo de la fuerza horizontal actuante en estos, inciso 6.3, como función de valores obtenidos del análisis sísmico o estático de la estructura,

por lo que la incidencia del Factor de amplificación del suelo (S) se encuentra directamente relacionado al diseño de los elementos no estructurales de la edificación.

Por su parte, el Artículo 31.2 de la Norma E.070 dispone que el momento flector producido por la carga sísmica asociada al elemento, puede ser obtenido de su Artículo 29.6, el cual establece el cálculo de dicha carga como función del Factor de zona (Z), Factor de uso (U), del coeficiente sísmico “C1” y del peso específico de la albañilería; expresión que no considera el efecto sísmico que genera el tipo de suelo en el que se cimienta la estructura.

Visto ello, se recomienda para una futura investigación comparar por perfiles de suelo, el análisis y diseño de los elementos no estructurales de una edificación contemplando lo dispuesto en las Normas E.030 y E.070.

6.2.4 Consideraciones en el pre dimensionamiento

La verificación por control de fisuración fue la que más procesos iterativos produjo en el modelamiento durante el análisis y diseño del sistema de albañilería confinada, por lo que se recomienda para edificaciones de más de tres niveles cimentadas en suelo flexible, considerar en el pre dimensionamiento muros de concreto armado en ambas direcciones.

REFERENCIAS

- American Society of Testing Materials (ASTM). (2017). ASTM A1064/1064M-17 Standard specification for carbon steel wire and welded wire reinforcement, plain and deformed, for concrete. Recuperado de <https://goo.gl/itnoFp> [Consulta: 24 de agosto de 2016].
- Astroza, M. (noviembre de 2000). Escalas para calificar los daños sísmicos en los muros de edificios de albañilería [Entrada en blog]. Recuperado de <https://goo.gl/DWXi34> [Consulta: 20 de abril de 2016].
- Delgado, R., & Rodríguez, C. (2006). *Edificios peruanos con muros de ductilidad limitada* (Tesis de título, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú). Recuperado de <https://goo.gl/PTbW2c> [Consulta: 16 de julio de 2016].
- Edificaciones de calidad. (2015). Muros de ductilidad limitada – Entrevista al Dr. Genner Villareal. Recuperado de <https://goo.gl/7vWyhp> [Consulta: 7 de abril de 2016].
- Gálvez, A. (2008). *Propuesta del factor de reducción de fuerza sísmica para sistemas estructurales en concreto armado con muros reforzados por barras dúctiles y mallas electrosoldadas*. Recuperado de <https://goo.gl/98MJb6> [Consulta: 8 de agosto de 2016].
- Granados, R., & López, J. (2012). *Diseño de un edificio de muros de ductilidad limitada de cinco niveles* (Tesis de título, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú). Recuperado de <https://goo.gl/L2rdhX> [Consulta: 10 de octubre de 2016].
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2005). *Estudio de mecánica de suelos y mapa de peligros de la ciudad de Piura*. Piura: INDECI. Recuperado de <https://goo.gl/v2ogqw> [Consulta: 18 de mayo de 2016].
- Maribel Burgos Ingeniería Estructural (MABIE). (2013). *Proyectos multifamiliares*. Lima: MABIE. Recuperado de <https://goo.gl/ayyYd5>. [Consulta: 24 de julio de 2018].
- Medina, R., & Blanco, A. (s.f.). *Manual de construcción para maestros de obra*. Recuperado de <https://goo.gl/3MPwh1> [Consulta: 12 de mayo de 2016].
- Prodac Bekaert. (2014) *Malla electrosoldada*. Lima: Prodac. Recuperado de <https://goo.gl/cY3FPS>. [Consulta: 8 de agosto de 2018].
- San Bartolomé, A. (2007). Investigaciones en concreto armado con énfasis en las edificaciones de ductilidad limitada [Entrada en blog]. Recuperado de <https://goo.gl/LEwPzF> [Consulta: 11 de abril de 2016].
- San Bartolomé, A. (2014). *Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

- San Bartolomé, A., Muñoz, A., Madueño, G., & Caverio, R. (s.f.). Control de falla por deslizamiento en placas de concreto reforzadas con mallas electrosoldadas [Entrada en blog]. Recuperado de <https://goo.gl/L49kLZ> [Consulta: 23 de agosto de 2016].
- San Bartolomé, A., Muñoz, A., Villagarcía, M., & Acuña, C. (octubre de 2003). Comportamiento sísmico de placas de concreto reforzadas con malla electrosoldada [Entrada en blog]. Recuperado de <https://goo.gl/4QdJr1> [Consulta: 24 de agosto de 2016].
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2008). *Norma E.020 Cargas*. Lima: SENCICO. Recuperado de <https://goo.gl/i2cF7a> [Consulta: 21 de junio de 2016].
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2008). *Norma E.030 Diseño sismorresistente*. Lima: SENCICO. Recuperado de <https://goo.gl/i2cF7a> [Consulta: 18 de abril de 2018].
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2008). *Norma E.060 Concreto armado*. Lima: SENCICO. Recuperado de <https://goo.gl/i2cF7a> [Consulta: 26 de mayo de 2018].
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2008). *Norma E.070 Albañilería*. Lima: SENCICO. Recuperado de <https://goo.gl/i2cF7a> [Consulta: 03 de junio de 2018].

ANEXOS

Plano de arquitectura – Planta

Plano de arquitectura – Corte

[illegible]

Plano de estructuras – Sistema albañilería confinada – Elementos de concreto armado